



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E AGRIMENSURA

RAQUEL ARCOVERDE VILA NOVA

**USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA IDENTIFICAR A FORMAÇÃO DE ILHAS
DE CALOR URBANA: estudo de caso da cidade do Recife.**

Recife
2018

RAQUEL ARCOVERDE VILA NOVA

**USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA IDENTIFICAR A FORMAÇÃO DE ILHAS
DE CALOR URBANA:** estudo de caso da cidade do Recife.

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel (a) em Engenharia Cartográfica.

Orientador: Prof^o. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

V695u Vila Nova, Raquel Arcoverde.
Uso de imagens de satélite para identificar a formação de ilhas de calor urbana: estudo de caso da cidade do Recife./ Raquel Arcoverde Vila Nova - 2018.
40folhas, Il. e Tab.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica, 2018.

Inclui Referências.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Temperatura de superfície. 3. SEBAL. 4. NDVI. I. Gonçalves, Rodrigo Mikosz. (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2018-462

RAQUEL ARCOVERDE VILA NOVA

**USO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA IDENTIFICAR A FORMAÇÃO DE ILHAS
DE CALOR URBANA:** estudo de caso da cidade do Recife.

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel (a) em Engenharia Cartográfica.

Aprovada em: 30/11/2018.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

MSc. Heithor Alexandre de Araújo Queiroz
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

Inessa Racine Gomes de Araújo
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pois tenho a certeza de que sem Ele eu nada seria e jamais conseguiria chegar até aqui. Ele tem sido muito bom pra mim, mesmo eu não sendo digna de tamanho cuidado e amor. Que essa conquista seja para honra e glória dEle.

Aos meus pais Eli e Auderice, pelo amor, dedicação, esforço e abnegação que sempre tiveram para comigo. Sou grata pelo exemplo de esforço e entrega a uma vida de estudos e responsabilidades com a família. São meu maior tesouro, amo vocês mais do que possa mensurar.

Aos meus irmãos Filipe e Lucas, pelo cuidado sempre despendidos a mim. Sei que a vida pode me derrubar, mas vocês estarão sempre perto para me levantar. Amo vocês, independentemente de qualquer coisa. Quero estender meus agradecimentos a minha cunhada Wanessa, obrigada por sempre estar disposta a me ajudar.

Aos meus tios, em especial Lúcio e Audice, por estarem sempre junto a mim, me incentivando, vibrando as minhas conquistas e chorando as minhas dores. Amo vocês e toda a família, obrigada por serem um exemplo para mim.

Sou muito grata a uma pessoa que não faz mais parte do meu convívio, mas exerceu um papel fundamental em me encorajar a buscar uma formação acadêmica com todas as conquistas que ela pode ter. Serei sempre agradecida por tudo.

Aos mais que amigos, Fábio e Laisa, por estarem sempre comigo nestes últimos meses. Sem vocês eu não teria suportado. Pessoas com um coração maior do mundo, que apesar das nossas divergências sempre estiveram junto para me encorajar e não deixar que eu desistisse. Amo muito vocês, e só peço que Deus nos conserve sempre juntos para ajudar um ao outro.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Mikosz, por ter me dado a oportunidade de aprender e crescer com todos os seus conselhos e direcionamentos. Como ele mesmo diz, quero poder manter esse laço estreito por toda a minha vida. Obrigada por tudo, e por me permitir fazer parte da equipe LACCOST.

Aos meus professores, Silvio Garnés e Maria de Lourdes, pela oportunidade extraordinária de poder trabalhar em um projeto de extensão como o dirigido por eles. A oportunidade de poder aplicar os conhecimentos adquiridos durante a graduação em um projeto de relevância social. Foi um prazer poder gastar o meu tempo junto a vocês e a todos os envolvidos no mesmo.

A família que eu tenho no DECART, como alguém costuma dizer. Uma família como todas as outras onde existem pessoas diferentes, mas que se respeitam e se amam. Em especial a Vanessa, por ser a energia e alegria que é impossível não ser contagiada; a Antônio, por sua seriedade e dedicação em tudo o que faz; a Emily que chegou a pouco, mas tenho um respeito muito grande pela força e coragem que exala; a Sanderllan, um amigo que sempre esteve ao meu lado; a André, que mesmo depois da universidade nunca me esqueceu. Amo vocês e quero muito o bem de todos.

As minhas meninas do BRL, agradeço a Deus pelo refúgio e conforto que tenho em vocês. Cada uma de seu modo especial, com suas características e divergências. Amo vocês e quero poder desfrutar de muitas conquistas ao lado de vocês: Camila, Luciana, Nathalia, Pricila e Renata.

Não posso deixar de agradecer aos novos amigos que fiz, que fizeram desse último semestre um tempo mais leve e divertido. Não citarei nomes para não cometer o erro de esquecer alguém, mas quem fez parte disso com certeza se identificará. Quero muito o bem de vocês, obrigada.

RESUMO

Ilhas de calor é um fenômeno que tem sua formação diretamente influenciada por fatores antrópicos, onde a substituição da configuração natural do solo por materiais utilizados para a expansão urbana e o desenvolvimento local das cidades são razões para tal, fazendo com que a temperatura da superfície aumente. Portanto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar e identificar a formação das ilhas de calor através da variação espacial e temporal das temperaturas da superfície, adotando-se a Cidade do Recife-PE como estudo de caso, utilizando imagens multiespectrais do *Landsat 5 – TM* além de correlacionar os resultados obtidos juntamente com a análise do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para a mesma área. Foram utilizadas imagens da órbita 214 do ponto 66 datadas de 25/09/1989 e 28/09/2011. Para o processamento das imagens, foi utilizado o *software* livre Quantum GIS, onde o modelo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) foi aplicado para obtenção dos parâmetros utilizados neste estudo. O NDVI apresentou valores médios de 0,41 para o ano de 1989 e 0,31 para o ano de 2011; através dos mapas gerados para o NDVI é possível identificar a diminuição das áreas com cobertura vegetal, ratificando o fenômeno da expansão urbana que Recife sofreu ao longo deste período de 20 anos. O valor máximo encontrado para a temperatura da superfície foi de 34,27°C para o ano de 2011, em que foi identificado um crescimento em 1.668,57% da área com representação de temperaturas acima de 30 °C quando comparada a distribuição da temperatura da superfície para o ano de 1989.

Palavras-chave: Temperatura de superfície. SEBAL. NDVI.

ABSTRACT

The phenomenon of urban heat islands can be directly influenced by anthropogenic factors, where the replacement of the natural configuration of the soil by materials used for urban expansion and local development of the cities are the main reasons for cause the surface temperature to increase. Thus, the goal of this work was to analyze and to identify the formation of the heat islands through the spatial and temporal variation of surface temperatures, with Recife-PE adopted as case study, and also using multispectral images of Landsat 5-TM and thus correlating the results obtained with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis for the same area. Images from 214 orbit and 66 point were used for the dates of 25/09/1989 and 28/09/2011. For the image processing, the free software Quantum GIS was used, where the SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) model was applied to obtain the parameters used in this study. NDVI presented mean values of 0.41 for the year 1989 and 0.31 for the year of 2011; then through the maps generated for the NDVI, it was possible to identify the reduction of areas with vegetation coverage, corroborating the phenomenon of urban expansion that Recife suffered throughout this 20 year time span. The maximum value found for the surface temperature was 34.27° C for the year 2011, where it was identified a growth in 1,668.57% of the area with a representation of temperatures above 30° C when compared to the temperature distribution of the area for the year 1989.

