



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

- MESTRADO -

**AS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA E SUA
INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANA DA
SUPERFÍCIE E CONFORTO TÉRMICO EM JOÃO PESSOA,
PARAÍBA**

por

Regiane Aparecida de Souza e Silva

*Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa–Paraíba

Junho de 2020



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

- MESTRADO -

**AS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA E SUA
INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANA DA
SUPERFÍCIE E CONFORTO TÉRMICO EM JOÃO PESSOA,
PARAÍBA**

Trabalho submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Engenharia Urbana. Linha de pesquisa: Planejamento e Engenharia Urbana: Interações.

Mestranda: Regiane Aparecida de Souza e Silva

Orientador: Prof. Dr. Richard Marques da Silva

Catalogação de Publicação na Fonte. UFPB – Biblioteca Central Seção de
Catalogação e Classificação

S586m Silva, Regiane Aparecida de Souza e.

As mudanças no uso e cobertura da terra e sua influência na geração de ilhas de calor urbana da superfície e conforto térmico em João Pessoa, Paraíba / Regiane Aparecida de Souza e Silva. – João Pessoa, 2020.

73 f.

Orientação: Richarde Marques da Silva.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Urbanização. 2. Ilhas de calor urbanas. 3. Sistemas de Informações Geográficas (SIG). 4. Microescala - variação - espaço - temporal da temperatura. I. Silva, Richarde Marques da.

II. Título.

UFPB/BC

CDU: 711.4(813.3)(043)

REGIANE APARECIDA DE SOUZA E SILVA

**AS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA E SUA
INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO DE ILHAS DE CALOR URBANA DA
SUPERFÍCIE E CONFORTO TÉRMICO EM JOÃO PESSOA,
PARAÍBA**

Dissertação aprovada em ___/___/___ como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Richarde Marques da Silva – UFPB
(Orientador)

Prof. Dr. Victor Hugo Rabelo Coelho – UFPB
(Examinador Interno)

Prof. Dr. José Yure Gomes dos Santos – UFRN
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Joel Silva dos Santos – UFPB
(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro quero agradecer a Deus, por esta oportunidade, na qual tive a possibilidade de crescer profissionalmente e pessoalmente, onde pude expandir meus conhecimentos, conviver e aprender com grandes profissionais.

Agradeço aos meus pais, Elisete e Antônio, por todo o apoio que me deram durante esses anos, vocês são minha base e minha força diária. Aos meus irmãos, Raiane e Ronildo, por sempre acreditarem no meu potencial e me incentivam a sair da minha zona de conforto e buscar novos desafios.

Agradeço a minha amiga Karina, por ter dividido comigo as preocupações e pela convivência diária nestes anos. Sou muito grata pelas amizades construídas dentro do programa de pós graduação, Célia, Aurélia, Terceiro e Maísa. Vocês fizeram parte desta jornada nos melhores e também nos mais difíceis momentos, obrigada pelo suporte.

Agradeço imensamente ao meu orientador, o Prof. Richarde que em todo o processo dispôs de tempo para orientações e palavras de incentivos que auxiliaram na elaboração deste trabalho e também por transmitir calma nos momentos mais difíceis.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, aos professores, a coordenação e funcionários que estiveram presentes e possibilitaram a minha caminhada até aqui, obrigada.

Agradeço ao grupo LEPPAN por todo o apoio e conhecimento trocado.

Agradeço os professores da banca, Vitor Hugo, José Yure e Joel, por aceitarem o convite para a banca e contribuírem para a melhoria no resultado final do trabalho.

RESUMO

As alterações na paisagem urbana provocadas pela urbanização provocam mudanças no uso e cobertura da terra que impactam o microclima urbano e geram problemas para o bem-estar da população. Dentre as mudanças decorrentes da urbanização, pode-se citar que a formação de ilhas de calor urbanas de superfície que é um dos fenômenos mais estudados relacionados ao clima urbano. A ocorrência deste fenômeno está relacionada às mudanças no tipo de uso e cobertura da terra, como a substituição de áreas verdes por materiais impermeáveis, a exemplo do concreto, do vidro, e dos pavimentos, que possuem maior absorção de calor, o que eleva as temperaturas nos centros urbanos em relação às áreas naturais. Assim, o objetivo deste estudo é analisar a dinâmica espacial de longo prazo do impacto das mudanças recentes da urbanização na geração de ilhas de calor urbanas de superfície na cidade de João Pessoa, Paraíba, Brasil. Para este fim, foram utilizados os seguintes métodos e produtos: (a) classificação do uso e cobertura da terra de três imagens de satélite do Landsat 5 (1991, 2006 e 2010) e uma do Landsat 8 (2018), (b) assinatura térmica para cada categoria de uso da terra determinada mediante imagens de satélite do MODIS para os anos de 2011 a 2018, (c) determinação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) para determinar uma relação entre o comportamento térmico e as características de cada categoria de uso da terra, (d) dados observados de temperatura e umidade do ar coletados em 9 estações climatológicas e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 2011 (janeiro-março; junho-agosto) e 2018 (janeiro-setembro), e (e) cálculo do desconforto térmico utilizando o Índice de Desconforto de Thom (IDT). Os resultados obtidos mostram que durante os 27 anos estudados ocorreu um aumento da área urbana, mais acentuado no período de 2006 a 2010. Em relação a temperatura do ar obtidas em campo, obteve-se maiores valores para o ano de 2018, nos períodos secos (verão) e durante o dia. Com base nos resultados observa-se um aumento considerável no desconforto para o período diurno nas áreas urbanizadas da cidade no intervalo 2011–2018. Em relação às formações das ilhas de calor, a observação espaço-temporal mostra uma concentração junto as áreas construídas e de modo oposto as áreas verdes e corpos hídricos funcionaram como ilhas de frescor. Para avaliar a aproximação dos dados de campo com dados de satélites foram utilizados parâmetros estatísticos, resultando em um melhor desempenho dos dados Landsat em comparação a dados MODIS na microescala.

Palavras-chave: urbanização, ilhas de calor, microescala, sensoriamento remoto, SIG.

ABSTRACT

Changes in the urban landscape caused by urbanization in urban centers cause changes in land use and coverage, which impact the urban microclimate and generate problems for the well-being of the population. Among the changes resulting from urbanization, it can be mentioned that the formation of urban surface heat islands is one of the most studied phenomena with regard to the urban climate. The occurrence of this phenomenon is related to changes in the type of land use and coverage, such as the replacement of green areas by impermeable materials, such as concrete, glass, and pavements, which have greater heat absorption, which increases temperatures in urban centers in relation to natural areas. Thus, the aim of this study is to analyze the long-term spatial dynamics of the impact of recent changes in urbanization on the generation of urban surface heat islands in the city of João Pessoa, Paraíba, Brazil. For this purpose, the following methods and products were used: (a) classification of land use and coverage of three satellite images from Landsat 5 (1991, 2006 and 2010) and one from Landsat 8 (2018), (b) signature for each category of land use determined by means of MODIS satellite images for the years 2011 to 2018 obtained by the Google Earth Engine (GEE) platform, (c) determination of the vegetation index by normalized difference (NDVI) and the index of vegetation adjusted to the soil (SAVI) to determine a relationship between the thermal behavior and the characteristics of each category of land use, (d) observed temperature and air humidity data collected in 9 climatological stations and from Instituto Nacional de Meteorologia from Brazil (INMET) for the period 2011 (January-March; June-August) and 2018 (January-September), and (e) calculating thermal discomfort using the Thom Discomfort Index (TDI). The results obtained show that during the 27 years studied there was an increase in the urban area, in which the period from 2006 to 2010 was the period where there was the greatest increase in this class of land use. Regarding the air temperature obtained in the field, higher values were obtained for the year 2018, in the dry periods (summer) and during the day. Based on the results, a considerable increase in discomfort for the daytime is observed in the urbanized areas of the city in the 2011 - 2018 interval. In relation to the formations of the heat islands, the spatio-temporal observation shows a concentration along the built areas and in an opposite way the green areas and water bodies functioned as cool islands. Statistical parameters were used to evaluate the approximation of field data with satellite data, resulting in a better performance of Landsat data compared to MODIS data in the microscale.

Keywords: urbanization, heat islands, microscale, remote sensing, GIS.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral:	14
1.2.2	Objetivos Específicos:	14
1.2	Estruturação, Organização e Metodologia Geral da Dissertação	15
	REFERÊNCIAS	16
2.	MONITORAMENTO MULTITEMPORAL DAS MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA DURANTE 1991-2018 USANDO SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE SIG EM JOÃO PESSOA (BRASIL)	19
2.1	INTRODUÇÃO	20
2.2	MATERIAIS E MÉTODOS	21
2.2.1	Área de estudo.....	21
2.2.2	Dados utilizados e classificação do uso do solo	22
2.2.3	Comportamento da cobertura vegetal.....	23
2.2.4	Análise da dinâmica das mudanças de uso e ocupação da terra	24
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
2.3.1	Evolução do uso e cobertura do solo.....	25
2.3.2	Comportamento da cobertura vegetal.....	28
2.3.3	Análise da taxa de expansão urbana.....	32
2.4	CONCLUSÕES.....	34
	REFERÊNCIAS	35
3.	VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DAS ILHAS DE CALOR URBANAS DE SUPERFÍCIE E CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DE JOÃO PESSOA, BRASIL 37	
3.1	INTRODUÇÃO	38
3.2	Material e Métodos.....	39
3.2.1	Área de estudo.....	39

3.2.2 Procedimentos metodológicos e dados utilizados	40
3.2.2.2 Dados de satélites	42
3.2.3 Condições de conforto térmico	44
3.2.4 Análises estatísticas de desempenho	45
3.2.5 Determinação da temperatura de superfície.....	46
3.2.6 Correlação espacial da temperatura de superfície	47
3.3 Resultados e Discussão	48
3.3.1 Variação espaço-temporal da temperatura do ar.....	48
3.3.4 Relação entre a temperatura do ar e dados de satélites.....	55
3.3.5 Relação entre a urbanização e as ilhas de calor urbanas.....	58
3.3.2 Análises das condições de conforto térmico	60
3.3.3 Variação diurna da temperatura	63
3.4 CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS	71
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Descrição da metodologia geral do estudo.	16
Figura 2. Localização geográfica da cidade de João Pessoa, no Brasil.	22
Figura 3. Classificação do uso do solo: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010, e (b) 2018.	26
Figura 4. Variação do comportamento do NDVI para João Pessoa para os anos de 1991, 2006, 2010 e 2018.	29
Figura 5. Histograma dos valores de NDVI para os anos de: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010, e (d) 2018.	30
Figura 6. Variação do comportamento do SAVI para João Pessoa para os anos de 1991, 2006, 2010, e 2018.	31
Figura 7. Histograma dos valores de SAVI para os anos de: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010, e (d) 2018.	32
Figura 8. Valores de SI para cada intervalo analisado	33
Figura 9. Variação mensal da temperatura média e precipitação para a cidade de João Pessoa com dados de 1991–2018.	40
Figura 10. Fluxograma para determinação das ilhas de calor urbanas de superfície.	41
Figura 11. Localização geográfica dos pontos de coleta de dados em campo	42
Figura 12. Script utilizado para baixar as imagens do MODIS.....	43
Figura 13. Mapas de temperatura de superfície: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (d) 2018.	49
Figura 14. Série histórica de temperaturas medias	50
Figura 15. Média da temperatura de superfície para as imagens obtidas de 1991, 2006, 2010 e 2018.	51
Figura 16. Temperatura média mensal para dados observados e MODIS para o ano de 2011.	53
Figura 17. Temperatura média mensal para dados observados e MODIS para o ano de 2018.	55
Figura 18. Comparação entre os resultados dos índices estatísticos obtidos para os anos de 2011 e 2018.	57
Figura 19. Temperatura de superfície de cada classe para os anos: 1991, 2006, 2010 e 2018.	58
Figura 20. Análise espacial das ilhas de calor: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (b) 2018....	59

Figura 21. Comparação entre diferentes usos do solo e a concentração de alta e baixas temperaturas: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (b) 2018.	60
Figura 22. Comportamento dos valores de temperatura, IDT e umidade relativa para os anos de: (a) 2011e (b) 2018.	61
Figura 23. Comportamento dos valores de temperatura, IDT e umidade relativa para o ano de 2011: (a) período seco e (b) período chuvoso.....	62
Figura 24. Comportamento dos valores de temperatura, IDT e umidade relativa para o ano de 2018: (a) período seco e (b) período chuvoso.....	63
Figura 25. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P01....	64
Figura 26. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P02.....	65
Figura 27. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P03.....	66
Figura 28. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P04....	67
Figura 29. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P05....	67
Figura 30. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P06....	68
Figura 31. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P07....	69
Figura 32. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P08....	69
Figura 33. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P19....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das imagens utilizadas neste estudo	23
Tabela 2. Área e porcentagem das classes e uso do solo para cada anos estudados.	27
Tabela 3. Área e porcentagem das classes e uso do solo para o intervalo 1991-2018	28
Tabela 4. Valores da taxa de variação do uso e cobertura do solo (K).....	33
Tabela 5. Características das imagens do TM/Landsat 5 e OLI/Landsat 8	43
Tabela 6. Faixa de classificação do índice de desconforto de Thom (IDT) ajustado às condições climáticas da cidade de João Pessoa.....	45
Tabela 7. Lista das métricas estatísticas que serão aplicadas neste estudo.	46
Tabela 8. Temperaturas do ar medias diárias no dia de coleta das imagens e nos dias anterior e posterior.....	50
Tabela 9. Resultados dos índices estatísticos para dados MODIS	56
Tabela 11. Classes de uso do solo e a temperatura de superfície	58
Tabela 12. Médias: temperatura do ar, umidade relativa e IDT	61

1. INTRODUÇÃO

Juntamente com a evolução da sociedade humana, as cidades de grande e médio porte surgiram e se expandiram como uma consequência natural. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas (2015), mais da metade da população do mundo vive em áreas urbanas e todas as previsões indicam um aumento dessa porcentagem no futuro (Grigoras e Uritescu, 2019).