Keywords: Surface temperature. SEBAL. NDVI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Título Mapa de localização da área de estudo, onde (a) representa o Brasil, (b) o destaque para o estado de Pernambuco e (c) um recorte da área da cidade do Recife.	15
Figura 2 –	Imagens do satélite Landsat 5 - TM: (a) para o dia 28/09/1989 e, (b) para o dia 25/09/2011.	18
Figura 3 –	Diagrama de blocos das etapas utilizadas no processamento das imagens.	21
Figura 4 –	Mapa da Temperatura da Superfície da cidade do Recife para os anos de 1989 e 2011.	25
Figura 5 –	Perfis de Temperatura da Superfície (°C): a) 28/09/1989; b) 25/09/2011.	28
Figura 6 –	Mapa do NDVI para os anos de 1989 (a) e 2011 (b), com histograma para a imagem de 1989 em (c) e em (d) o histograma da imagem de 2011.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Descrição das bandas e faixas espectrais correspondentes ao TM - Landsat 5, coeficientes de calibração mínimo (a) e máximo (b).	19
Tabela 2 –	Dados de Temperatura mínima, média e máxima, para os dias de captura das imagens, na estação localizada no bairro do Curado na cidade do Recife.	19
Tabela 3 –	Valores estatísticos da temperatura na superfície (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 25 de setembro de 1989 e 28 de setembro de 2011.	24
Tabela 4 –	Área, em km ² , das faixas de temperatura adotadas para os anos estudados, com a taxa de crescimento em porcentagem.	29
Tabela 5 –	Valores estatísticos do NDVI (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 25 de setembro de 1989 e 28 de setembro de 2011.	30
Tabela 6 –	Coeficientes de correlação de Pearson (r).	33

LISTA DE SIGLAS

AVHRR	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GLOVIS	<i>Global Visualization Viewer</i>
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU	Ilhas de Calor Urbana
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
Landsat	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
ND	Número Digital
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
PE	Pernambuco
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	13
1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	14
2	ÁREA DE ESTUDO	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1	MATERIAIS	17
3.1.1	Imagens de satélite	17
3.1.2	Dados meteorológicos	19
3.1.3	SEBAL (<i>Surface Energy Balance Algorithms for Land</i>)	19
3.2	MÉTODOS	21
4	RESULTADOS	24
4.1	Temperatura da Superfície	24
4.2	NDVI	29
4.3	Correlação entre Temperatura da Superfície e o NDVI	32
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	34
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Os centros urbanos da maioria das cidades brasileiras vêm sofrendo, ao longo das últimas décadas, mudanças em relação ao uso e ocupação do solo. Em alguns casos podem ser observadas consequências negativas para a sociedade e ao meio ambiente (BARROS; LOMBARDO, 2016; FRANÇA et al., 2015; MOREIRA; NÓBREGA, 2011). Entre as perdas ambientais ocasionadas pelo crescimento urbano, que afetam a dinâmica das espécies animais e vegetais, está a degradação da vegetação, que muitas vezes é removida e substituída pelas construções, o que afeta por exemplo, na impermeabilização do solo. Este é um exemplo local de um parâmetro que interfere no balanço de energia entre a superfície e a atmosfera, o que pode contribuir para influenciar no clima de uma cidade (NÓBREGA; LEMOS, 2011; OKE, 1978).

Segundo Moreira (2014), a alteração do clima local pode ser provocada pelo surgimento de um gradiente horizontal urbano de temperatura, sendo este ocasionado pela relação dos fatores que alteram a cobertura e dinâmica do solo tais como: diminuição do percentual de vegetação, a impermeabilização do solo, aumento da rugosidade da superfície, diminuição do fluxo de calor latente e aumento do fluxo de calor sensível, entre outros. Um indicador das alterações do clima local é através da identificação e espacialização das chamadas Ilhas de Calor Urbana (ICU).

Arya (2001) define o termo ICU como sendo a relação entre aumento da temperatura da superfície e do ar sobre uma área urbana quando comparadas as zonas menos urbanizadas em sua vizinhança. Portanto, as Ilhas de Calor Urbanas ocorrem, geralmente, no centro das cidades onde as construções se configuram de maneira aglomerada e compacta, como os corredores de prédios e ruas estreitas nos grandes centros, que são chamados de Cânions Urbanos (ARNFIELD, 2003; LO; QUATTROCHI, 2003; NÓBREGA; SANTOS; MOREIRA, 2016; SOUZA, 2008).

Uma ferramenta que auxilia na identificação das Ilhas de Calor é o uso de imagens de satélite, através da relação entre a radiação eletromagnética emitida e a refletida dos alvos, onde é possível extrair e identificar parâmetros que influenciam diretamente na temperatura da área observada, artifício este que já vem sendo empregado em vários estudos tais como PENG et al. (2012), CHEN et al. (2006), GALLO et al. (1995), entre outros.

O fenômeno ICU vem sendo estudado desde o século XX, quando Manley (1958) o denominou assim. Por ser um assunto de bastante relevância para um bom

desenvolvimento e bem-estar nos centros urbanos, diversos pesquisadores têm se dedicado a estudar, entender e encontrar soluções para tal fenômeno; este é um problema que vem sendo discutido nacional e internacionalmente, onde a pesquisa tem sido aplicada em estudos de caso relatados em: (a) cidades do estado de São Paulo, tais como Presidente Prudente (AMORIM; DUBREUIL; CARDOSO, 2015) e Rancharia (TEIXEIRA; AMORIM; DUBREUIL, 2015); (b) Londrina, no estado do Paraná (GAMARRA; CORRÊA; TARGINO, 2014); (c) região metropolitana do Rio de Janeiro (SENA; FRANÇA; PERES, 2014); (d) Hong Kong (LIU; ZHANG, 2011); (e) Nova Andradina, no estado do Mato Grosso do Sul (LIMA; AMORIM, 2011); (f) área urbana de Ilha solteira (COSTA; SILVA; PERES, 2010), no estado de São Paulo; (g) 38 das cidades mais populosas dos Estados Unidos (IMHOFF et al., 2010); (h) Phoenix (SUN et al., 2009) e Minnesota (YUAN; BAUER, 2007), também nos Estados Unidos; (i) cidade de Atenas, na Grécia (STATHOPOULOU; CARTALIS, 2009); (j) Manaus e Belém (SOUZA, 2008); (h) Distrito Federal (BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003).

Na literatura nacional considerando a cidade do Recife, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas no que diz respeito ao fenômeno ICU e suas consequências para a população recifense. Algumas dessas pesquisas são abordadas de forma que abrangem toda a cidade ou até mesmo mesorregiões do Recife (FRANÇA et al., 2015; MOREIRA; GALVÍNCIO, 2007; MOREIRA; NÓBREGA, 2011; NÓBREGA; LEMOS, 2011; NÓBREGA; SANTOS; MOREIRA, 2016).

Frente a isso, o presente trabalho tem como finalidade avaliar e apresentar a espacialização do fenômeno de Ilhas de Calor Urbana (ICU), com uma análise de variação temporal, no território da cidade do Recife, no estado de Pernambuco, através da relação espacial entre o padrão de uso e ocupação do solo e suas respostas térmicas. Para isso, a seguir são definidos os objetivos deste trabalho.

1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo sobre a variação da temperatura de superfície e a relação com parâmetros de uso e ocupação do solo observados na cidade do Recife em um espaço temporal de 20 anos, compreendendo os anos de 1989 e 2011, através do emprego de técnicas do sensoriamento remoto evidenciando estudo do fenômeno de Ilhas de Calor Urbana (ICU).

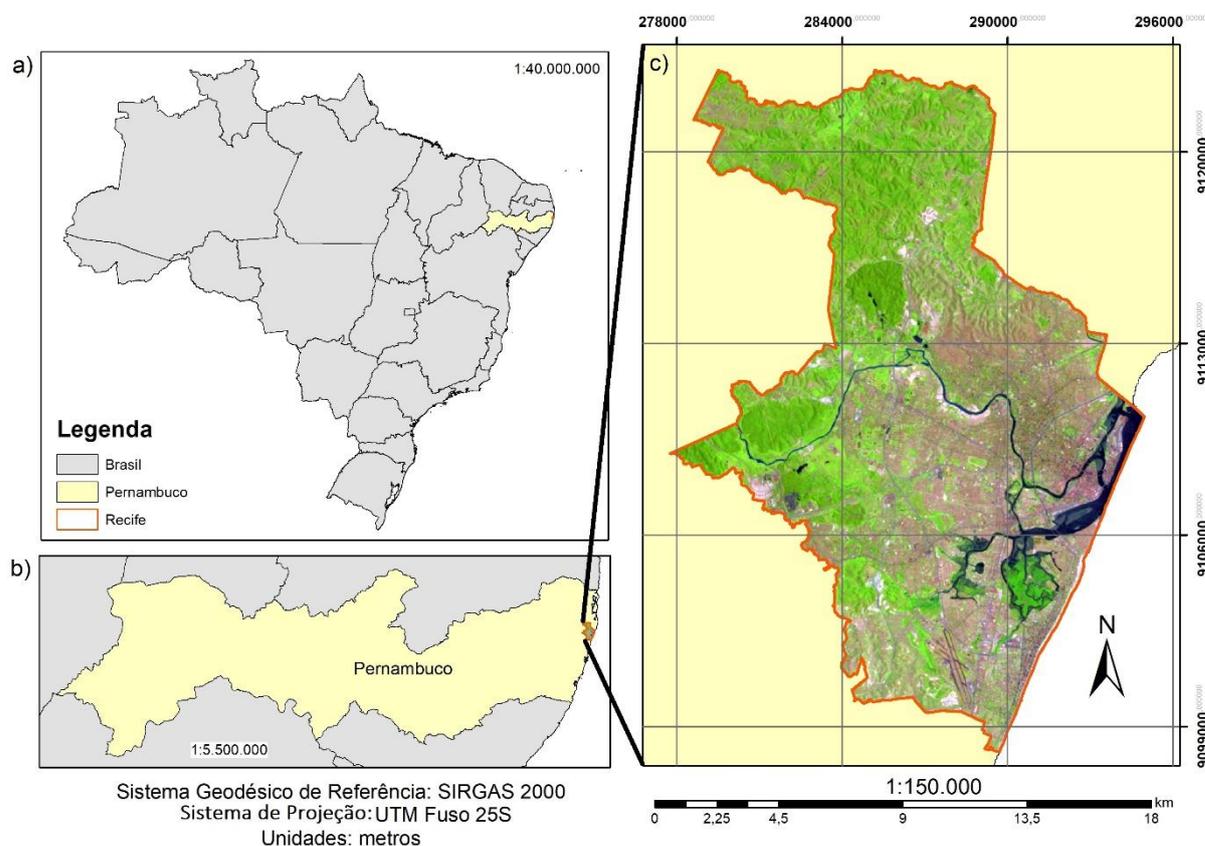
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Utilizar imagens do sensor TM do satélite *Landsat 5*, considerando os anos de 1989 e 2011, para detectar mudanças na temperatura na cidade do Recife;
- Analisar o fenômeno ICU na área de estudo;
- Identificar e analisar o padrão de uso do solo através do índice de vegetação NDVI;
- Correlacionar os resultados de temperatura da superfície com a cobertura vegetal (NDVI) encontrado na região;