Durante o processo de urbanização ocorre a alteração de diversas características naturais, como infiltração, absorção de calor e a capacidade térmica, devido à mudança da cobertura natural do solo e vegetação por superfícies impermeáveis. Com esses fatores e a produção de calor devido às atividades humanas nos centros urbanos, o clima local é alterado e ocorre a geração das ilhas de calor, ou seja, temperaturas mais elevadas do que em áreas rurais. Essas variações em nível local da temperatura desencadeiam problemas para o conforto térmico e saúde humana, contribuindo também para a poluição do ar, o que se torna um desafio para o gerenciamento de energia e para o planejamento urbano (Silva et al., 2018; Peres et al., 2018).

Pode-se citar que ao modificar as características da superfície terrestre (e.g., absorção de calor, emissividade e rugosidade), as áreas urbanas influenciam no fluxo de calor local (Hanna et al., 2007), na circulação do fluxo de ar local (Collier, 2006), na turbulência na camada limite (Ludwig e Dabberdt, 1973), na precipitação (Chen et al., 2015) e no regime térmico (Cai et al., 2017). Essas mudanças na paisagem podem ser percebidas e identificadas através da utilização de índices de vegetação (Rani et al., 2018; Dwivedi e Khire, 2018; Jamei et al., 2019). Outra transformação no clima urbano são as ilhas de frescor, termo utilizado para descrever a presença de temperaturas de superfícies menores nas áreas urbanas em comparação às encontradas nas áreas rurais. A ocorrência desse efeito é associada com a presença de vegetação, de corpos de água, a alta umidade, a densidade construída e ao clima da região (Xue et al., 2019; Rasul et al., 2016).

O comportamento anual e diurno das diferenças de temperatura em áreas urbanas é importante para prever os impactos futuros no uso e cobertura da terra em zonas urbanas em virtude das mudanças climáticas e na poluição do ar em áreas densamente povoadas (Ciardini et al., 2019). Nesse sentido, o uso integrado de dados de campo, produtos de sensoriamento remoto em ambiente de Sistema de Informações Geográficas em estudos sobre o crescimento

urbano e seus os impactos no clima urbano, no uso e cobertura do solo são bastante difundidos (Rasul et al., 2016; Govind e Ramesh, 2019). Em nível de planejamento urbano, essas ferramentas podem ser usadas para otimizar a distribuição de áreas verdes no espaço urbano com a finalidade de potencializar os efeitos de redução de temperaturas (Zhang et al., 2017).

Os estudos do clima urbano não são novos, no entanto, os dados existentes e as análises vêm sendo aplicados e expandidos cada vez mais em diversas partes do planeta (Zhang et al., 2017; Silva et al., 2018; Xue et al., 2018; He et al., 2020; Yan et al., 2020), permitindo a busca de melhorias nos espaços urbanos, no que diz respeito ao conforto térmico e saúde da população. Desse modo, a aplicação de técnicas de análise espacial em zonas urbanas que apresentam recente adensamento populacional e verticalização, como é o caso da cidade de João Pessoa, carece de ser estudada no que tange as interconexões entre o mudanças no uso e ocupação da terra , aumento das ilhas de calor urbanas e a variabilidade espaço-temporal do microclima urbano. Diante do exposto, o presente trabalho busca contribuir com os estudos urbanos voltados ao clima urbano, mais especificamente para a análise de ilhas de calor urbanas de superfície na cidade de João Pessoa, por meio da utilização do geoprocessamento e suas ferramentas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral:

O objetivo geral é analisar a dinâmica espacial do impacto das mudanças recentes (1991–2018) do uso e ocupação da terra na geração de ilhas de calor urbanas de superfície na cidade de João Pessoa.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Identificar e quantificar as mudanças do uso e ocupação da terra no período entre 1991 e 2018 para a área de estudo.
- ✓ Avaliar as alterações no comportamento da cobertura vegetal mediante índices de vegetação.
- ✓ Análises de variáveis microclimáticas urbanas.

- ✓ Analisar a formação das ilhas de calor urbanas de superfície em João Pessoa.

1.2 Estruturação, Organização e Metodologia Geral da Dissertação

Para o estudo foi desenvolvido dois artigos com as seguintes temáticas: (a) avaliação da dinâmica do uso e ocupação da terra entre 1991 e 2018 e (b) análise das mudanças no microclima urbano e o impacto no conforto térmico.

A primeira parte consistiu na aquisição e processamento de imagens dos satélites Landsat 5/TM e Landsat 8/OLI para analisar a evolução do uso e cobertura da terra entre 1991 e 2018 na área de estudo. Para a realização deste artigo foram utilizadas diversas técnicas de processamento de imagens, com classificação das imagens, aplicação de índices de vegetação, e índices da variação do uso e cobertura do solo. Assim, foi possível analisar o crescimento da cidade de João Pessoa e quais foram as principais alterações na superfície que influenciaram em cada período.

O segundo artigo desenvolvido neste trabalho, teve com finalidade do estudo do clima urbano, analisando as tendências, o impacto causado pelas mudanças no uso do solo e o comportamento do conforto térmico no período. Para isso foram usados calculadas as temperaturas de superfície das imagens dos satélites Landsat 5/TM e Landsat 8/OLI, para estes tipos dados foram outro sensor, disponível na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), o MODIS que possui resolução e coleta de dados diferentes da fonte acima para temperaturas de superfícies.

Posteriormente, foi realizado à análise de dados de campo de temperatura do ar e umidade do ar. Além do mais, a partir desses dados foi possível estimar níveis de desconforto mediante a aplicação do Índice de Desconforto de Thom (IDT), possibilitando a análise da variação do comportamento com o passar dos anos desse indicador. Todos os dados de temperatura da superfície extraídos das imagens foram usados para a comparação com dados de campo, para analisar a aplicabilidade destes dados para uso em uma microescala. Para a comparação entre as temperaturas do ar (campo) e temperaturas de superfície (satélites) foram usados índices estatísticos. A Figura 1 mostra o fluxograma geral do estudo.

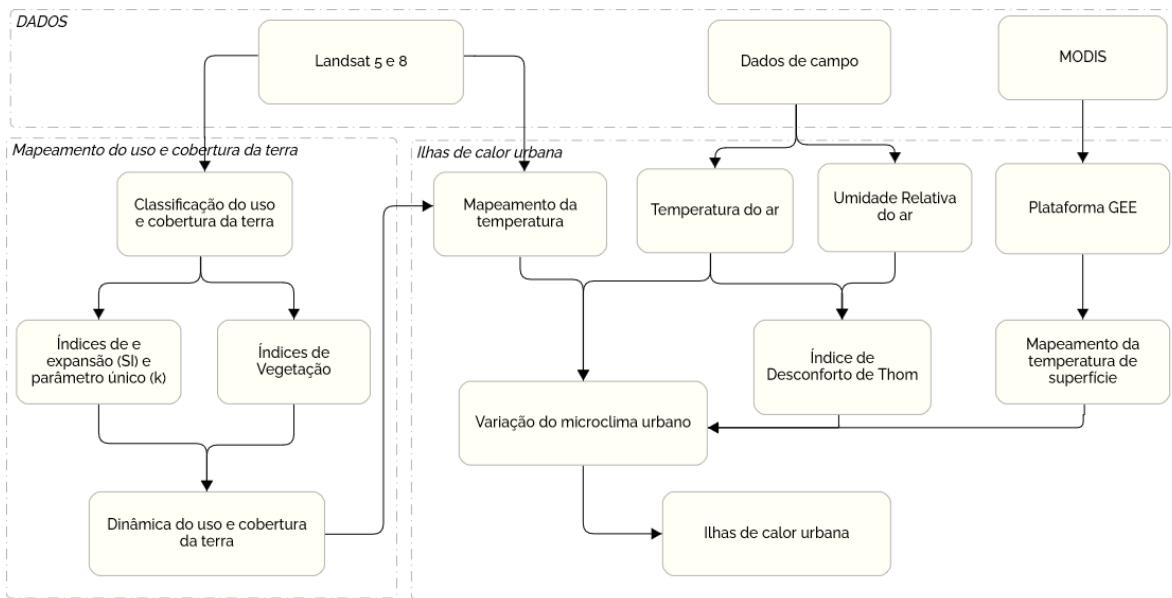


Figura 1. Descrição da metodologia geral do estudo.

REFERÊNCIAS

- Cai D, Fraedrich K, Guan Y, Guo S, Zhang C (2017). Urbanization and the thermal environment of Chinese and US-American cities. **Science of The Total Environment**, 589, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.148>
- Chen S, Li W-B, Du Y-D, Mao C-Y, Zhang L (2015). Urbanization effect on precipitation over the Pearl River Delta based on CMORPH data. **Advances in Climate Change Research**, 6, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2015.08.002>
- Ciardini V, Caporaso L, Sozzi R, Petenko I, Bolignano A, Morelli M, Melas D, Argentini S (2019). Interconnections of the urban heat island with the spatial and temporal micrometeorological variability in Rome. **Urban Climate**, 29, 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100493>
- Collier CG (2006). The impact of urban areas on weather. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological**, 132, 1–25. <https://doi.org/10.1256/qj.05.199>
- Dwivedi A, Khire MV (2018). Application of split- window algorithm to study Urban Heat Island effect in Mumbai through land surface temperature approach. **Sustainable Cities and Society**, 41, 865-877. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.030>
- Grigoras G, Uritescu B (2019). Land Use/Land Cover changes dynamics and their effects on Surface Urban Heat Island in Bucharest, Romania. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 80(2), 115-126. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.009>

Hanna S, White J, Zhou Y (2007) Observed winds, turbulence, and dispersion in built-up downtown areas of Oklahoma City and Manhattan. **Boundary-Layer Meteorology**, 125, 441–468. <https://doi.org/10.1007/s10546-007-9197-2>

He X, Wang J, Feng J, Yan Z, Miao S, Zhang Y, Xia J (2020). Observational and modeling study of interactions between urban heat island and heatwave in Beijing. **Journal of Cleaner Production**, 247, 119169. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119169>

Jamei Y, Rajagopalan P, Sun Q (2019). Spatial structure of surface urban heat island and its relationship with vegetation and built-up areas in Melbourne, Australia. **Science of The Total Environment**, 659, 1335-1351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.308>

Ludwig FL, Dabberdt WF (1973). Effects of urbanization on turbulent diffusion and mixing depth. **International Journal of Biometeorology**, 17, 1–11. <https://doi.org/10.1007/BF01553640>

Organização das Nações Unidas (2015). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. New York. Disponível em: [http://refhub.elsevier.com/S0303-2434\(18\)30707-4/sbref0170](http://refhub.elsevier.com/S0303-2434(18)30707-4/sbref0170). Acessado em: 05 de março de 2020.

Peres LF, Lucena AJ, Rotunno Filho OC, França JRA (2018). The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 64, 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.012>

Rani M, Kumar P, Pandey PC, Srivastava PK, Chaudhary BS, Tomar V, Mandal VP (2018). Multi-temporal NDVI and surface temperature analysis for Urban Heat Island inbuilt surrounding of sub-humid region: A case study of two geographical regions. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, 10, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.03.007>

Rasul A, Balzter H, Smith C (2015). Spatial variation of the daytime surface urban cool island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8. **Urban Climate**, 14, 176-186. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.001>

Rasul A, Balzter H, Smith C (2016). Diurnal and Seasonal Variation of Surface Urban Cool and Heat Islands in the Semi-Arid City of Erbil, Iraq. **Climate**, 4, 42. <https://doi.org/10.3390/cli4030042>

Santos JS, da Silva VPR, Lima ERV, de Araújo LE, Costa ADL (2012). Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 5(3), 540-557.

Silva JS, Silva RM, Santos CAG (2018). Spatiotemporal impact of land use/land cover changes on urban heat islands: A case study of Paço do Lumiar, Brazil. **Building and Environment**, 136, 279-292. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.041>

Voogt JA, Oke TR (2003). Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, 86, 370–384. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)

Xue Z, Hou G, Zhang Z, Liu X, Jiang M, Zou Y, Shen X, Wang Y, Liu X (2018). Quantifying the cooling-effects of urban and peri-urban Wetlands using remote sensing Data: Case study of cities of Northeast China. **Landscape and Urban Planning**, 182, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.015>

Yan C, Guoa Q, Li H, Li L, Qiu GY (2020). Quantifying the cooling effect of urban vegetation by mobile traverse method: A local-scale urban heat island study in a subtropical megacity. **Building and Environment**, 169, 106541. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106541>

Zhang Y, Murray A, Turner II BL (2017). Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona. **Landscape and Urban Planning**, 165, 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.009>

2. MONITORAMENTO MULTITEMPORAL DAS MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA DURANTE 1991-2018 USANDO SENSORIAMENTO REMOTO E TÉCNICAS DE SIG EM JOÃO PESSOA (BRASIL)

Regiane Aparecida de Souza e Silva & Richarde Marques da Silva. Multitemporal monitoring of land cover changes during 1991–2018 using remote sensing and GIS techniques in João Pessoa city (Brazil).

Resumo:

A urbanização causa uma rápida mudança no uso e cobertura da terra devido ao aumento da população, ocasionando modificações na cobertura da superfície com a redução de áreas verdes, impermeabilização do solo, aumento da poluição atmosférica e elevação da temperatura da superfície. Assim, o objetivo deste estudo é analisar as mudanças do uso e ocupação da terra na cidade de João Pessoa no período de 1991 a 2018. Para a realização deste estudo foram utilizadas quatro imagens de satélites, sendo três do TM/Landsat 5 e uma do OLI/Landsat 8. Para atingir o objetivo, foram realizados os seguintes procedimentos: (a) classificação supervisionada das imagens usando o método de máxima verossimilhança, (b) análise da dinâmica das mudanças de uso e ocupação da terra, e (c) determinação das mudanças ambientais pela estimativa do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI). Os resultados mostraram que para o período estudado a cidade passou por um processo de expansão, preenchimento de vazios e verticalização, alterando a configuração urbana. Os resultados indicam ainda que ao longo dos 27 anos analisados ocorreu a supressão de áreas verdes em decorrência de sua substituição por estruturas urbanas como asfalto e concreto, resultado em um aumento de 7,5% da área urbana.

Palavras-chave: urbanização, uso e cobertura da terra, geoprocessamento.

Abstract:

Urbanization causes a rapid change in land use and coverage due to the increase in population, producing changes in the surface coverage with the reduction of green areas, waterproofing of the soil, increase in atmospheric pollution and elevation of the surface temperature. Thus, the objective of this study is of analyze the changes in land use and occupation in the city of João Pessoa from 1991 to 2018. For this study, four satellite images were used, three from TM / Landsat 5 and one from OLI / Landsat 8. In order to achieve the objective, the following procedures were performed: (a) supervised classification of images using the maximum likelihood method, (b) analysis of the dynamics of land use and occupation changes, and (c) determination of environmental changes by estimating the vegetation index by normalized difference (NDVI) and vegetation index adjusted to the soil (SAVI). The results showed that for the studied period the city underwent an expansion process, filling of voids spaces and verticalization, changing the urban configuration. The results also indicate that over the 27 analyzed years there was a suppression of green areas as a result of their replacement by urban structures such as asphalt and concrete, resulting in an increase of 7.5% in the urban area.

Keywords: urbanization, land use and land cover, geoprocessing.

2.1 INTRODUÇÃO

O aumento da área urbana e as mudanças na cobertura da terra, materializada pela conversão de áreas não ocupadas em superfícies impermeáveis, é sem dúvida a principal causa das alterações microclimáticas no ambiente urbano (Deilami et al., 2018). Isso se deve ao fato de que, os tipos de materiais presentes nas áreas urbanas são principalmente impermeáveis, e, consequentemente, a umidade não está disponível para dissipar o calor do sol. Materiais como asfalto, vidro e concreto retêm mais energia solar durante o dia, quando comparados às coberturas vegetais (He et al., 2020). Por exemplo, as temperaturas de superfícies urbanas secas e escuras sob um céu claro podem chegar a 88 °C, enquanto, as áreas vegetadas com baixa umidade e com as mesmas condições podem chegar a uma temperatura de 18 °C (Gartland, 2012). Essas condições de diferentes materiais aliado ao crescimento desordenado e sem planejamento prejudicam a boa qualidade ambiental nos centros urbanos (Fabiani et al., 2019; Gunawardena et al., 2019).

Durante a expansão urbana, as áreas naturais passam por um processo de loteamento, com a delimitação de lotes e ruas construindo o desenho urbano. Ao longo desse processo, a cobertura antes natural dá lugar a um sistema de vias e outras redes de infraestruturas, que impermeabilizam o solo e provoca alterações nas condições preexistentes (Mascaró e Yoshina, 2005). Essas mudanças no uso e cobertura da terra afetam também as variáveis do ciclo hidrológico, podem gerar problemas de drenagem urbana, provocam aumento de inundações, diminuem a evapotranspiração devido a redução da vegetação, há uma diminuição da infiltração devido a impermeabilização, aumentam a poluição de águas superficiais e subterrânea e alteram os padrões de vegetação em ambientes urbanos (Du et al., 2010).

No Brasil, a expansão das cidades de médio porte teve um aumento bastante acentuado a partir das décadas de 90–2000. Esse crescimento nas cidades de médio porte é decorrência da migração rural urbana que ocorreu principalmente após a década de 70 (Miranda e Gomes Júnior, 2017). Essa situação vem afetando drasticamente as cidades com menos de 1 milhão de habitantes, como é o caso da cidade de João Pessoa (Silva et al., 2015; Sobreira et al. 2011). Assim, para se estudar os impactos das modificações na paisagem,

decorrente do crescimento populacional diversos produtos e técnicas de sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e modelos matemáticos vêm sendo utilizados para monitorar e detectar a expansão urbana e as mudanças no uso e cobertura da terra (Du et al, 2010; Tian et al, 2005, Wu et al., 2016, Dadashpoor et al., 2019). Tornando-se assim uma ferramenta que fornece critérios científicos para apoiar a tomada de decisão, planejamento macroeconômico, regulamentos e gestão da cidade (Wu et al., 2016).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como o objetivo analisar a dinâmica multitemporal das mudanças na cobertura e uso da terra entre 1991–2018 na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba, Brasil. Os habitantes de João Pessoa vêm sofrendo com os efeitos das mudanças recentes na paisagem urbana, manifestadas através do aumento da temperatura da superfície nos últimos anos (Souza et al., 2016). Nesse sentido, ao contrário de grandes metrópoles que possuem vários estudos sobre esse tema, como os citados anteriormente, a cidade de João Pessoa carece de estudos sobre planejamento urbano integrado que visem compreender os fatores de controle e os papéis desempenhados pelos principais atores nas mudanças do uso e cobertura do solo.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

A cidade de João Pessoa é a capital do estado da Paraíba, e está situada entre as coordenadas geográficas 7° 03' 00" e 07° 15' 00" de latitude sul e 34° 58' 00" e 34° 47' 30" de longitude oeste. A cidade de João Pessoa limita-se do ponto vista geográfico ao Sul com o município do Conde, a Oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita, ao Norte com o município de Cabedelo e ao Leste limita-se com o Oceano Atlântico (Figura 2). A população do município de João Pessoa é de aproximadamente 723.515 habitantes, com densidade demográfica de 3.421,28 hab/km² e possui um território de 211,286 km² (IBGE, 2010). Deve-se destacar que essa cidade possui com mais de 60 bairros (Figura 2).

O clima da cidade, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, está inserido no bioclima 3dth – regime mediterrâneo ou nordestino sub-seco, na faixa climática do tipo As', descrita como clima quente e úmido (Tropical chuvoso – classe A). A precipitação média para a cidade é de 1896 mm/ano, no qual o período entre os meses de maio e julho são os meses onde se concentra as máximas de precipitação anual. As

temperaturas diárias mínimas e máximas variam de 21 a 30 °C respectivamente, e a umidade relativa varia entre 73% e 82%. A cidade recebe a influência dos ventos úmidos de sudeste (alísios), por estar situada no extremo oriental do Brasil, com sua frequência alterada pelos ventos de leste e de nordeste e da zona de convergência intertropical (Sobreira et al., 2011).

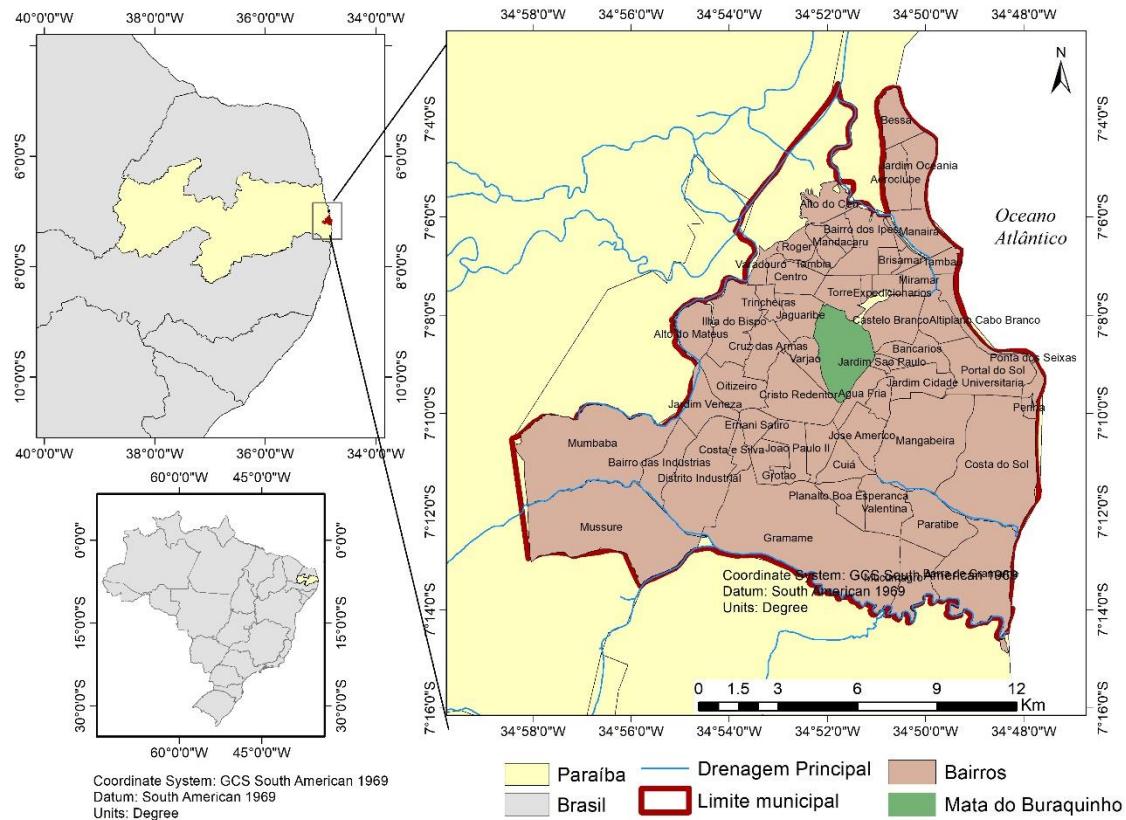


Figura 2. Localização geográfica da cidade de João Pessoa, no Brasil.

2.2.2 Dados utilizados e classificação do uso do solo

Para a realização do estudo foram utilizadas quatro imagens de satélites distribuídas em um intervalo de 27 anos (Tabela 1), sendo três do Landsat 5/TM (*Thermatic Mapper*) e uma de 2018 obtida do Landsat 8/OLI (*Operational Land Imager*), todas da órbita 220 e ponto 62. Essas imagens foram obtidas no *United States Geological Survey*, disponível no endereço eletrônico <http://glovis.usgs.gov>. Todas as cenas utilizadas são do segundo semestre de cada ano analisado, pois este é o período com a menor presença de nuvens na região da área de estudo. As cenas selecionadas correspondem às datas de 5/11/1991,

26/08/2006 e 8/10/2010 do Landsat 5 e 28/09/2018 do Landsat 8. As imagens foram obtidas em formato geotiff com projeção UTM e Datum WGS-84.

Com a utilização do *software* ArcGis 10.1® foi possível realizar a composição da cor real com as bandas correspondentes ao azul, vermelho e verde. Com esses dados foi possível classificar o uso e ocupação da terra para as imagens dos anos de 1991, 2006, 2010 e 2018, aplicando-se o método de classificação supervisionada pela máxima verossimilhança, seguido da conversão matricial em vetor e correção de polígonos.

Tabela 1. Características das imagens utilizadas neste estudo

Imagens	Elevação do Sol (°)	Azimute do Sol (°)	Cobertura de Nuvens (%)
05/11/1991	57,22	107,41	Q1-80 / Q2-40 / Q3-80 / Q4-80
26/08/2006	55,61	59,21	Q1-70 / Q2-80 / Q3-70 / Q4-70
08/10/2010	63,21	88,45	Q1-90 / Q2-30 / Q3-80 / Q4-40
28/09/2018	61,28	89,57	Q1-80 / Q2-25 / Q3-75 / Q4-35

Por meio da classificação da cobertura da terra foi possível realizar análises das transformações no espaço urbano. Para esse estudo foram definidas cinco classes: (a) solo exposto, (b) área urbana, (c) vegetação arbórea/arbustiva, (d) vegetação herbácea, e (e) água. O mapeamento dessas classes foi realizado com base na classificação supervisionada usando o método de máxima verossimilhança, que é um dos métodos de classificação mais precisos e que mostra a intensidade das mudanças e diferenças visuais no uso e cobertura do solo (Dadashpoor et al., 2019).

A escolha das melhores bandas foi realizada mediante a melhor composição, ou seja, aquela com o melhor contraste espectral entre as classes de cobertura da terra. Nas imagens Landsat 5/TM, as bandas 3 (vermelho), 2 (verde) e 1 (azul) foram escolhidas para compor a visualização em falsa cor. Na imagem Landsat 8/OLI, as bandas 4 (vermelho), 3 (verde) e 2 (azul) foram selecionadas para compor a melhor visualização de falsa cor.

2.2.3 Comportamento da cobertura vegetal

Para analisar as mudanças no comportamento das propriedades espetrais da cobertura vegetal, em João Pessoa, foram utilizados os índices de vegetação pela diferença normalizada – NDVI (Rouse et al., 1973), e o índice de vegetação ajustado ao solo – SAVI (Huete, 1988). Esses índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal,

como biomassa e a área foliar, vêm sendo aplicados em diversas partes do planeta, como nos estudos de Karnieli et al. (2010), Xu et al. (2012) e Banzhaf et al. (2013).

O NDVI é a razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e dividido pela soma dessas mesmas refletividades. O NDVI é um indicador da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo de 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo de -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas. Nas superfícies, água ou nuvens, esta variação é caracterizada sempre por valores menores do que zero. O NDVI é dado pela equação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (1)$$

sendo NIR a banda no infravermelho próximo e R a banda no Vermelho.

O SAVI tem os mesmos objetivos do NDVI e se diferencia por amenizar os efeitos do solo na resposta espectral da vegetação. Esse índice de vegetação é dado pela equação:

$$\text{SAVI} = \frac{(1+L)(\text{NIR} - \text{R})}{(L + \text{NIR} + \text{R})} \quad (2)$$

no qual L é uma constante e pode apresentar valores de 0 a 1, variando segundo a própria biomassa característica da área analisada. Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010), os valores de L são: 1 (para baixas densidades de vegetação), 0,5 (para médias densidades de vegetação) e 0,25 (para altas densidades de vegetação). Em conformidade com os autores supracitados, em geral, a constante $L = 0,5$ é mais comumente utilizado, pois engloba uma maior variação de condições de vegetação. Assim neste estudo utilizou-se $L = 0,5$.

2.2.4 Análise da dinâmica das mudanças de uso e ocupação da terra

Para avaliar a variação da taxa anual de um tipo de uso do solo no período estudado, foi usado o parâmetro único de mudanças no uso do solo (K) proposto por Xiao et al. (2006), e usado por Wu et al. (2015). O modelo é descrito pela equação abaixo:

$$K = \frac{(U_t - U_{t-1})/U_{t-1}}{N} \quad (3)$$

sendo $U_{a,t}$ e $U_{a,t-1}$ representando as áreas totais da classe de uso da terra ‘a’ em km^2 no momento t (ano atual) e no tempo $t-1$ (ano anterior); N é o número total de anos desde o período ‘ t ’ (ano atual até o momento $t-1$ (ano anterior).

Para a análise da expansão urbana no período estudo foi utilizado o índice de expansão urbana (SI), definido por Tian et al. (2005) como:

$$SI = \frac{(LU_t - (LU_{t-1}))}{LT} \quad (4)$$

no qual SI é o índice de expansão urbana de uma célula do período, LU_t no momento t (ano atual), LU_{t-1} no tempo $t-1$ (ano anterior), e LT é a área total.