2 ÁREA DE ESTUDO

O objeto de estudo é a cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, com uma área de aproximadamente 218 km², com altitude média variando entre 4 a 10 metros. Sua população foi estimada pelo IBGE (2018) em 1.637.834 habitantes, ocupando a posição de 9º município mais populoso do país. A Figura 1 apresenta em (a) o mapa do Brasil com destaque em (b) para o estado de Pernambuco e a ampliação da área de estudo em (c), no caso a cidade do Recife.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, onde (a) representa o Brasil, (b) o destaque para o estado de Pernambuco e (c) um recorte da área da cidade do Recife.



Fonte: A autora, 2018.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger (2004), é tropical quente e úmido, com a média de temperatura anual de 25,4°C e amplitude de 2,8°C, com uma média anual de umidade relativa do ar de 84%. A cidade possui um regime pluviométrico que se divide em dois períodos diferentes: uma estação seca ou com pouca chuva, que se estende de setembro a fevereiro e uma estação chuvosa, que ocorre entre março e agosto, com índice médio anual pluviométrico acima de 1.600mm (ALTAS AMBIENTAL DO RECIFE, 2000).

Como a região estudada está localizada em latitude próxima ao Equador, dentro da zona intertropical, ela apresenta alta taxa de insolação em que a incidência dos raios solares é intensa e quase que constante em todo o ano (MOREIRA; GALVÍNIO, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nos itens a seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

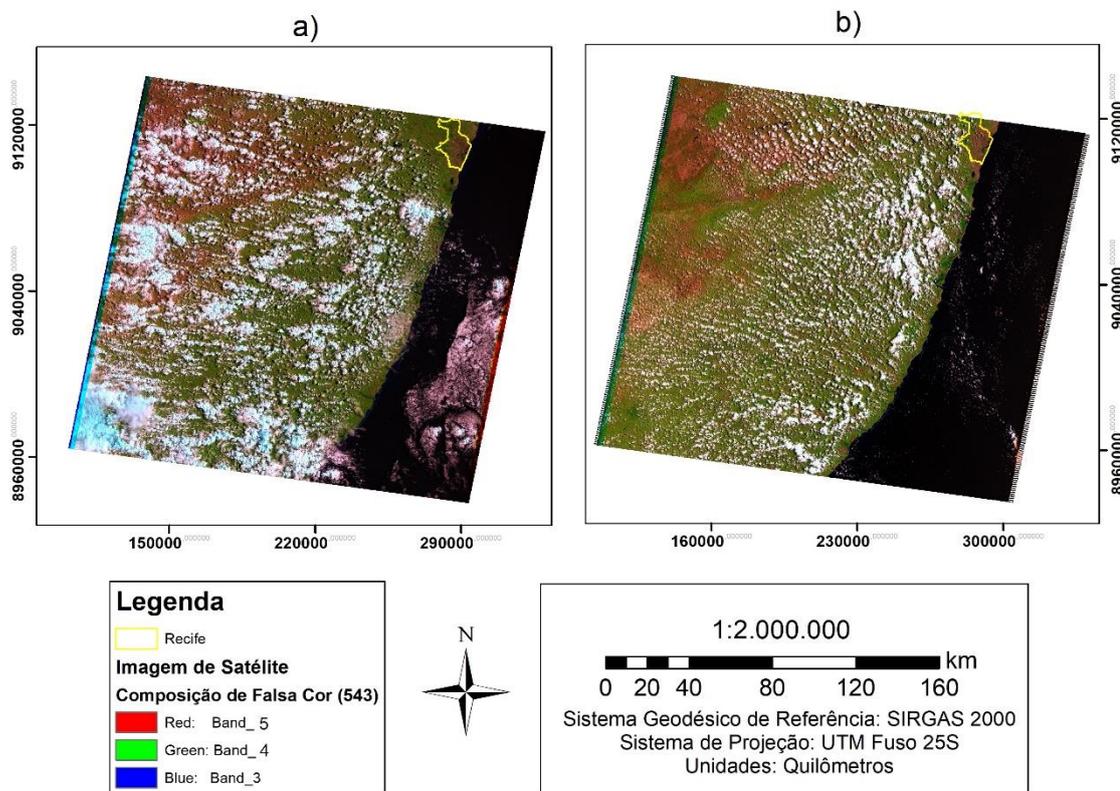
3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados foram imagens digitais geradas pelo sensor *Thematic Mapper* – TM do satélite *Landsat 5*, onde as bandas utilizadas no processamento foram as do vermelho, infravermelho próximo e a banda do infravermelho termal, dados meteorológicos, o modelo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) – (Algoritmo de balanço de energia superficial para a terra) e o *software* livre Quantum GIS.

3.1.1 Imagens de satélite

As imagens de satélite utilizadas se referem a órbita 214, para os pontos que abrangem a área de estudo (66), considerando os dias 28 de setembro de 1989 (Figura 2a) e 25 de setembro de 2011 (Figura 2b). As imagens foram obtidas em um período seco e com pouca precipitação (MOREIRA, 2014; SANTOS, 2011) de acordo com dados obtidos no Atlas de Pernambuco (2000), que ocorre de setembro a fevereiro, priorizando imagens com o menor recobrimento de nuvens na área de estudo. As imagens foram obtidas, de forma gratuita, através servidor *online* do Serviço Geológico Americano (GLOVIS USGS) <<https://glovis.usgs.gov/>> em formato 'geotiff'. Para uma visualização melhor a Figura 2 apresenta uma composição de falsa cor, gerada pela combinação das bandas 5, 4 e 3.

Figura 2 - Imagens do satélite Landsat 5 - TM: (a) para o dia 28/09/1989 e, (b) para o dia 25/09/2011.



Fonte: A autora, 2018.

As imagens digitais geradas pelo sensor *Thematic Mapper* – TM, abordo do satélite *Landsat 5*, são compostas por sete bandas espectrais com algumas características específicas como faixa espectral e coeficientes de calibração, descritas na Tabela 1. A resolução espacial é de 30 m, com exceção da banda termal (banda 6) que tem uma resolução de 120 m, com uma área de 900 km² de recobrimento para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; tendo uma resolução temporal de 16 dias e resolução radiométrica de 8 *bits*.

Tabela 1 - Descrição das bandas e faixas espectrais correspondentes ao TM - Landsat 5, coeficientes de calibração mínimo (a) e máximo (b).

Coeficientes de calibração $Wm^{-2} \mu m^{-1}$					
Bandas	Faixa espectral	28/09/1989		25/09/2011	
		a	b	a	b
1 (Azul)	0,45 – 0,52	-1,520	169,000	-1,520	193,000
2 (Verde)	0,52 – 0,60	-2,840	333,000	-2,840	365,000
3 (Vermelho)	0,63 – 0,69	-1,170	264,000	-1,170	264,000
4 (IV - Próximo)	0,76 – 0,90	-1,510	221,000	-1,510	221,000
5 (IV - Médio)	1,55 – 1,75	-0,370	30,200	-0,370	30,200
6 (IV - Termal)	10,4 – 12,5	1,238	15,303	1,238	15,303
7 (IV - Médio)	2,10 – 2,35	-0,150	16,500	-0,150	16,500

Fonte: Adaptado de (CHANDER; MARKHAM; BARSÍ, 2007).

3.1.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados, durante o processamento, foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET através do *site* <<http://www.inmet.gov.br/porta/>>; em que a única estação em operação na área de estudo é a de 'RECIFE CURADO – PE', cujo código é 82900, com latitude $-8,05^\circ$ e longitude $-34,95^\circ$. Na Tabela 2 é possível identificar os dados de temperatura mínima, média e máxima para os dias em que as imagens de satélite foram obtidas.