O SI é dividido em cinco categorias: quando $SI < 0,001\%$, representa uma área sem alteração (inalterada); quando $0,001\% \leq SI < 0,1\%$, é uma área com baixo desenvolvimento; quando $0,1\% \leq SI < 1\%$, indica uma área com rápido desenvolvimento; quando $1\% \leq SI < 5\%$, é uma área com desenvolvimento mais rápido; quando $SI \geq 5\%$, mostra uma área com desenvolvimento extremo.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Evolução do uso e cobertura do solo

Os resultados da classificação supervisionada das imagens dos anos de 1991, 2006, 2010, e 2018 estão representadas na Figura 3. Os resultados mostram a expansão da mancha urbana no período estudado espacialmente. Os produtos mostram um crescimento e preenchimento da mancha urbana no sentido sul da cidade e alterações na vegetação e solo expostos ao longo dos anos.

Silva et al. (2015) destacam o adensamento na porção nordeste da cidade, onde estão localizados os bairros relativamente novos, como o Bessa, Jardim Oceania e Aeroclube (Figura 2), que são bairros de padrões elevados que sofreram nas duas últimas décadas um processo de verticalização e adensamento, destacando o período entre 1992–1998. Em relação a expansão ao sul, a autora citada destaca a criação de conjuntos habitacionais (Conjunto Gervásio Maia em 2007, incentivos governamentais pelo Programa Minha Casa Minha Vida em 2005 e o surgimento de novos polos educacionais (Faculdade de Medicina Nova Esperança – 2004), como causas a expansão da mancha urbana nesse período para a porção sul da cidade, com a atração para bairros como o Valentina, Bairro de Gramame e Muçumagro (Figura 2).

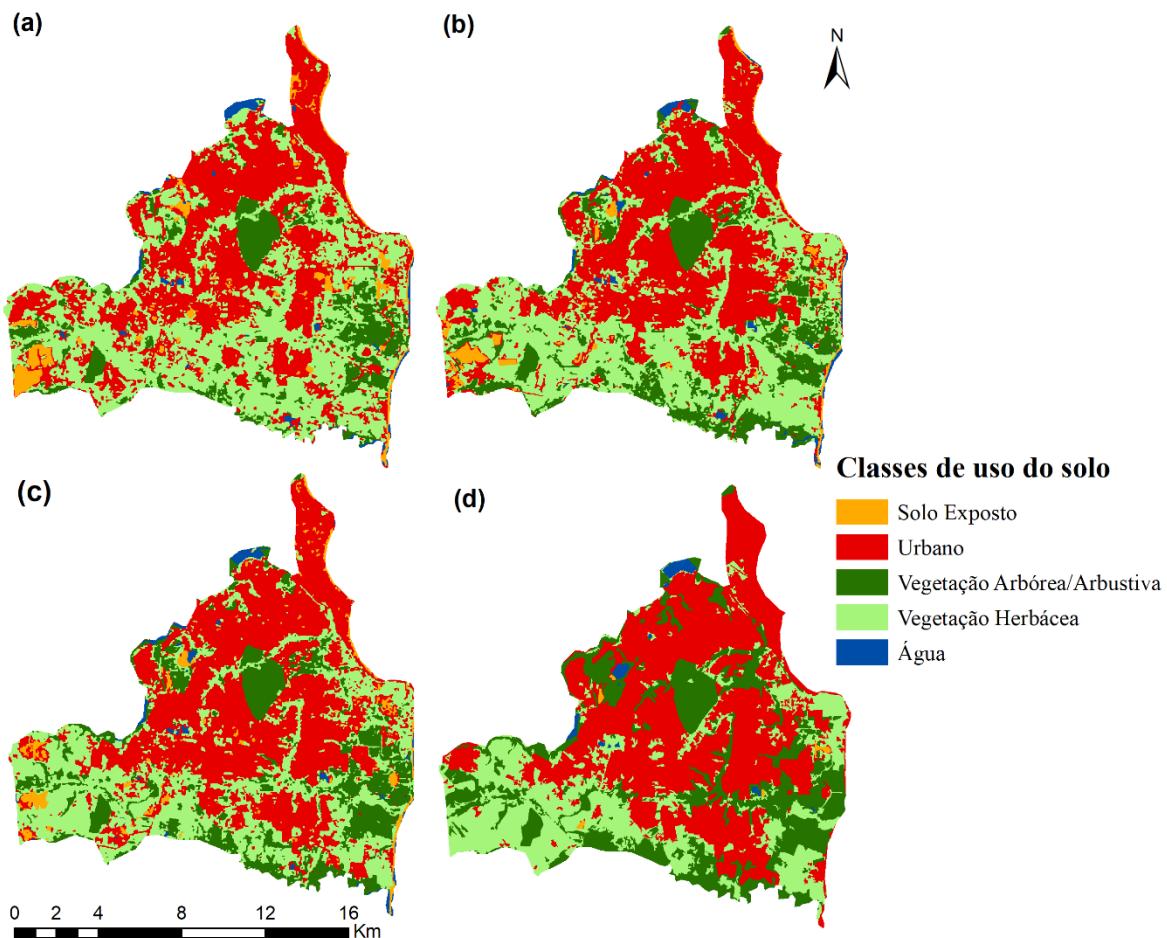


Figura 3. Classificação do uso do solo: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010, e (d) 2018.

Ainda sobre o modo como aconteceu o aumento da área urbana nas últimas décadas, Sobreira et al. (2011) destaca que apesar do considerável aumento populacional que houve após a década de 70, não ocorreu uma considerável expansão da área urbana nesse período,

mas o adensamento dos vazios urbanos. Reflexo do crescimento que se deu de forma espalhada na cidade, que passou para a fase da construção nos vazios urbanos nas últimas décadas, acompanhada com a tendência de verticalização das construções.

A Tabela 2 apresenta os resultados das áreas ocupadas para os anos de 1991, 2006, 2010 e 2018, além de mostrar o percentual de variação para cada classe de uso do solo mapeada. Os resultados obtidos mostram que a classe corpos de água e solo exposto são as classes de menor representatividade para todos os anos estudados. Em contrapartida, as classes vegetação herbácea e o urbano representam as maiores áreas totais. Ao analisar as mudanças para cada intervalo, verifica-se que os maiores ganhos da classe urbana estão no intervalo entre 2006 e 2010, com um aumento de 8,66 km² (4,3%). Entre os fatores de crescimento nesse intervalo, Silva et al. (2015) destacam a abertura de um polo educacional, e o incentivo do governo a novas moradias em terrenos de baixo custo, o que impulsionou a urbanização do sul da cidade nos bairros de Valentina, Gramame e Muçumagro.

Tabela 2. Área e porcentagem das classes e uso do solo para cada anos estudados.

Classes de uso do solo	1991		2006		2010		2018	
	km ²	%						
Urbano	80,5	40,2	83,0	41,4	91,6	45,8	95,6	47,7
Vegetação Herbácea	84,9	42,4	76,2	38,1	64,6	32,2	51,8	25,9
Veg. Arbórea/Arbustiva	24,0	12,0	33,3	16,6	35,1	17,5	50,5	25,2
Solo Exposto	8,2	4,1	5,0	2,5	6,3	3,1	0,5	0,3
Água	2,7	1,3	2,8	1,4	2,7	1,3	1,9	0,9

Na Tabela 3 estão apresentados os valores da variação, em total da área e os valores porcentuais, de cada classe para o intervalo entre 1991 e 2018. Entre as modificações, a classe de vegetação herbácea sofreu uma redução de 33,1 km² (16,5%), maior alteração para período, seguido pela classe de solo exposto com 7,7 km² (3,8%) e por último a classe água com decréscimo de 0,8 km² (0,4%). A área urbana obteve um acréscimo de 15 km² (7,5%) em sua área total, e a classe de vegetação arbórea/arbustiva obteve um aumento de 26,5 km² (13,2%).

Tabela 3. Área e porcentagem das classes e uso do solo para o intervalo 1991-2018

Classes de uso do solo	1991		2018		Variação	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Urbano	80,5	40,2	95,6	47,7	15,1	7,5
Vegetação Herbácea	84,9	42,4	51,8	25,9	-33,1	-16,5
Vegetação Arbórea/Arbustiva	24,0	12,0	50,5	25,2	26,5	13,2
Solo Exposto	8,2	4,1	0,5	0,3	-7,7	-3,8
Água	2,7	1,3	1,9	0,9	-0,8	-0,4

2.3.2 Comportamento da cobertura vegetal

O uso de indicadores que permitem avaliar as mudanças na paisagem são ferramentas importantes para analisar a evolução ambiental de uma área. A aplicação de índices de vegetação, por exemplo, tem grande importância, pois permitem monitorar o grau de alteração na cobertura vegetal em uma escala espaço-temporal de um determinado lugar.

A Figura 4 mostra a distribuição geográfica dos valores de NDVI de todos os anos analisados. Os valores positivos mais próximos de 1 são os valores correspondentes a presença de vegetação, e os valores nulos e negativos são relacionados a presença de água e nuvens, os solos expostos e cobertura urbana são os valores positivos menores. Por meio de é possível verificar que os valores mais altos do NDVI para todos os anos se concentram na porção central onde se situa o Jardim Botânico Benjamim Maranhão, reserva natural preservada dentro do espaço urbano e ao sul da cidade onde há vegetação presente. Os valores mais baixos acompanham a malha urbana e os corpos hídricos dentro do espaço urbano.

Para melhor analisar a distribuição do NDVI nas imagens estudadas foram criados histogramas. Conforme Rodrigues et al. (2013), os histogramas são técnicas estatísticas importantes para a comparação dos índices de vegetação, sendo que quanto maior a distribuição dos níveis digitais, maior o contraste da cena.

Os níveis digitais referentes ao NDVI representados nos histogramas abaixo tiveram uma pequena oscilação e dispersão dos valores. Na classificação dos pixels referente ao NDVI do ano de 1991 (Figura 5a) o valor mínimo foi de -0,27, máximo de 0,69, média de 0,35 e o desvio padrão igual a 0,13. No NDVI do ano de 2006 (Figura 5b) o valor mínimo foi de -0,960, máximo de 0,849, média de 0,44 e o desvio padrão igual a 0,21. Para o ano de 2010 os valores de NDVI (Figura 5c) o valor mínimo foi de -0,39, máximo de 0,78, média

de 0,44 e o desvio padrão igual a 0,37. Em 2018 o NDVI (Figura 5d) possuiu o valor mínimo de -0,74, máximo de 0,94, média de 0,47 e o desvio padrão igual a 0,25.

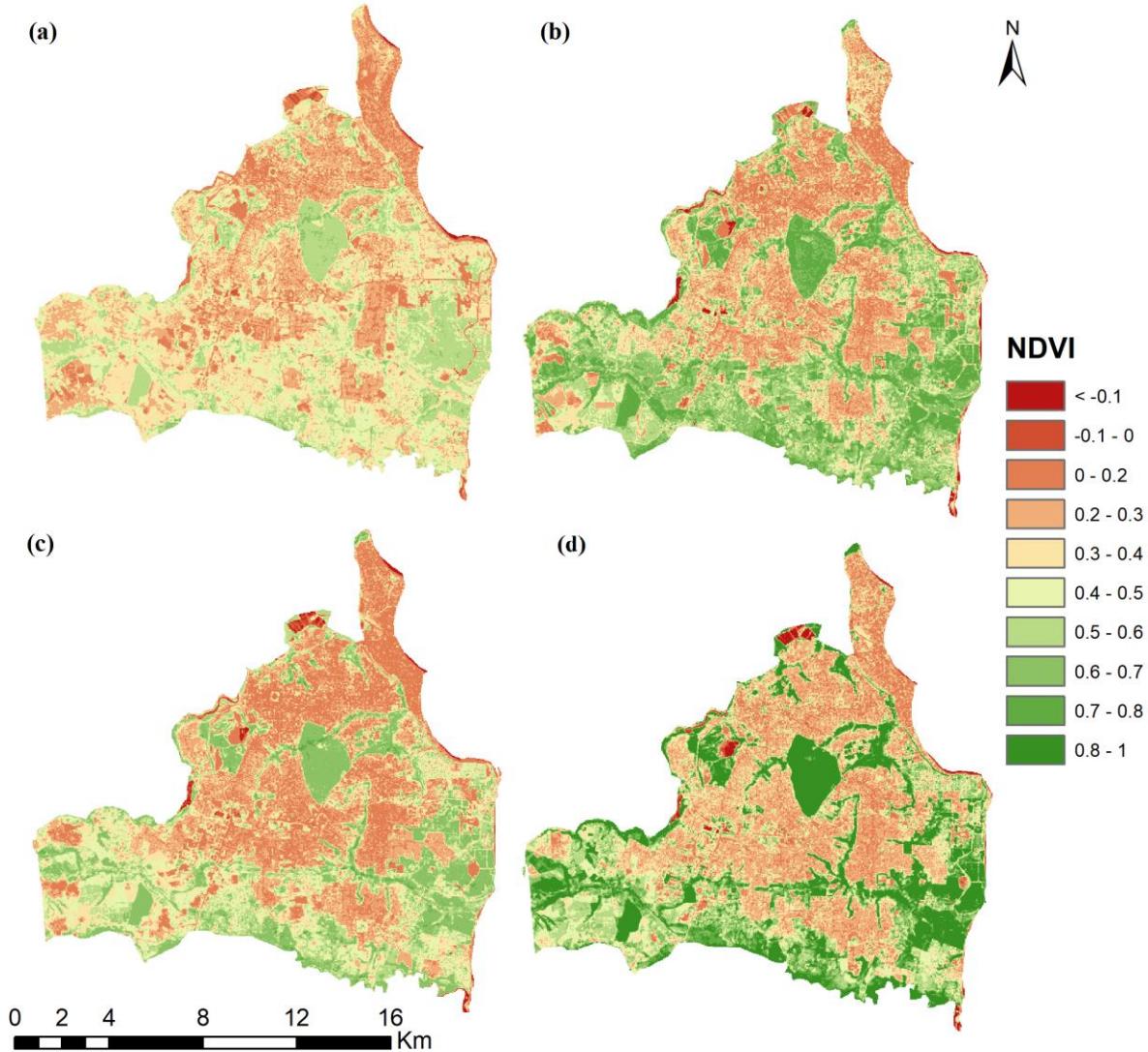


Figura 4. Variação do comportamento do NDVI para João Pessoa para os anos de 1991, 2006, 2010 e 2018.

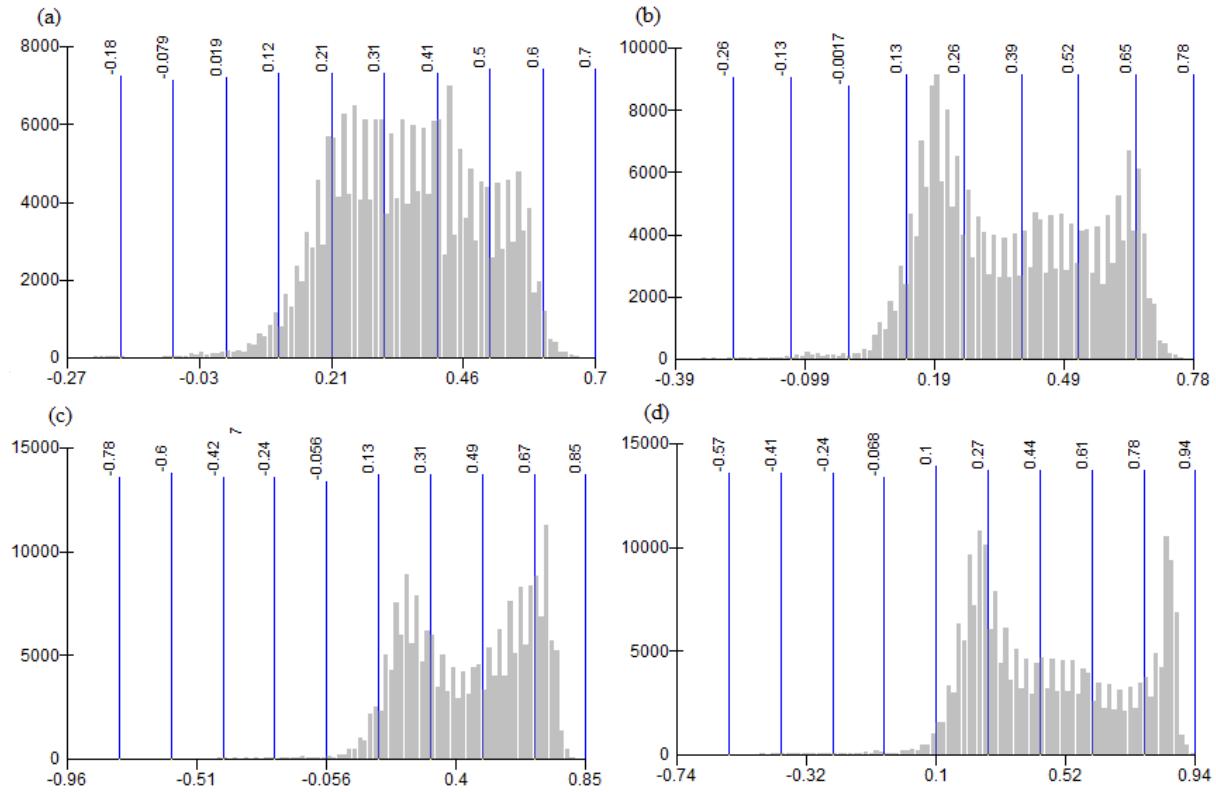


Figura 5. Histograma dos valores de NDVI para os anos de: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010, e (d) 2018.

A Figura 6 mostra a distribuição geográfica dos valores de SAVI para todos os anos analisados. Como esperado, e assim como no NDVI, os maiores valores de SAVI correspondem às áreas de vegetação com maior representação. No que tange os resultados de SAVI para o ano de 1991 (Figura 7a), os valores mínimo e máximo foram de -0,12 e 0,54, respectivamente, com desvio padrão de 0,084. Os valores de SAVI para o ano de 2006 (Figura 7b) apresentaram os seguintes valores: mínimo de -0,24 e o máximo de 0,65, e com menor desvio padrão quando comparado com o ano anterior (0,23).

Segundo Huxman et al. (2004), o desempenho dos valores dos índices de vegetação são importantes indicadores ambientais para o gerenciamento e planejamento ambiental em áreas urbanas. Porém, deve-se ressaltar que os valores dos índices são influenciados pela sazonalidade climática, ou seja, no período chuvoso há uma tendência de possuir altos valores, por maior produtividade vegetal e brotação de folhas neste período. Já períodos secos

e de estiagem, possuem valores menores, por períodos de menor produtividade e senescênciade folhas.

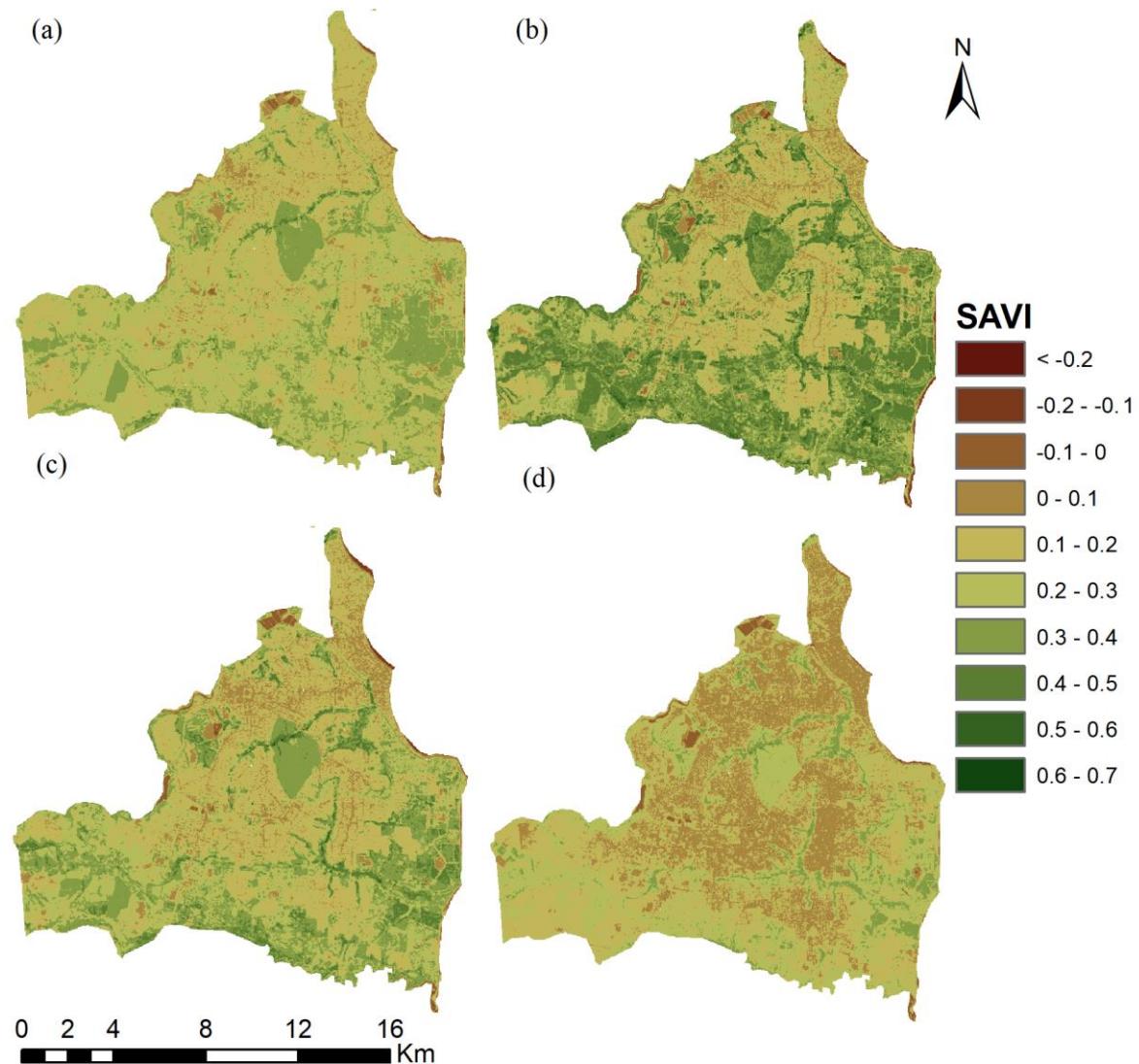


Figura 6.Variação do comportamento do SAVI para João Pessoa para os anos de 1991, 2006, 2010, e 2018.

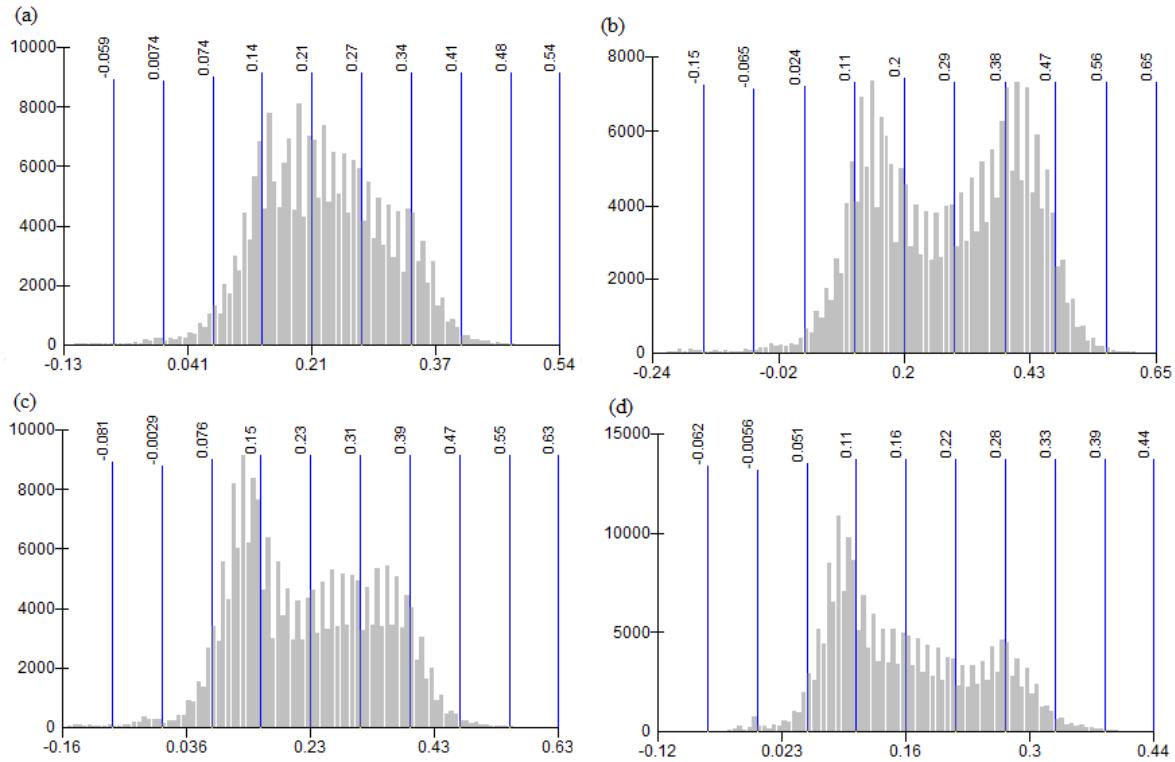


Figura 7.Histograma dos valores de SAVI para os anos de: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010, e (d) 2018.

2.3.3 Análise da taxa de expansão urbana

Para estudar as taxas de variação anual dos tipos de uso do solo, os intervalos no estudo, foram divididos para cada imagem disponível nos períodos 1991 - 2006, 2006 – 2010 e 2010 – 2018. Na Tabela 4 estão dispostos os resultados para cada período do fator K, onde é possível verificar os períodos de perdas e ganhos e as maiores intensidade para cada classe. Para as classes percebe-se as maiores variações para a classe de solo exposto com maior perda no período 2010–2018 (11,42%) e maior perda para o ano de 2006–2010 (6,41 %). A classe urbana em todos os períodos possui uma taxa positiva e com maiores valores no período 2006–2010 (2,61%).

Os resultados dos valores do Índice de Expansão Urbana (SI) para cada intervalo estudado estão dispôs na Figura 8. Para esse estudo, os valores de SI variam para os intervalos estudados em 1,23% (1991–2006), 4,33% (2006–2010) e 1,97% (2010–2018). Para todo o período, a área SI apresenta-se como uma área de desenvolvimento mais rápido

($1\% \geq SI < 5\%$), com uma aceleração no segundo período e uma redução nos últimos estudados. Observa-se que o período entre 2006 e 2010 apresenta o maior crescimento na mancha urbana para o período, alguns fatores apresentados por Silva et al. (2015) foram mencionados anteriormente, como a abertura de universidade, os incentivos governamentais e a disponibilidade de terrenos de baixos custo possibilitaram a ocupação. Já no fim desse período a autora destaca que em 2008 ocorreu a ajuste do plano diretor da cidade em conformidade com o estatuto das cidades buscando a promoção do adensamento da mancha urbana consolidada, desta forma regulando a aumento da mancha urbana.