Tabela 2 - Dados de Temperatura mínima, média e máxima, para os dias de captura das imagens, na estação localizada no bairro do Curado na cidade do Recife.

Estação	Data	Temperatura Mínima ($^\circ C$)	Temperatura Média ($^\circ C$)	Temperatura Máxima ($^\circ C$)
82900	28/09/1989	22,8	26,56	29,7
	25/09/2011	19,8	25,38	29,3

Fonte: INMET, 2018.

3.1.3 SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)

O modelo SEBAL, é um método que tem como objetivo estimar de forma instantânea as componentes do balanço de energia através do sensoriamento remoto, visando a medição do fluxo da evapotranspiração, que é a medida residual da equação do balanço de energia superficial para um tempo específico, calculado para cada *pixel*; onde o funcionamento do algoritmo envolve a utilização de imagens de

satélite e algumas informações obtidas em estações meteorológicas de superfície (ALLEN et al., 2002; BASTIAANSSEN, 1995; MOREIRA et al., 2017).

Algumas das vantagens do modelo, apresentadas por Compaoré et al. (2008), evidenciam a praticidade e aplicabilidade da ferramenta, tais como: (1) o algoritmo se basear fisicamente em imagens de satélite e necessitar de poucos dados meteorológicos; (2) poder ser aplicado para diferentes sensores além dos Landsat ETM+, TM e OLI, como por exemplo o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e o AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*); (3) utilizar uma vasta quantidade de variáveis ambientais; e (4) permitir a aplicabilidade do modelo em áreas extensas.

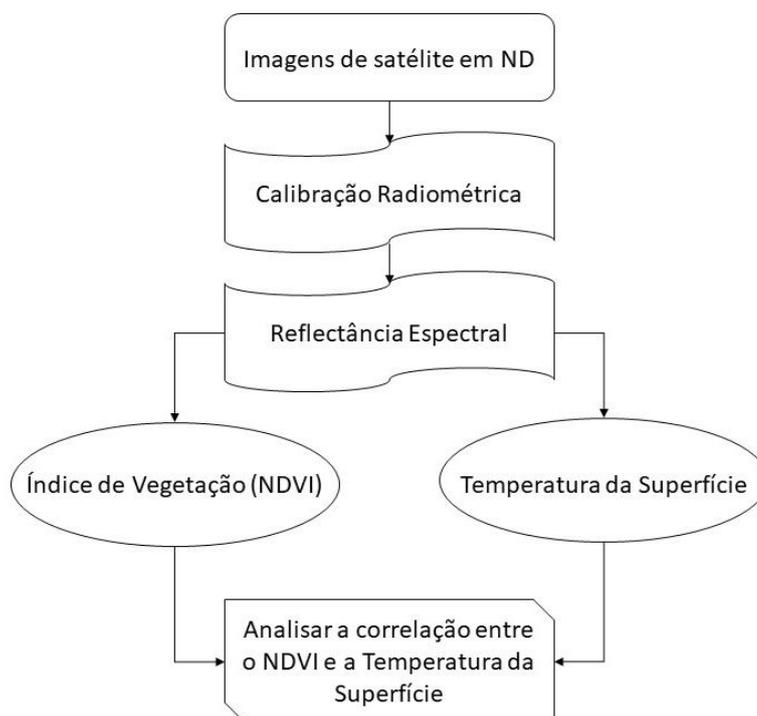
Para a obtenção do balanço da energia superficial, que é o objetivo principal do SEBAL, são implementadas trinta e quatro etapas em seu processamento, gerando informações como emissividade, temperatura da superfície, albedo da atmosfera, albedo de superfície, índices de vegetação como NDVI, SAVI e EVI, entre outros resultado (BASTIAANSSEN, 1995; MOREIRA, 2014).

Como o objetivo geral deste trabalho é identificar a formação do fenômeno de ICU, só serão implementadas algumas etapas definidas pelo modelo. Tais etapas serão descritas no item a seguir.

3.2 MÉTODOS

Para o processamento das imagens foi utilizado o *software* livre de sistema de informação geográfica denominado Quantum GIS, que possui código aberto; tal *software* trabalha com as equações e etapas adotadas pelo modelo SEBAL, que foi utilizado como base deste trabalho. No diagrama de blocos da Figura 3 estão representadas todas as etapas para o desenvolvimento deste estudo. Onde, a partir das imagens de satélites representadas por números digitais (ND) é feita a calibração para obtenção das reflectâncias espectrais para cada banda da imagem, o índice de vegetação (NDVI) e a temperatura da superfície são calculados utilizando as reflectâncias obtidas, por fim foi analisada a correlação entre o NDVI e a temperatura da superfície. A seguir cada etapa será detalhada de acordo com suas respectivas equações e coeficientes.

Figura 3 – Diagrama de blocos das etapas utilizadas no processamento das imagens.



Fonte: A autora, 2018.

Para o primeiro passo do processamento foi feita a calibração radiométrica, que consiste na transformação do número digital (*ND*), para cada *pixel* da imagem, em radiância espectral monocromática (L_{λ_i}); onde a radiância representa a energia solar refletida pelo alvo terrestre, com relação a unidade de área, tempo e inclinação

angular, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 quando se refere ao satélite *Landsat 5*. A radiância espectral foi obtida pela equação 1 (MARKHAM E BARKER, 1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times ND, \quad (1)$$

em que a_i e b_i são as radiâncias mínimas e máximas, ND é o nível de cinza do *pixel*, e i representa as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM *Landsat 5*.

A reflectância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$) representa a razão entre o fluxo de radiação refletida por cada banda e o fluxo de radiação incidente, sendo determinada pela equação 2 (BASTIAANSSEN, 1995; ALLEN et al., 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \times L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \times \cos Z \times d_r}, \quad (2)$$

em que: $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, que foi determinada na etapa anterior; $k_{\lambda i}$ é a irradiação solar espectral, de cada banda, no topo da atmosfera; Z é o ângulo zenital solar; e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e a distância Terra-Sol, em dado dia do ano. Todos esses dados foram obtidos no arquivo de metadados da imagem.

Através do uso dos valores de reflectância é possível gerar diversos índices, dos quais optamos por focar na utilização do índice de vegetação de diferença normalizada e na obtenção da temperatura de superfície, que foi utilizado para o estudo na identificação da formação das Ilhas de Calor Urbanas.

O índice de Vegetação de Diferença Normalizada ($NDVI$) é o parâmetro que melhor destaca a vegetação, por ele ser determinado através da relação entre a absorção da radiação espectral na banda do vermelho pela clorofila presente nas células vegetais e a relação com a reflectância das folhas na região do infravermelho próximo (PUREVDORJ et al., 1998). O $NDVI$ é definido através da relação entre a diferença das reflectâncias da banda 4 (infravermelho próximo) e da banda 3 (vermelho), pela soma das duas, correspondendo a equação 3 (TURCKER et al., 1986).

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (3)$$

onde: ρ_{IV} é a reflectância da banda 4 e ρ_V é a reflectância da banda 3, tais configurações correspondem ao sensor TM do *Landsat 5*. Segundo Viganó et al. (2011), o índice varia de -1 a +1 em que as superfícies de água ou nuvem são representados pelos valores negativos, os índices próximos de zero indicam superfície não vegetada ou solo exposto.

A Temperatura de Superfície (T_s) é determinada a partir da utilização da radiância espectral da banda 6 (banda termal) do sensor TM do *Landsat 5*, e da emissividade (ε_{NB}), que é razão da energia emitida pela superfície de uma determinada matéria com a energia emitida pelo corpo negro na mesma temperatura (BASTIAANSEN, 1995; MATOS et al., 2015; MATOS; CANDEIAS; AZEVEDO, 2016). A equação 5 que representa a temperatura de superfície é dada por:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} \times K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)}, \quad (5)$$

onde K_1 e K_2 são constantes de calibração da banda termal do *Landsat 5 – TM* e correspondem a $607,76 \text{ Wm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $1260,56\text{K}$, respectivamente.

Para determinação da emissividade (ε_{NB}) de cada *pixel*, calculada em função do *IAF* e do *SAVI* através da equação 6 em que os *pixels* com $IAF \geq 3$ foi adotado um valor de $\varepsilon_{NB}=0,98$ e, para corpos d'água ($SAVI < 0,1$) a $\varepsilon_{NB}=0,985$, segundo (ALLEN et al., 2002):

$$\varepsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033 \times IAF, \quad (6)$$

onde *IAF* é o Índice de Área Foliar, um indicador de biomassa obtido para cada *pixel*; tal índice é definido pela razão da área foliar da vegetação por unidade de área utilizada por ela, sendo determinado empiricamente por (ALLEN et al., 2002):

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91}. \quad (7)$$

O *SAVI* (*Soil Adjusted Vegetation Index – índice de Vegetação Ajustada* para o efeito do Sol) é um indicador de vegetação que objetiva diminuir os efeitos do “*background*” do solo, segundo Huete (1988), através da equação:

$$SAVI = \frac{(1+L) \times (\rho_{IV} - \rho_V)}{(L - \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (8)$$

onde L é uma constante que depende do tipo de solo, em que o valor mais utilizado é o 0,5 (MOREIRA, 2009; SANTOS, 2011).