Tabela 4. Valores da taxa de variação do uso e cobertura do solo (K)

Classes	1991-2006	2006-2010	2010-2018
Urbano	0,20%	2,61%	0,54%
Vegetação Herbácea	-0,68%	-3,82%	-2,47%
Vegetação Arbórea/Arbustiva	2,58%	1,40%	5,48%
Solo Exposto	-2,60%	6,41%	-11,42%
Água	0,43%	-1,42%	-3,76%

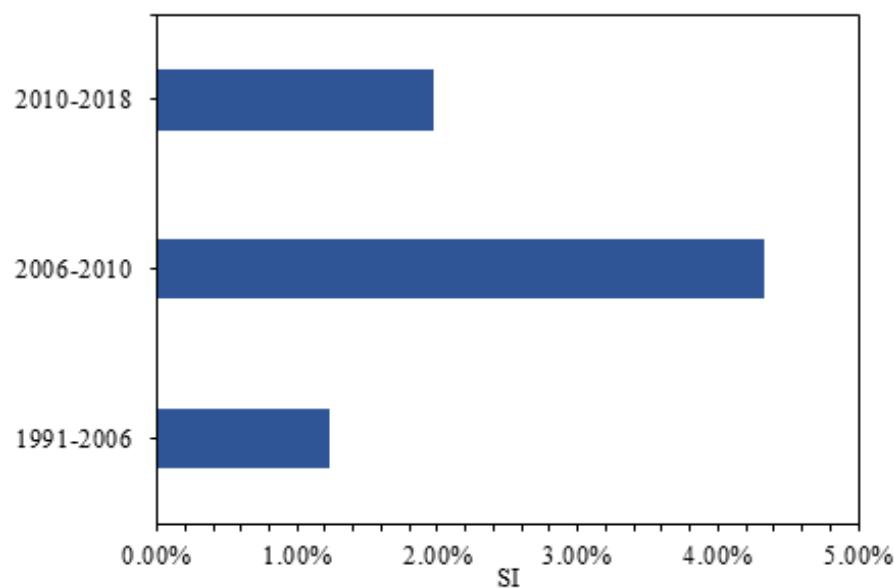


Figura 8. Valores de SI para cada intervalo analisado

2.4 CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou a análise da dinâmica multitemporal das mudanças no uso e cobertura do solo para o período entre 1991 e 2018. Com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento foi possível a realização da classificação do uso e cobertura do solo e a aplicação os índices de vegetação NDVI e SAVI para a área de estudo. Para a análise entre os diferentes períodos ainda foram calculados as diferenças totais e porcentagens de variação, além da aplicação de taxas de variação do uso do solo (k) e o uso do índice de expansão urbana.

Por meio desta análise, é possível verificar que o processo de urbanização para a cidade de João Pessoa impactou a paisagem, no qual o perímetro urbano cresceu para o período, reflexo de variáveis como o crescimento populacional, econômico e os incentivos governamentais. Além das mudanças na classe urbana, obteve-se alterações na vegetação, nos solos exposto e nos corpos hídricos, onde estes apresentaram a menor representatividade nesta área.

Em relação ao emprego dos índices de vegetação, mostram-se eficazes na detecção dos valores representantes para vegetação e para o espaço urbano bem como a presença de corpos hídricos. Ao longo dos anos há uma variação entre os valores máximos e mínimos que podem ser reflexos de variações da sazonal, uma vez que as imagens são dispostas em diferentes meses do ano. Entre os intervalos de maior ganhos se destaca o período entre 2006 e 2010, seguido por 2010 a 2018. O primeiro intervalo se destaca por ser um período onde se beneficiou de incentivos governamentais, como o programa minha casa minha vida, a criação de polos educacional ao sul da cidade e readequação do plano diretor ao Estatuto das Cidades para o adensamento da cidade, o último representando um fator de redução da expansão urbana. Desta forma, o estudo das mudanças no uso e cobertura do solo são importantes para o planejamento integrado, na compreensão dos fatores do crescimento urbano, que integrado com estudos de clima urbano e outros, auxiliam na busca de melhorias para a população.

REFERÊNCIAS

- Banzhaf E, Reyes-Paecke S, Müller A, Kindler A (2013). Do demographic and land-use changes contrast urban and suburban dynamics? A sophisticated reflection on Santiago de Chile. **Habitat International**, 39, 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2012.11.005>
- Dadashpoor H, Azizi P, Moghadasi M (2019). Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. **Science of The Total Environment**, 655, 707-719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.267>
- Deilami K, Kamruzzaman M, Liu Y (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 67, 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009>
- Du P, Li X, Cao W, Luo Y, Zhang H (2010). Monitoring urban land cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information. **Mining Science and Technology (china)**, 20, 922-932. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60308-2](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60308-2)
- Fabiani C, Pisello AL, Bou-Zeid E, Yang J, Cotana F (2019). Adaptive measures for mitigating urban heat islands: The potential of thermochromic materials to control roofing energy balance. **Applied Energy**, 247, 155-170. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.020>
- Gartland LM (2012). **Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas**. Routledge.
- Gunawardena K, Kershaw T, Steemers K (2019). Simulation pathway for estimating heat island influence on urban/suburban building space-conditioning loads and response to facade material changes. **Building and Environment**, 150, 195-205. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.006>
- He X, Wang J, Feng J, Yan Z, Mia S, Zhang Y, Xia J (2020). Observational and modeling study of interactions between urban heat island and heatwave in Beijing. **Journal of Cleaner Production**, 247, 119169. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119169>
- Huxman TE, Smith, MD, Fay PA, Knapp AK, Shaw R, Loik ME, Smith SD, Tissue DT, Zak JC, Weltzin JF, Pockman WT, Sala OE, Haddad BM, Harte J, Koch GW, Schwinning S, Small EE, Williams DG (2004). Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. **Nature**, 429, 651–654. <https://doi.org/10.1038/nature02561>
- Karnieli A, Agam N, Pinker RT, Anderson M, Imhoff ML, Gutman GG, Panov N, Goldberg A (2010). Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations. **Journal Climate**, 23, 618–633. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2900.1>
- Mascaró JL, Yoshinaga M (2005). **Infraestrutura urbana**. Porto Alegre. Editora +4, 2005.

Miranda H, Gomes Júnior E (2017). Urbanização reflexa: a emergência de arranjos urbanos intermediários no Brasil pós-1990. **EURE (Santiago)**, 43(130), 207-234. <https://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612017000300207>

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. 2010. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 128 p.

Rodrigues, T. S., Ribeiro, S. R. A., Vaz, M. S. M. G. Avaliação do desempenho de dois Índices de Vegetação (NDVI e SAVI) por meio de Índice de Qualidade de Imagens. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 18, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais INPE**, 2013. p.4195-4200.

Rousse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, 3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec.A, p. 309-317

Silva MD, Castro AABC, Silva BA, Silveira JAR, Silva GJA (2015) Crescimento da Mancha Urbana na Cidade de João Pessoa, PB. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 22, n. 30, p. 65-8

Sobreira LC, Leder SM, Da Silva FAG, Rosa PRO (2011). Expansão urbana e variações mesoclimáticas em João Pessoa, PB. **Ambiente Construído**, 11(2), 125-138. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212011000200009>

Souza JF, Silva RM, Silva AM (2016). Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa - PB. **Ambiente Construído**, 16(1), 21-37. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100058>

Tian G, Liu J, Xie Y, Yang Z, Zhuang D, Niu Z (2005). Analysis of spatio-temporal dynamic pattern and driving forces of urban land in China in 1990s using TM images and GIS. **Cities**, 22(6), 400-410. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2005.05.009>

Wu Y, Li S, Yu S (2016). Monitoring urban expansion and its effects on land use and land cover changes in Guangzhou city, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, 188, 54. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5069-2>

Xiao JY, Shen YJ, Ge JF, Tateishi R, Tang CY, Liang YQ (2006). Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. **Landscape and Urban Planning**, 75(1-2), 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.12.005>

Xu C, Li Y, Hu J, Yang X, Sheng S, Liu M (2012). Evaluating the difference between the normalized difference vegetation index and net primary productivity as the indicators of vegetation vigor assessment at landscape scale. **Environmental Monitoring and Assessment**, 184, 1275–1286. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2039-1>

3. VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DAS ILHAS DE CALOR URBANAS DE SUPERFÍCIE E CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DE JOÃO PESSOA, BRASIL

Regiane Aparecida de Souza e Silva & Richarde Marques da Silva. Spatiotemporal variations of surface urban heat islands and thermal comfort in the João Pessoa city, Brazil.

Resumo:

O fenômeno das ilhas de calor urbanas de superfície é um desafio para pesquisadores e tomadores de decisão das grandes e médias cidades, pois esse fenômeno diminui o conforto térmico e afeta a qualidade de vida da população. A rápida urbanização na cidade de João Pessoa ocorrida nas últimas décadas trouxe graves problemas ambientais e mudanças no microclima local, provocando a intensificação do fenômeno das ilhas de calor. Neste estudo, a variação espaço-temporal das ilhas de calor foram analisados durante o período de 2011 a 2018 usando dados microclimáticos de temperatura e umidade do ar, e imagens multitemporais de satélite. Neste estudo foram utilizados: (a) imagens dos satélites Landsat 5 dos anos 1991, 2006, 2010 e do Landsat 8 para 2018, (b) dados observados de temperatura do ar na escala horária e umidade do ar coletados em 9 locais da cidade e da estação climatológica em períodos chuvosos e secos para 2011 e 2018, e (c) aplicação Índice de Desconforto de Thom (IDT). Os resultados obtidos mostram que a cidade teve um aumento da temperatura média diária e um aumento do desconforto térmico no período analisado. Os resultados com a correlação com dados de uso do solo permitiram entender a influência da variabilidade espacial e da cobertura vegetal do ambiente urbano nas ilhas de calor. Observou-se que as maiores temperaturas foram encontradas para 2018. A intensidade das ilhas de calor e a distribuição espacial foram maiores e mais dominantes nessas zonas quando comparadas à ilhas de calor em áreas densamente urbanizadas da cidade.

Palavras-chave: urbanização, ilhas de calor, dados de campo, dados de satélites.

Abstract:

The phenomenon of urban surface heat islands is a challenge for researchers and decision makers in large and medium-sized cities, as this phenomenon reduces thermal comfort and affects the quality of life of the population. The fast urbanization in the city of João Pessoa that occurred in the last decades brought serious environmental problems and changes in the local microclimate, causing the intensification of the phenomenon of heat islands. In this study, the spatio-temporal variation of the heat islands was analyzed during the period from 2011 to 2018 using microclimatic data of air temperature and humidity, and multitemporal satellite images. In this study, we used: (a) images from the Landsat 5 satellites from the years 1991, 2006, 2010 and from the Landsat 8 for 2018, (b) observed hourly air temperature data and air humidity collected in 9 city site and weather station locations in rainy and dry periods for 2011 and 2018, and (c) Thom Discomfort Index (IDT) application. The results obtained show that the city had an increase in the average daily temperature and an increase in thermal discomfort in the analyzed period. The results with the correlation with land use data allowed us to understand the influence of spatial variability and vegetation cover of the urban environment on SUHI. It was observed that the highest temperatures were found for

2018. The intensity of SUHI and the spatial distribution were higher and more dominant in these areas when compared to SUHI in densely urbanized areas of the city.

Keywords: urbanization, heat islands, field data, satellite data.

3.1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescente processo de urbanização vêm acontecendo em todas as cidades consideradas médias e grandes em todo o planeta (Zhang, 2016). Atualmente, mais da metade da população mundial vive em cidades e espera-se que ultrapasse 60% até 2030 (Zhou et al., 2011). Aliado a esse fato, o processo de aquecimento atmosférico, em escala regional ou global, é o principal indicador da mudança climática induzida fortemente pelo homem (Zhou e Ren, 2011), e uma das consequências desse problema é o aumento das temperaturas nas zonas urbanas devido a substituição de áreas verdes por superfícies e compostos impermeáveis, que absorvem e retém grande quantidade de energia (calor), fazendo com que ocorra o aumento da temperatura nas grandes áreas urbanas em comparação a áreas naturais da mesma região (Dihkan et al., 2015). Dentre as principais consequências causadas pelas superfícies impermeáveis do ponto de vista da absorção e pouca dissipação de energia é a formação de ilhas de calor de superfícies (SUHI) (Santos et al., 2012).

O tipo de uso e cobertura da terra influencia na temperatura de superfície, e consequentemente na formação das ilhas de calor, ou na presença de ilhas de frescor. As superfícies impermeáveis, como o asfalto e concreto, estão relacionadas linearmente com o a presença de ilhas de calor (Li et al., 2018). De modo oposto, a presença de vegetação e corpos de água propicia o aparecimento das ilhas de frescor, que podem ser encontrados em parques, praças, largos e rios (Xue et al., 2019; Rasul et al., 2015; Peres et al., 2018).

A ocorrência e a intensidade das ilhas de calor variam de acordo com o horário do dia e estação do ano, os períodos diurnos e na estação do verão são os períodos nos quais as diferenças de temperaturas de superfície são mais expressivas, causando maior o desconforto térmico na população em climas de temperados e tropicais, podendo ter diferenças para climas áridos e semiáridos (Rasul et al., 2016). Todavia, a estimativa e análise das SUHI são um dos maiores desafios no campo das ciências que estudam esse fenômeno, devido ao fato da complexidade desse fenômeno e dos gastos com equipamentos e investimentos em

recursos humanos para o monitoramento e análise das SUHI (Guo et al., 2020). Devido a essas dificuldades, imagens térmicas obtidas por satélites vêm sendo cada vez mais aplicadas do que dados de temperatura obtidos em campo por estações meteorológicas em estudos SUHI (Shen et al., 2016; Bechtel et al., 2019), uma vez que imagens orbitais são contínuas no espaço e no tempo, enquanto a distribuição das estações é esparsa o que limita a interpretação espacial dos dados (Voogt e Oke, 2003).

Com a finalidade de estudar as alterações recentes no clima urbano provocadas pelo processo recente de urbanização e os impactos nas ilhas de calor urbanas, este artigo tem como objetivo o estudo na microescala da variação espaço-temporal da temperatura, com usos de dados coletados em pontos na cidade. Com dados coletados em campo será possível a análise da variação ao longo dos anos em João Pessoa, em diferentes estações e durante o dia para vários bairros da cidade das temperaturas do ar e das condições de conforto térmico refletidas por essa variante. Além disso, será analisado a aproximação com dados de satélites com os resultados climáticos para a microescala.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Área de estudo

A área de estudo utilizada para o desenvolvimento da pesquisa foi a cidade de João Pessoa, localizada entre as coordenadas $7^{\circ} 03' 00''$ e $7^{\circ} 15' 00''$ de latitude sul e $34^{\circ} 58' 00''$ e $34^{\circ} 47' 30''$ de longitude oeste. O clima de João Pessoa é quente e úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, e está inserido no bioclima 3dth - Regime mediterrâneo ou nordestino sub-seco, na faixa climática do tipo As' (Tropical chuvoso – classe A). Algumas das características desse clima são a alta umidade, em torno de 80%, com uma temperatura média de 25°C . Quando ao regime de chuvas, entre os meses de maio a julho ocorre os maiores valores de precipitação, e os valores anuais variam entre 1500 a 1700 mm/ano (Duarte, 2010).

No histograma apresentado na Figura 9 é possível observar a distribuição mensal da precipitação, assim como a variação mensal dos valores de temperatura. Esses valores foram obtidos de uma série histórica entre 1991 e 2018 com dados disponíveis no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), onde entre os meses entre setembro e março apresenta os meses mais secos e mais quentes.

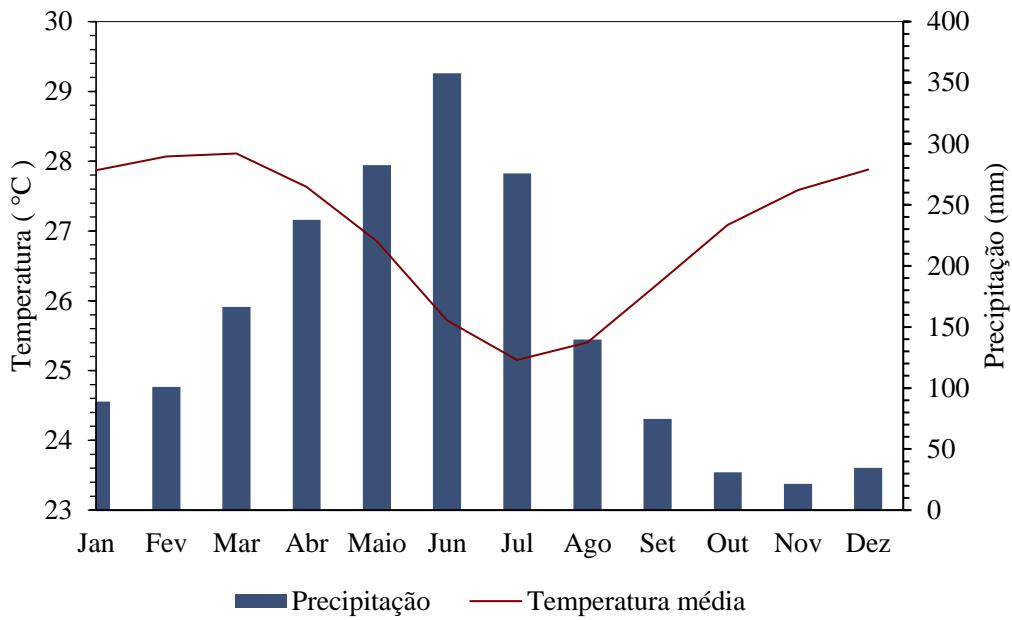


Figura 9. Variação mensal da temperatura média e precipitação para a cidade de João Pessoa com dados de 1991–2018.

3.2.2 Procedimentos metodológicos e dados utilizados

A metodologia usada para a modelagem do efeito das ilhas de calor na cidade de João Pessoa foi resumida em um fluxograma, mostrado na Figura 10. A primeira parte da metodologia envolve etapas de pré-processamento de imagens, com o intuito de preparar os dados de entrada necessários para a segunda etapa, que inclui o mapeamento da temperatura e os demais estágios de processamento das imagens. Após o processamento e mapeamento dos dados, foram analisados na escala espaço-temporal, verificando os avanços e alterações no processo de formação de ilhas de calor e seus impactos na qualidade de vida com o IDT. Por fim, as diferentes fontes de dados foram estatisticamente analisadas na microescala.

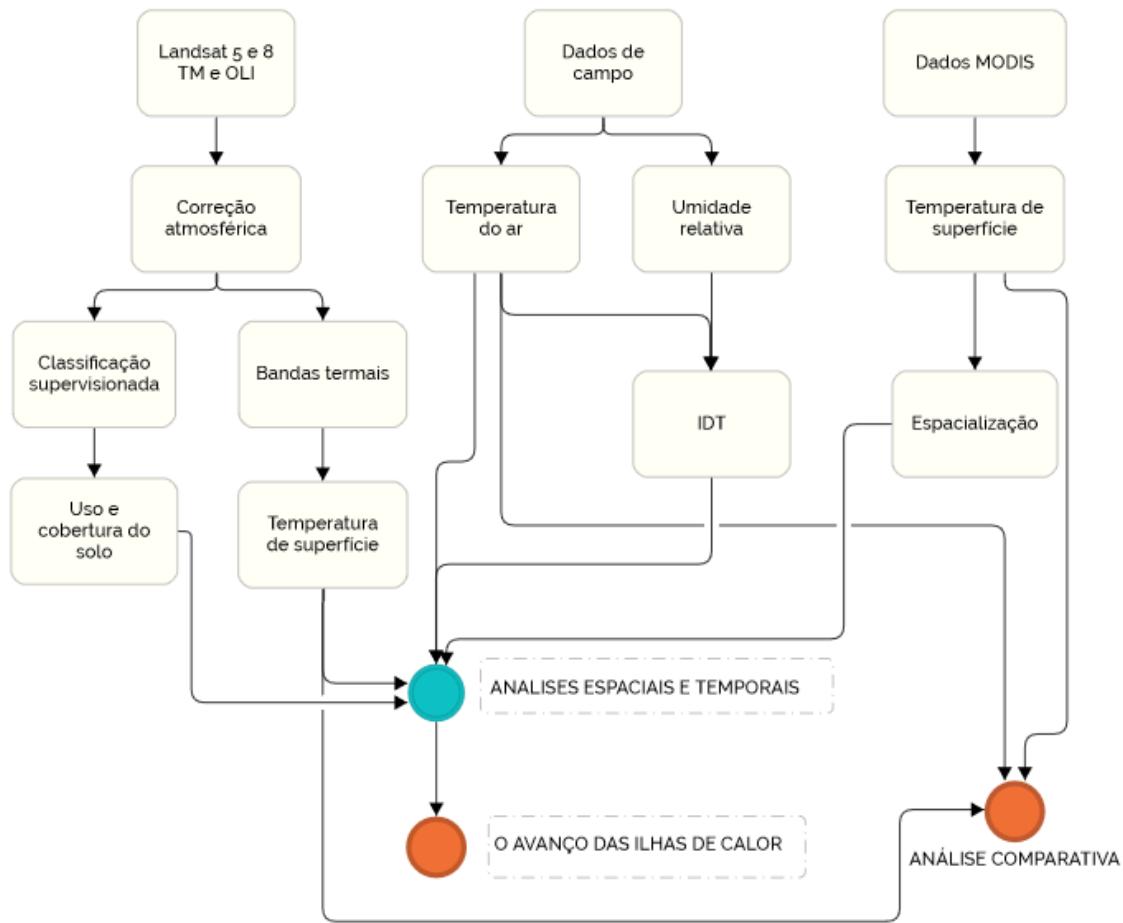


Figura 10. Fluxograma da metodologia usada

Para a análise microclimática e validação dos dados obtidos do processamento das imagens foram utilizados dados obtidos em campo na área de estudo entre os anos de 2011 e 2018, que foram coletados em 9 pontos e dados da estação meteorológica do INMET para a cidade. Nesses pontos foram obtidas medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar, realizada durante intervalos horários (1 hora) e ininterruptos nesses dois períodos por meio de equipamentos tipo termo-higrômetro. Os locais selecionados foram a mata do buraquinho (P01) e os bairros: Expedicionários (P02), Manaíra (P03), Cabo Branco (P04), Alto do Mateus (P05), Cruz das Armas (P06), Mangabeira (P07), Centro (P08), Bancários (P09) e estação do INMET (P10) (Figura 11). Os dados foram coletados para dois períodos distintos: (a) 2011: de janeiro a março de 2011 (período de estiagem) e de junho a agosto de (período chuvoso), e (b) 2018: de janeiro a março de 2011 (período de estiagem) e de abril a setembro (período chuvoso).



Figura 11. Localização geográfica dos pontos de coleta de dados em campo

3.2.2.2 Dados de satélites

Neste estudo foram utilizados dados dos satélites Landsat e do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) para determinar ilhas de calor urbanas. Quatro imagens dos satélites Landsat distribuídas em um intervalo de 27 anos foram utilizadas, sendo três do Landsat 5/TM (*Thermatic Mapper*) e uma do Landsat 8/ TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) para o ano de 2018, todas da órbita 220 e ponto 62. Essas imagens foram obtidas no *United States Geological Survey*, disponível no endereço eletrônico

<http://glovis.usgs.gov>. Todas as cenas utilizadas são do segundo semestre de cada ano analisado 1991, 2006, 2010 e 2018, pois este é o período com a menor presença de nuvens na região da área de estudo. As cenas selecionadas correspondem às datas de 5/11/1991, 26/08/2006, 8/10/2010 do Landsat 5 e 28/09/2018 do Landsat 8 (Tabela 5). As imagens foram obtidas em formato geotiff com projeção UTM e Datum WGS-84. Os dados de temperatura da superfície obtidas pelas imagens MODIS, com resolução de 1 km foram obtidos usando a ferramenta *Google Earth Engine* (GEE) a partir de um script (Figura 12), os dados são para os mesmos meses que estão disponíveis dados de campo, são dados de media diárias com intervalos de 8 dias. Neste estudo, uma interface de processamento de aplicativo JavaScript (API) no ambiente GEE foi desenvolvida para avaliar ilhas de calor em João Pessoa.

Tabela 5. Características das imagens do TM/Landsat 5 e OLI/Landsat 8

Imagens	Elevação do Sol (º)	Azimute do Sol (º)	Cobertura de Nuvens (%)
05/11/1991	57,2287	107,413	Q1-80 / Q2-40 / Q3-80 / Q4-80
26/08/2006	55,6194	59,2117	Q1-70 / Q2-80 / Q3-70 / Q4-70
08/10/2010	63,2127	88,4564	Q1-90 / Q2-30 / Q3-80 / Q4-40
28/09/2018	61,2875	89,5781	Q1-80 / Q2-25 / Q3-75 / Q4-35

```
var jp = ee.FeatureCollection("users/LST/JP");

var dataset = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A2')
    .filter(ee.Filter.date('2018-01-01', '2018-05-05'));
var landSurfaceTemperature = dataset.select('LST_Day_1km');
var landSurfaceTemperatureVis = {
  min: 14000.0,
  max: 16000.0,
  palette: [
    '040274', '040281', '0502a3', '0502b8', '0502ce', '0502e6',
    '0602ff', '235cb1', '307ef3', '269db1', '30c8e2', '32d3ef',
    '3be285', '3ff38f', '86e26f', '3ae237', 'b5e22e', 'd6e21f',
    'fff705', 'ffd611', 'ffb613', 'ff8b13', 'ff6e08', 'ff500d',
    'ff0000', 'de0101', 'c21301', 'a71001', '911003'
  ],
};

Map.setCenter(6.746, 46.529, 2);
Map.addLayer(
  landSurfaceTemperature, landSurfaceTemperatureVis,
  'Land Surface Temperature');

var exportParams = {scale: 10000, region: jp, crs: 'EPSG:4326'};
Export.image(landSurfaceTemperature, "Land Surface Temperature", exportParams);
```

Figura 12. Script utilizado para baixar as imagens do MODIS.

O GEE envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma GEE, que podem ser usados para gerar uma série histórica de mapas de temperatura de superfície. Com esta ferramenta foi possível a obtenção da série histórica para o mesmo período em que foram coletados os dados de temperatura de superfícies medias do sensor MODIS, nos anos de 2011 e 2018 para os meses em que há dados de campo.

3.2.3 Condições de conforto térmico

Para determinar as condições de conforto térmico do ambiente, foi utilizado o Índice de Desconforto de Thom (IDT), conforme proposto por Thom (1959). Esse índice foi escolhido porque se assemelha ao conceito de temperatura efetiva com base na sensibilidade individual e leva em consideração a tanto a temperatura quanto a umidade do ar, e tem como objetivo estimar o grau de desconforto térmico experimentado em um ambiente. Assim, esse teste foi escolhido por representar as condições microclimáticas que afetam as condições térmicas da cidade. O IDT oferece uma medida razoável do grau de desconforto para várias combinações de temperatura e umidade relativa do ar, expresso em graus Celsius, e pode ser obtido pela seguinte equação:

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 \times UR) \times (T - 14,5) \quad (5)$$

onde T é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e UR é a umidade relativa do ar (%).

Para a caracterização do grau de desconforto utilizado neste trabalho será usado a adaptação do IDT realizada por Santos (2012) para a cidade de João Pessoa, onde as faixas de classificação foram ajustadas para as condições locais (Tabela 6). A escolha da adaptação foi realizada com o intuito de avaliar as condições locais com um indicador que considera foi ajustado as condições locais. Para o estudo foi realizado a aplicação do índice para dois anos distintos, 2011 e 2018, de forma a ver as alterações nos níveis sentidos de acordo com as mudanças de temperaturas que ocorreram na cidade para diferentes locais.

Tabela 6. Faixa de classificação do índice de desconforto de Thom (IDT) ajustado às condições climáticas da cidade de João Pessoa

Faixas	IDT (° C)	Nível de desconforto térmico
1	IDT < 24,0	Confortável
2	24 ≤ IDT ≤ 26,0	Parcialmente confortável
3	26 < IDT < 28,0	Desconfortável
4	IDT ≥ 28,0	Muito desconfortável

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2012).

3.2.4 Análises estatísticas de desempenho

O uso de índices estatísticos é comum para análises de desempenhos de valores estimados e valores de campo, a natureza dos dados de temperatura de superfícies e dados de temperatura do ar são distintos, uma vez que a dados de satélites tem como fonte a refletância dos materiais de cobertura do solo, já o de ar são reflexo das condições atmosférica locais. No entanto o uso de dados de temperaturas de superfície são amplamente difundidos e conseguem refletir as condições locais, com a finalidade de analisar o quanto os dados de satélites se aproximam de dados de temperatura do ar será usado indicadores estatísticos.

Desde forma neste estudo foram usados indicadores para investigar o quanto os dados de temperaturas são precisos para o comportamento de dados de temperatura de superfície em relação a temperatura do ar. Neste estudo foram utilizados: o Coeficiente de Correlação de Pearson (R), o Viés Relativo (BIAS) e o Coeficiente de Eficiência (COE). Na Tabela 7 estão dispostas as faixas de valores dos índices, com as suas respectivas equações.