4 RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados obtidos durante a pesquisa, em que se encontram organizados com relação ao parâmetro estudado.

4.1 Temperatura da Superfície

Na Tabela 3 são representados os valores estatísticos: mínimo, máximo, média e moda da temperatura da superfície para os dias 25 de setembro de 1989 e 28 de setembro de 2011. Percebe-se, através dos valores apresentados, que as temperaturas mais elevadas ocorreram no ano de 2011, tendo seu valor mínimo de 15,7 °C, máximo de 34,3 °C e a moda de 24,9 °C.

Tabela 3 - Valores estatísticos da temperatura na superfície (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 25 de setembro de 1989 e 28 de setembro de 2011.

Dia	Temperatura da Superfície			
	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Média (°C)	Moda (°C)
1989	23,86	31,81	26,72	24,75
2011	15,72	34,27	28,36	24,94

Fonte: A autora, 2018.

Os resultados obtidos no mapa de temperatura da superfície, para a cidade do Recife (Figura 4), permitem identificar as mudanças ocorridas entre as faixas de temperatura abordadas quando comparados os dois anos utilizados no estudo (1989 e 2011). Tais variações podem ser decorrentes da expansão urbana que a cidade sofreu, no período de 20 anos estudado, em que ocorreu um aumento das áreas construídas, causando a impermeabilização do solo e, por conseguinte a redução de áreas verdes, elevando a temperatura da região. Em termos gerais, a faixa de temperatura que representa, em sua maioria, a zona urbana para o ano de 1989 é 27 a 30 °C, tendo esse padrão alterado, chegando a temperaturas maiores do que 30 °C, na área urbanizada, para o ano de 2011, corroborando assim a hipótese que a substituição do material que compõe a superfície terrestre é um dos principais fatores intervenientes da alteração dos valores de temperatura da região.

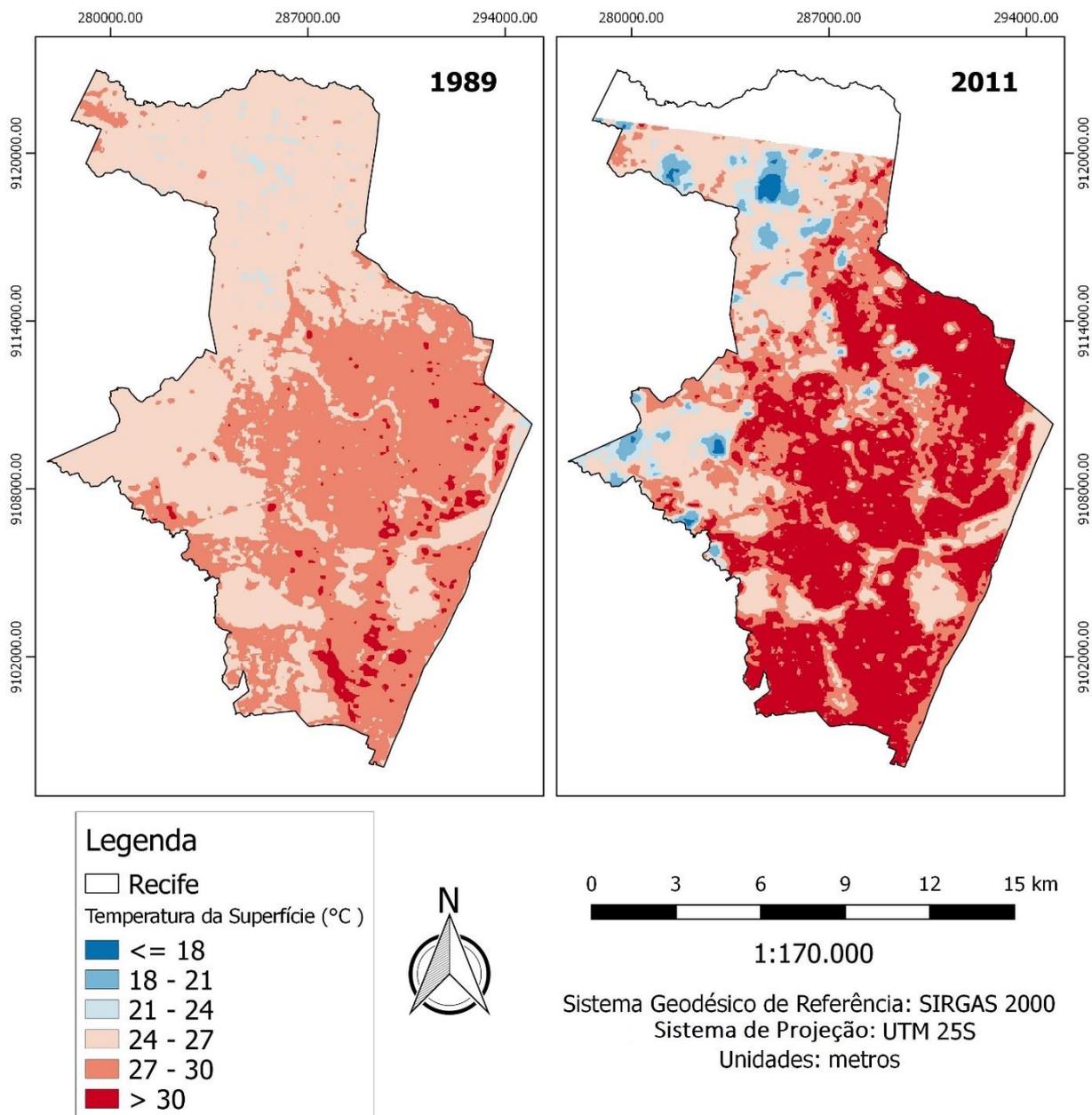
Santos (2011) analisando a mesma área encontrou, para os anos de 1998 e 2010, uma variação de temperatura superior a 2°C; ao analisar os resultados, *pixel a pixel*, deste trabalho é possível identificar uma variação acima de 6° C na temperatura da superfície quando comparado os anos de 1989 e 2011.

No estudo de Moreira e Galvínio (2007), onde foi analisado uma área urbanizada no Recife no ano de 2002, em que foi avaliada a temperatura da superfície através do uso de imagens termais do satélite *Landsat 7 ETM+*, foi observada uma temperatura máxima superior a 30 °C em alguns pontos como o Aeroporto do Recife. No presente estudo, analisando o ano de 2011, é possível observar que a temperatura na região estudada por Moreira, em 2002, aumenta e se propaga para regiões vizinhas ao aeroporto.

O gradiente de temperatura da superfície medido através da banda termal do satélite *Landsat 5*, sensor TM, apresentou menores valores em torno de 22 °C para a imagem de 1989, onde estes valores estão concentrados em poucas áreas na região noroeste da cidade; para a imagem de 2011 os menores valores espaciais apresentados foram em torno de 18 °C, localizados em áreas em que é possível identificar a presença de sombra de nuvens na imagem. Tais dados de temperatura mínima podem ser verificados através da medição feita pela estação meteorológica do curado, os quais são apresentados da Tabela 2.

Os valores intermediários, os que estão entre as temperaturas máximas e as mínimas, apresentam uma variação entre 24 e 27 °C, onde há uma predominância de área ao norte e oeste na região de estudo, para o ano de 1989, caracterizadas através da presença de zonas de preservação e com pouca urbanização; as regiões que se encontram na mesma faixa de temperatura, para o ano de 2011, são marcadas pela manutenção de algumas das áreas de preservação, como é o caso da área do parque de Dois Irmãos. Nas áreas em que há presença de vegetação é possível observar a diminuição da temperatura, evidenciando assim a importância da manutenção e preservação dessas áreas para o equilíbrio da temperatura da superfície, uma vez que o efeito direto do sombreamento e da evapotranspiração ajudam a diminuir tais medidas. Foi possível observar que os corpos hídricos se comportam, com relação aos valores de temperatura, de maneira semelhante aos valores encontrados para a vegetação.

Figura 4 - Mapa da Temperatura da Superfície da cidade do Recife para os anos de 1989 e 2011.

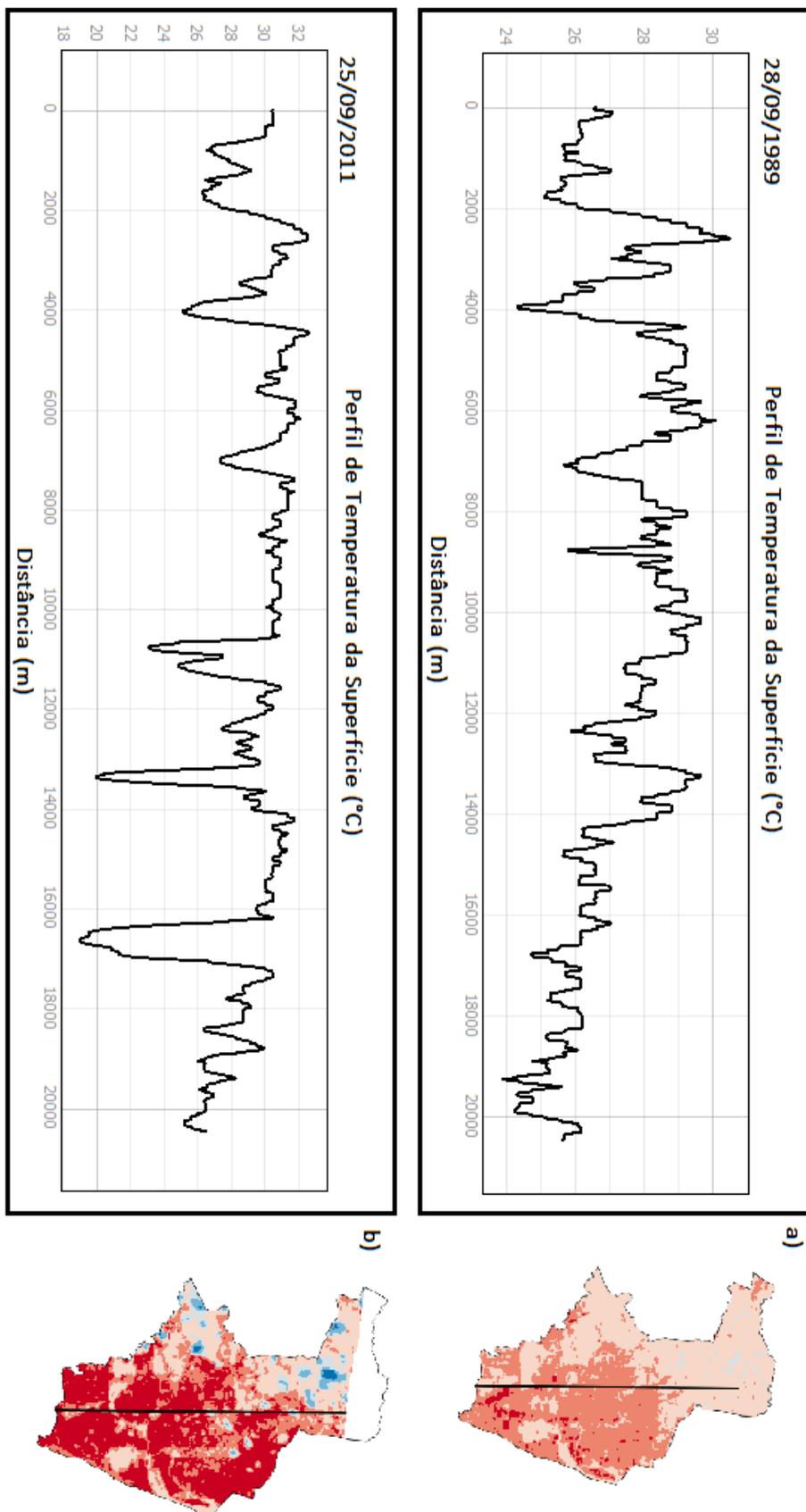


Fonte: A autora, 2018.

Os maiores valores de temperatura da superfície medidos foram superiores a 30°C, onde a imagem de 1989 apresentou poucas áreas nessa faixa de temperatura, dando ênfase à região do Aeroporto Internacional do Recife; a situação se altera, de forma exacerbada, na imagem de 2011, onde praticamente toda região da cidade está submetida à temperaturas da superfície bastante elevadas.

Para uma análise mais detalhada da temperatura e sua variação na região de estudo foi traçado um perfil, no mapa da cidade, para as duas datas analisadas, sendo possível perceber uma equidade na variação da temperatura na imagem de 1989 (Figura 5a) apresentando menores valores, a temperatura mantém-se próxima aos 24 °C, correspondendo a áreas com presença da vegetação ou corpos d'água, enquanto que os valores mais elevados chegam a 31 °C para áreas impermeabilizadas. Em relação à data de 2011 (Figura 5b) as maiores temperaturas também se apresentam em áreas urbanizadas, com variação entre 31 a 33 °C; com relação as áreas de menor temperatura, onde é possível perceber uma variação abrupta nos valores, são identificadas na presença de nuvens na imagem, chegando a 19 °C.

Figura 5- Perfis de Temperatura da Superfície (°C): a) 28/09/1989; b) 25/09/2011.



Fonte: A autora, 2018.

Uma classificação supervisionada foi realizada com o intuito de se obter a área de cada faixa de temperatura adotada em que fosse possível quantificar a distribuição de tais faixas para os dois anos estudados e assim fazer uma comparação quantitativa entre a variação encontrada para os anos. As áreas encontradas estão apresentadas na Tabela 4. Para as faixas de temperatura menor que 18 °C e de 18 a 21 °C não foi calculada a taxa de crescimento pelo fato de que tais faixas de temperatura só foram obtidas pela interferência das nuvens na imagem de 2011, o que não nos permite fazer uma avaliação da real temperatura nas áreas em questão.

Tabela 4 - Área, em km², das faixas de temperatura adotadas para os anos estudados, com a taxa de crescimento em porcentagem.

Ano	Área por Faixas de Temperatura da Superfície (km ²)					
	< = 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	> 30
1989	0,00	0,00	35,78	1139,39	961,82	48,17
2011	1,04	4,87	77,30	441,66	568,54	851,89
Taxa de crescimento	-	-	116,08%	-61,24%	-40,89%	1668,57%

Fonte: A autora, 2018.

Obtivemos um crescimento de área para a faixa de 21 a 24 °C, quando analisado o ano de 2011 para o ano de 1989, de 116,08%; uma taxa de crescimento muito elevada pode ser observada para a faixa de temperatura maior do que 30 °C, com uma taxa de 1.668,57% quando comparadas as áreas de temperatura das imagens de 2011 para 1989. Para as faixas de temperatura de 24 a 27 °C e 27 a 30 °C houve uma diminuição das áreas quando comparados os anos estudados, com uma taxa de crescimento de -61,24% e -40,89%, respectivamente. Tal análise corrobora com a avaliação qualitativa obtida através do mapa de temperatura da superfície (Figura 4).

4.2 NDVI

A Tabela 5 apresenta os valores mínimo, máximo, média e moda da análise do NDVI para os dias 25/09/1989 e 28/09/2011. Em 1989 foram identificados valores entre -0,84 e 0,77, com média de 0,41; já para 2011 a média foi de 0,31 com os extremos dos dados indo de -0,29 a 0,86. A moda foi de 0,66 para 1989 e de 0,18 para 2011.

Tabela 5 - Valores estatísticos do NDVI (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 25 de setembro de 1989 e 28 de setembro de 2011.

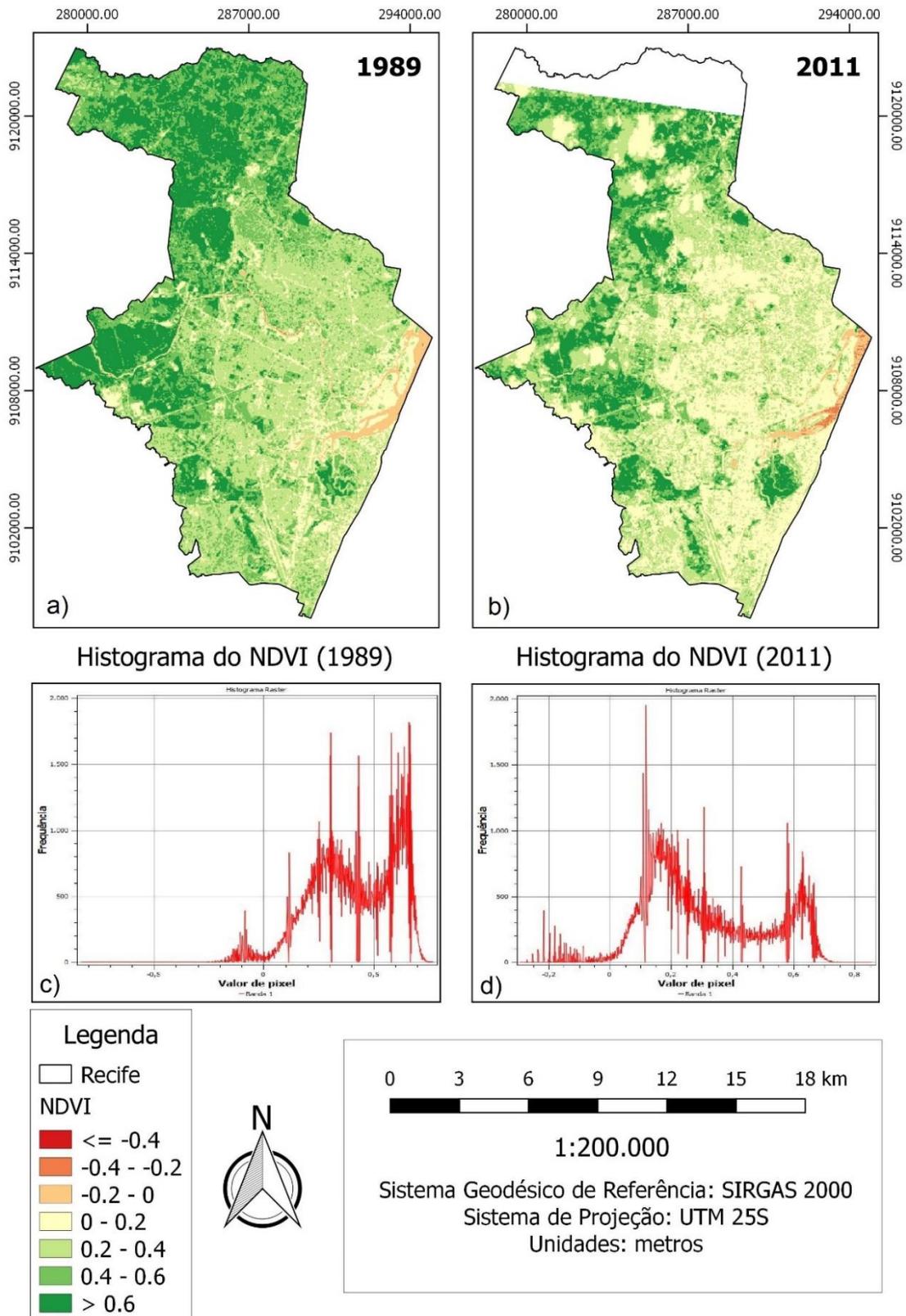
Dia	NDVI			
	Mínimo	Máximo	Média	Moda
1989	-0,84	0,77	0,41	0,66
2011	-0,29	0,86	0,31	0,18

Fonte: A autora, 2018.

As transformações do uso e ocupação do solo podem ser evidenciadas através de uma análise do índice de vegetação (NDVI), principalmente quando há uma comparação entre duas épocas distintas. Neste trabalho, como resultados, também obtivemos a distribuição espacial deste índice e identificação de sua evolução no decorrer do período estudado para a cidade do Recife. Tais alterações podem ser observadas na Figura 6, sendo visíveis as alterações entre os anos de 1989 e 2011.

O histograma apresentado na Figura 6c representa a distribuição dos valores de *pixel* do NDVI para o ano de 1989, onde a distribuição se concentra nos índices entre 0,2 e 0,7, indicando a presença de vegetação na imagem. Para o histograma da imagem de 2011 (Figura 6d) a distribuição dos valores de *pixel* está mais representada de forma mais equivalente entre os índices de 0,10 a 0,65, com uma elevação para a faixa do 0,13 ao 0,15 indicando um aumento nos valores de *pixel* de alvos que não representam a vegetação, quando comparados aos dados do ano de 1989.

Figura 6 - Mapa do NDVI para os anos de 1989 (a) e 2011 (b), com histograma para a imagem de 1989 em (c) e em (d) o histograma da imagem de 2011.



Fonte: A autora, 2018.

A evolução do índice de vegetação, em relação ao ano de 2011, pode ser observada pela expansão das áreas em bege (intervalo de 0 a 0,2), quando se comparadas as áreas do mapa de 1989, na região central da cidade onde o crescimento urbano exerce uma forte influência no uso e ocupação do solo, substituindo as áreas de vegetação natural por estruturas/materiais, que impermeabilizam o solo. A faixa do NDVI, que vai de -0,4 a -0,2 (área laranja), identifica os corpos hídricos que percorrem a cidade, através de uma comparação entre os dois mapas é possível perceber que pode ter ocorrido um estreitamento nos leitos dos rios que permitem a detecção da ocupação e impermeabilização do solo nestas áreas, tais atitudes podem gerar impactos como a poluição destes corpos hídricos e alteração em seus ciclos hidrológicos, podendo causar enchentes em áreas que se caracterizam como sendo de risco.

4.3 Correlação entre Temperatura da Superfície e o NDVI

Para análise da correlação entre os dois parâmetros estudados, temperatura da superfície e NDVI, foi gerada uma malha de pontos que atendessem toda a área estudada, pontos com espaçamento de 30 m, possibilitando a extração dos valores para todos os *pixels* das imagens *raster* (Temperatura da Superfície e NDVI). Extraído os valores dos dois parâmetros foi aplicado o método da correlação de Pearson (r), por ponto, onde é possível avaliar o quanto uma variável é influenciada por outra através de sua relação linear, em que o coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 a 1. O sinal indica a direção do relacionamento entre as variáveis, o coeficiente negativo indica que a correlação é inversa, a medida que um dos parâmetros analisados aumenta o outro diminui (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009).

Tabela 6 - Coeficientes de correlação de Pearson (r).

Coeficiente de correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,70 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,40 \leq r \leq 0,69$	Moderada positiva
$0,39 \leq r \leq 0,10$	Fraca positiva
$0 < r < 0,10$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,10 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,39 \leq r \leq -0,10$	Fraca negativa
$-0,69 \leq r \leq -0,40$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,70$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Fonte: Adaptado de Dancey e Reidy (2005).

A análise feita para o ano de 1989, com coeficiente de correlação igual a -0,654, indica que a correlação entre o NDVI e a temperatura da superfície é moderada negativa, onde a medida que o NDVI é menor a temperatura aumenta. Para o ano de 2011 o coeficiente de correlação é -0,298, onde a correlação se configura em fraca negativa, significando que para o ano de 2011 o índice de vegetação NDVI não exerceu uma influência direta e exclusiva ao aumento da temperatura de superfície.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base na análise e discussão dos resultados obtidos referentes à área de estudo é possível identificar que de fato ocorreu um aumento na temperatura da superfície referente a uma análise temporal de 1989 a 2011, tal dado atingiu um valor de até 6°C quando observado de forma pontual um mesmo lugar. Através dos mapas de temperatura gerados é possível entender que o aumento da temperatura da superfície se deu do centro da cidade, onde em 1989 já existia um aglomerado urbano, no sentido do subúrbio da cidade onde, no primeiro ano estudado, sua configuração era composta basicamente de reservas ambientais com pouca urbanização.

Através da classificação gerada para o estudo da temperatura da superfície, foi possível quantificar o crescimento das áreas por faixa de temperatura. A faixa que obteve a maior taxa foi a região que apresentou temperaturas acima de 30 °C, com um crescimento de 1.668,57% de sua área, tais dados podem ser interpretados como o aumento da impermeabilização do solo na cidade.

O índice de vegetação estudado também possibilita enxergar uma diminuição da área de vegetação, evidenciado pelo estudo temporal e espacial nas datas escolhidas. Os valores apresentam uma variação significativa entre as datas com média de 0,41 para o dia 25 de setembro de 1989 e 0,31 para o dia 28 de setembro de 2011, onde é possível identificar uma perda de cobertura vegetal. Essa diminuição pode ser atribuída ao crescimento da urbanização da cidade, corroborando com o aumento da temperatura apresentado, principalmente na região central da cidade.

De acordo com a análise da correlação de Pearson, é possível concluir que existiu uma relação moderada negativa quando analisado o ano de 1989, em que as áreas que apresentaram um NDVI menor obtiveram valores de temperaturas altos, confirmando assim a necessidade do equilíbrio entre as áreas com cobertura vegetal e impermeabilização do solo para que se tenha uma relação de conforto térmico na cidade. Para a análise de correlação no ano de 2011, onde a relação linear obtida foi fraca negativa, caracteriza que o NDVI não exerceu uma influência forte sobre o aumento da temperatura, podendo este aumento ser originário de fatores adversos como: alteração dos materiais construtivos; concentração de construções formando os cânions urbanos; aumento da concentração da população e conseqüentemente aumento no fluxo do trânsito e habitação; aumento da energia antrópica oriunda da emissão de calor pelas indústrias, entre outros.

Diante dos fatores adversos que influenciam nas questões de temperatura da superfície, é pertinente um estudo mais amplo sobre sua formação e correlação com outros índices que se apresentam com potencial de influência considerável, tais como: o estudo do albedo na superfície; padrão de uso e ocupação do solo; incluindo estudos que apresentem alternativas de mitigar o aumento da temperatura, gerando condições de bem-estar e conforto térmico para a sociedade.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G., TASUMI, M & TEREZZA. R. Sebal (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – **Advanced Training and User Manual** – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.

AMORIM, M. C. DE C. T.; DUBREUIL, V.; Cardoso, R. Dos S. Modelagem Espacial Da Ilha De Calor Urbana Em Presidente Prudente (Sp) – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 29–45, 2015.

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 of Climatology**, v. 23, n. 1, p. 1–26, 2003.

ARYA, S. P. Air Pollution Meteorology and Dispersion, 2 ed., San Diego, California, USA, **Academic Press**. p.420, 2001.

ATLAS AMBIENTAL DO RECIFE. **Prefeitura do Recife**, 2000.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 160–177, 2016.

BASTIAANSEN, W. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. **Landbouwnivers Wageningen**, p. 273, 1995.

BIAS, E. D. S.; BAPTISTA, G. M. D. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados landsat e ikonos. **Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil**, p. 1741–1748, 2003.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSÍ, J. A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 3, p. 490–494, 2007.

CHEN, X. L.; ZHAO, H. M.; LI, P. X.; YIN, Z. Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, v. 104, n. 2, p. 133–146, 2006.

COMPAORÉ, H.; HENDRICKX, J. M.; HONG, S.; FRIESEN, J.; VAN DE GIESEN, N. C.; RODGERS, C.; SZARZYNSKI, J.; VLEK, P. L. G. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the White Volta Basin, Upper East Ghana. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.33, p.127-140, 2008.

COSTA, D. F. DA; SILVA, H. R.; PERES, L. D. F. Identificação De Ilhas De Calor Na Área Urbana De Ilha Solteira - SP Através Da Utilização De Geotecnologias. **Eng.**

Agríc., Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 974–985, 2010.

DANCEY, C.; REIDY, J. Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre, **Artmed**, 2006.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. DA. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115–146, 2009.

FRANÇA, L. M. DE A.; SANTOS, M. S. DOS; LINS, T. M. P.; PEREIRA, J. A. DOS S.; GALVÍNIO, J. D. Análise do desconforto térmico causado pela ilha de calor urbana em um bairro do Recife-PE utilizando sensoriamento remoto. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil.**, p. 5842–5849, 2015.

GALLO, K. P.; TARPLEY, J. D.; MCNAB, A. L.; KARL, T. R. Assessment of urban heat islands: a satellite perspective. **Atmospheric Research**, v. 37, n. 1–3, p. 37–43, 1995.

GAMARRA, N. L. R.; CORRÊA, M. D. P.; TARGINO, A. C. D. L. Utilização De Sensoriamento Remoto Em Análises De Albedo E Temperatura De Superfície Em Londrina – Pr: Contribuições Para Estudos De Ilha De Calor Urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 537–550, 2014.

HUETE, A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 1, p. 295–309, 1988.

IBGE. **IBGE divulga as Estimativas de População dos municípios para 2018**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22374-ibge-divulga-as-estimativas-de-populacao-dos-municipios-para-2018>>. Acesso em: 22 out. 2018.

KÖPPEN, W. Sistema Geográfico dos Climas. **Notas e Comunicações de Geografia**. n. 12, p. 4-29. Tradução Antônio Carlos de Barros Correa, 2004.

IMHOFF, M. L.; ZHANG, P.; WOLFE, R. E.; BOUNOUA, L. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 504–513, 2010.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. DE C. T. A utilização de informações de temperatura da superfície, do NDVI e de temperatura do ar na análise de qualidade ambiental urbana. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto SBSR**, Curitiba-PR, Brasil., p. 1028-1035, 2011.

LIU, L.; ZHANG, Y. Urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER Data: A case study in Hong Kong. **Remote Sensing**, v. 3, n. 7, p. 1535–1552, 2011.

LO, C. P.; QUATTROCHI, D. A. Land-use and land-cover change, urban heart island phenomenon, and health implication: A remote sensing approach. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 9, p. 1053–1063, 2003.

MANLEY, G. On the frequency of snowfall in metropolitan England. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 84, p. 70–72, 1 jan. 1958.

MARKHAM, B. L.; BAKER, J. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances, Int. **Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 517- 523, 1987.

MATOS, R. C. DE M. CANDEIAS, A. L. B.; AZEVEDO, J. R. G.; HATTERMANN, F. F.; KOCH, H.; KLEINSCHMIT, B. Análise Multitemporal do Albedo, Ndvi e Temperatura no Entorno do Reservatório de Itaparica – PE: Anos de 1985 e 2010. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 545–554, 2015.

MATOS, R. C. DE M.; CANDEIAS, A. L. B.; AZEVEDO, J. R. G. DE. Estimativas Do Saldo De Radiação Instantâneo No Entorno Do Reservatório De Itaparica – Pe Com Uso De Imagens Orbitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 641–654, 2016.

MOREIRA, E. B. M. **Variação espacial e multitemporal das temperaturas da superfície na Cidade do Recife**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 2009.

MOREIRA, E. B. M. **Balço De Energia E Evapotranspiração Na Cidade Do Recife-Pe Por Sensoriamento Remoto**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 2014.

MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S.; SILVA, B. B. DA; RIBEIRO, E. P. O Modelo Sebal Para Estudos De Clima Intraurbano: Aplicação Em Recife, Pernambuco, Brasil. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 39, p. 247–265, 2017.

MOREIRA, E. B. M.; GALVÍNCIO, J. D. Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM–LANDSAT 7. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 24, n. 3, p. 101–115, 2007.

MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S. Identificação Do Fenômeno Ilhas De Calor Na Área Urbana Do Recife-Pe, Através Do Canal Infravermelho Termal Do Satélite Landsat 5. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil.**, p. 0768–0775, 2011.

NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T. V. DA S. O Microclima E O (Des)Conforto Térmico Em Ambientes Abertos Na Cidade Do Recife. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 28, n. 1, p. 93–109, 2011.

NÓBREGA, R. S.; SANTOS, P. F. C. DOS; MOREIRA, E. B. M. Variação Diurna-Noturna Das Ilhas De Calor Na Cidade Do Recife – Pe. **XII SBCG, Goiais, Brasil**, p. 1718–1729, 2016.

OKE, T. R. CITY SIZE AND THE URBAN HEAT ISLAND. **Atmospheric Environment Pergamon Press**, v. 7, p. 769–779, 1973.

OKE, T. R. Boundary Layer Climates. **London: Ethuen & CO**, p.372, 1978.

PENG, S.; PIAO, S.; CIAIS, P.; FRIEDLINGSTEIN, P.; OTTLE, C.; BRÉON, F. M.; NAN, H.; ZHOU, L.; MYNENI, R. B. Surface urban heat island across 419 global big cities. **Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 696–703, 2012.

PUREVDORJ, T. S., TATEISHI, R., ISHIYAMA, T., & HONDA, Y. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 18, p. 3519–3535, 1998.

SANTOS, T. O. DOS. **Identificação De Ilhas De Calor Em Recife-Pe Por Meio De Sensoriamento Remoto E Dados Meteorológicos De Superfície**. [s.l.] Universidade Rural Federal De Pernambuco - UFRPE, 2011.

SENA, C. A. P.; FRANÇA, J. R. A.; PERES, L. F. Estudo da Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro Usando Dados do MODIS. **Anuario do Instituto de Geociencias - UFRJ**, v. 37, n. 2, p. 111–122, 2014.

SOUZA, D. O. DE. **Influência Da Ilha De Calor Urbana Das Cidades De Manaus E Belém Sobre O Microclima Local**. [s.l.] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2008.

STATHOPOULOU, M.; CARTALIS, C. Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 12, p. 2592–2605, 2009.

SUN, C. Y. BRAZEL, A. J.; CHOW, W. T. L.; HEDQUIST, B. C.; PRASHAD, L. Desert heat island study in winter by mobile transect and remote sensing techniques. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 98, n. 3–4, p. 323–335, 2009.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. DE C. T.; DUBREUIL, V. Modelagem da ilha de calor urbana para cidade pequena (Rancharia-SP) a partir de imagens do satélite Landsat 7 e de medidas da temperatura do ar. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil.**, p. 3181–3188, 2015.

TURCKER, C. J.; FUNG, I. Y.; KEELING, C. D.; GAMMON, R. H. Relationship between atmospheric CO₂ variations and a satellite-derived vegetation index. **Nature**, v. 319, p. 195–199, 1986.

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. DE J. S. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. In **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, Paraná, 2011.

YUAN, F.; BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, n. 3, p. 375–386, 2007.