O Coeficiente de Correlação de Pearson é uma medida da correlação linear entre duas variáveis aleatórias e tem uma avaliação entre +1 e -1, onde 1 representa uma correlação total positiva, 0 não é correlação e -1 é uma correlação total negativa, utilizado para dados de temperatura de superfície e do ar por Sheng et al. (2017). O BIAS mede a tendência média dos dados simulados de ser maior ou menor do que os correspondentes observados, o valor ideal é 0,0, com valores de baixa magnitude indicando simulação precisa do modelo. Valores positivos indicam o viés de subestimação do modelo e valores negativos indicam o viés de superestimação do modelo. O coeficiente de eficiência (COE) de Nash e Sutcliffe (1970) é uma estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variação residual em comparação com a variação dos dados medidos. O COE indica quanto bem o gráfico dos dados observados versus os dados simulados se encaixa na linha 1:1. O COE varia entre $-\infty$ e 1,0, sendo 1 o valor ideal. Valores entre 0,0 e 1,0 geralmente são vistos como níveis aceitáveis de

desempenho, enquanto valores $< 0,0$ indicam que o valor médio observado é melhor que o valor estimado, o que indica desempenho inaceitável.

Tabela 7. Lista das métricas estatísticas que serão aplicadas neste estudo.

Índice estatístico	Fórmula	Faixa de valor	Valor ótimo
R	$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}) - (G_i - \bar{G})}{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}) + (G_i - \bar{G})} \right)^2$	0 a 1	1
BIAS	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - G_i)}{\sum_{i=1}^N G_i}$	0 a ∞	0
COE	$COE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (G_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2} \right)$	$-\infty$ a 1	1

sendo, G_i os valores de campo; S_i as estimativas por satélite; e n o número de amostras.

3.2.5 Determinação da temperatura de superfície

Cada pixel das imagens de satélite é composto por números digitais em tons de cinza, e esses números digitais podem ser convertidos em valores de temperatura. As temperaturas de superfície terrestre da área de estudo foram obtidas da banda termal do Landsat 5 (Banda 6) e Landsat 8 (Banda 10). A primeira etapa o cálculo da radiância espectral para cada banda (L_λ). Nessa etapa ocorre a conversão do número digital (Q_{cal}) da imagem para valores de radiância espectral. Para o Landsat 5, pela equação:

$$L_\lambda = \left(\frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) * (Q_{cal} - Q_{calmin}) + L_{min\lambda} \quad (6)$$

onde: L_λ = radiância espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$), Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN), Q_{calmin} = valor mínimo do pixel em níveis de cinza (DN=1), Q_{calmax} = Valor mínimo do pixel em níveis de cinza (DN = 255), $L_{min\lambda}$ = radiância espectral mínima (3.2 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$), e $L_{max\lambda}$ = radiância espectral máxima (12.65 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$). Para o Landsat 8 é utilizada a equação:

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (7)$$

onde: L_λ = radiância espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$), M_L = fator multiplicativo de redimensionamento da banda (3.3420E-04), Q_{cal} = valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN), e A_L = fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000).

Depois de todas as etapas anteriores, finalmente é possível obter, em graus Kelvin (K), a temperatura de superfície por meio da equação de Planck invertida:

$$T = k_2 / [\ln (E_{NB} K_1 / L_\lambda)] \quad (8)$$

onde: T = Temperatura sem correção atmosférica (Kelvin), K_1 = Constante de calibração 1, K_2 = Constante de calibração 2, e L_λ = radiância espectral banda 6 ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m}$).

As temperaturas resultantes foram convertidas para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) pela Eq. 9.

$$T_{^{\circ}\text{C}} = T - 273,15 \quad (9)$$

3.2.6 Correlação espacial da temperatura de superfície

Com a finalidade de entender como os dados de satélites se comportam espacialmente e sua representatividade, será usado uma ferramenta de geoprocessamento que avalia a concentração de dados espacialmente e sua significância estatística. Os dados de satélites usados para esse trabalho foram dados de temperatura de superfícies, o qual tem seu comportamento podem variar de acordo com o tipo de cobertura do solo. Para entender essa influência essa ferramenta permite encontrar e onde há concentração das maiores e menores temperaturas com os dados de satélites e se essas informações tem alta ou baixa significância estatísticas.

Para a realização dessa etapa de trabalho foi utilizada o Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*), usado por Tran (2017) e Govind e Ramesh (2019). É uma ferramenta do *software* ArcGIS, desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Essa ferramenta permite explorar os arranjos espaciais da temperatura de superfície. Esta técnica caracteriza a presença de *hot spots* (altos valores agrupados) e *cold spots* (baixos valores agrupados) em uma área inteira. As estatísticas Getis-Ord Gi* são calculadas usando a Eq. 6:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - X \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{s \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (10)$$

onde x_j é o valor do atributo para o recurso j , W_{ij} é o peso espacial entre o recurso i e j , n é igual ao número total de recursos e:

$$X = \sum_{j=1}^n x_j \quad (11)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n X^2 j}{n} - X^2} \quad (12)$$

A saída da estatística G_i retornada para cada recurso no conjunto de dados é um *z-score*. Maior pontuação z positiva mostra mais intenso agrupamento de valores altos (*hot spot*) e um *z-score* negativo menor representa aglomerados mais intensos de valores baixos (*cold spot*). O *score z* representa a significância estatística do agrupamento para uma distância especificada (90% significativa: $> 1,65$ ou $< -1,65$; 95% significante: $> 1,96$ ou $< -1,96$; 99% significativo: $> 2,58$ ou $< -2,58$; 99,9% significativo: $> 3,29$ ou $< -3,29$). Em um nível de significância de 0,05 (95%), um escore z teria que ser menor que 1,96 ou maior que -1,96 para ser estatisticamente significativo.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Variação espaço-temporal da temperatura do ar

Neste estudo, a ocorrência de mapeamentos multitemporais de temperatura da superfície, bem como a identificação e análise de SUHI foram investigadas quantitativamente na cidade de João Pessoa. A Figura 13 apresenta os resultados do mapeamento da temperatura de superfície obtidas das bandas termais dos satélites Landsat 5 e 8, para os anos de 1991, 2006, 2010 e 2018. Os resultados espaço-temporal de temperatura da superfície mostram que os anos em ordem crescente que apresentam os maiores valores de máxima de temperatura de superfície são 2010, 2006, 1991 e 2018. Deve-se destacar que para cada ano foram usadas imagens únicas retiradas em diferentes meses do ano, todas imagens são do segundo semestre do ano, como representado na Figura 9 a temperatura média nesses meses tem uma tendência

de crescimento ao longo do ano. As imagens foram obtidas nos meses: novembro de 1991, agosto de 2006, outubro de 2010 e setembro de 2018.

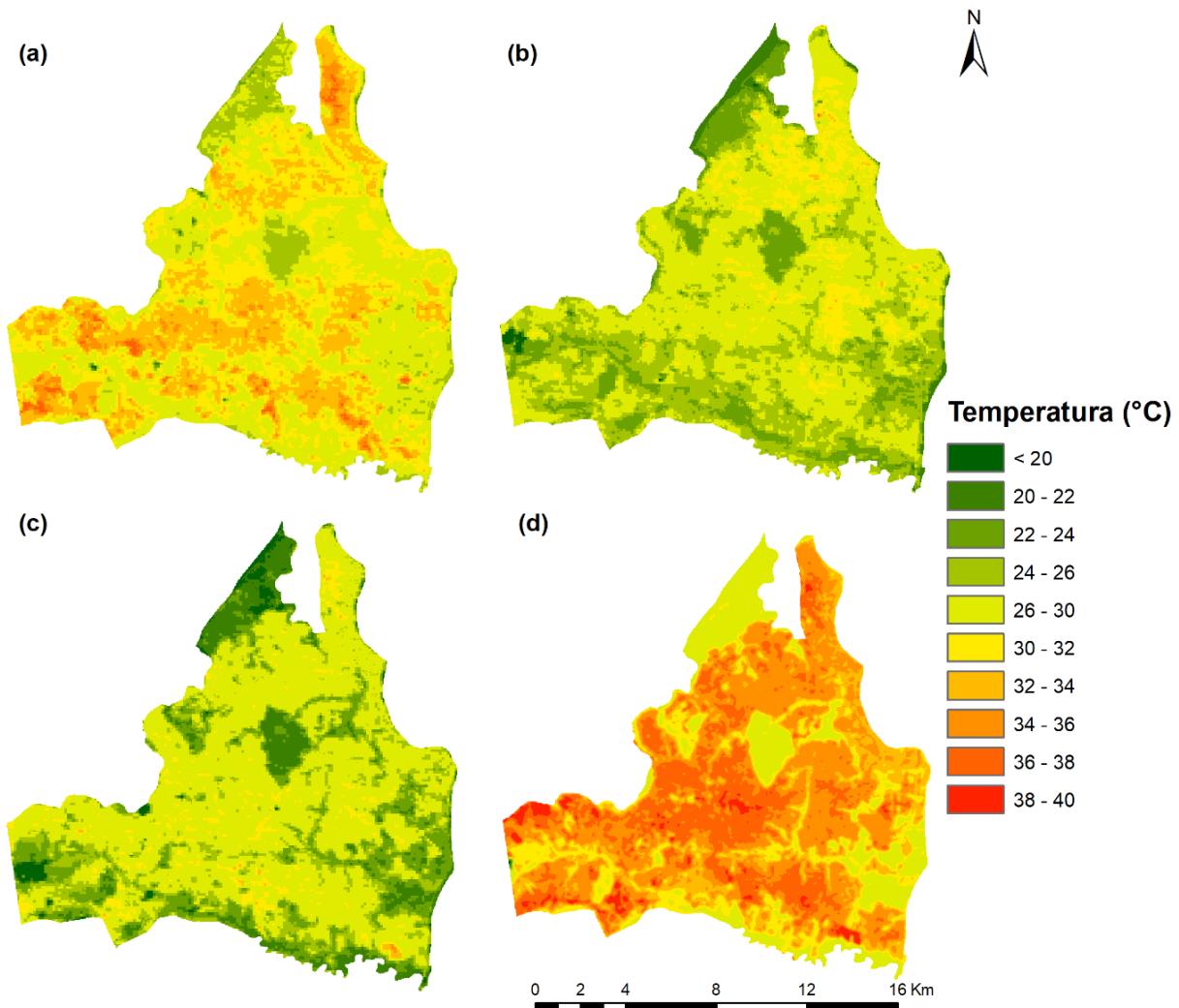


Figura 13. Mapas de temperatura de superfície: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (d) 2018.

Os resultados mostram que o ano de 2010 é o ano que apresenta os menores valores de temperatura superficial. Como mencionado acima as imagens estão dispostas em períodos diferentes do ano, o que pode ter levado a uma influência sazonal nos resultados. Na Tabela 8 estão as temperaturas média diárias para as os dias de coleta e anteriores a data das imagens obtidas do INMET. Observa-se que o ano de 2006, que foi obtida em agosto apresenta as menores temperaturas médias, seguidas por 1991(novembro), 2010(outubro) e por último 2018(setembro). Em relação à observação diária, o ano de 2018 apresentou uma diferença, de mais de 0,8 °C, entre o dia de coleta da imagem e os dias próximos. Apesar desses

diferentes fatores, o ano de 2018 apresenta as maiores temperaturas, demonstrando um aumento ao longo dos últimos anos na temperatura de superfície deste centro urbano.

Tabela 8. Temperaturas do ar medias diárias no dia de coleta das imagens e nos dias anterior e posterior

Temperatura média diária				
	1991	2006	2010	2018
Dia anterior à imagem	26	25.48	27.46	27.58
No dia da imagem	26.28	25.7	27.86	28.38

A temperatura tem variações ao longo dos anos, nas imagens é possível ver seu comportamento espacial e sua variação de intensidade ao longo dos anos. Na Figura 14 está apresentado a serie históricas das medias anuais de temperaturas obtidas por meio de dados do INMET, por meio desta é possível verificar a variação ao longo dos anos estudados. Há uma oscilação entre os anos mais quentes e mais frios ao longo do período, no entanto, ao traçar a linha de tendência para os dados é possível visualizar que a temperatura tende a crescer ao longo dos anos para a cidade de João Pessoa.

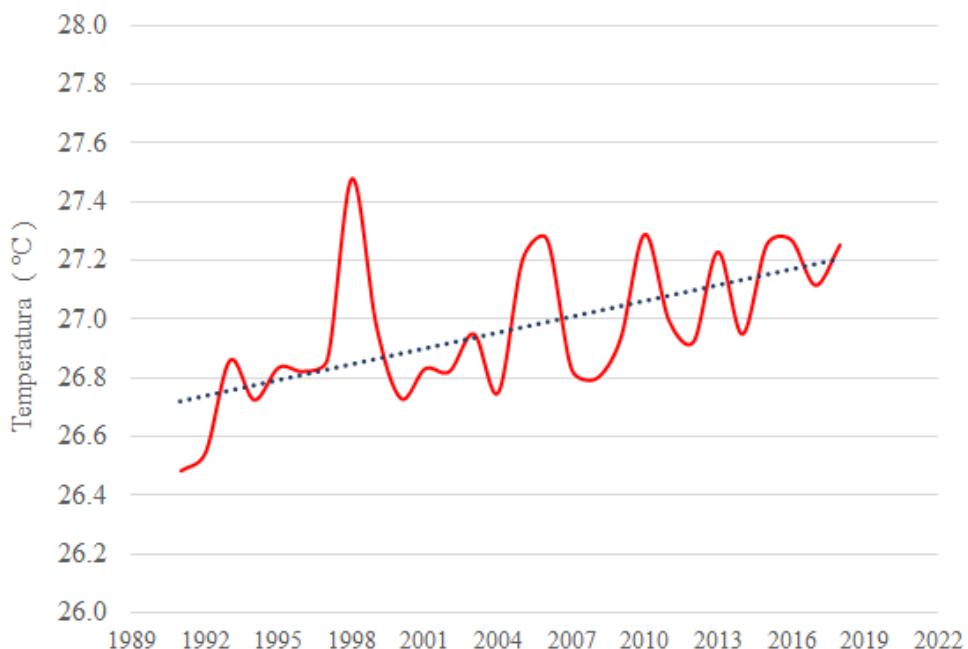


Figura 14. Série histórica de temperaturas medias

Os resultados da Figura 15 mostram os valores médios de temperatura das quatro imagens para João Pessoa, o qual variaram entre 22,24°C a 34,64°C, encontrando uma diferença de mais de 10°C entre as áreas com menor e maiores temperaturas superficiais. As porções nordeste e sudoeste são aquelas que apresentaram as maiores temperaturas, em função da presença de uma maior densidade urbana aliada a presença de edificações e compostos que tendem a aumentar o acúmulo de calor. As menores temperaturas de superfícies medias estão concentradas na parte da mata do buraquinho e áreas periféricas que ainda não foram urbanizadas.

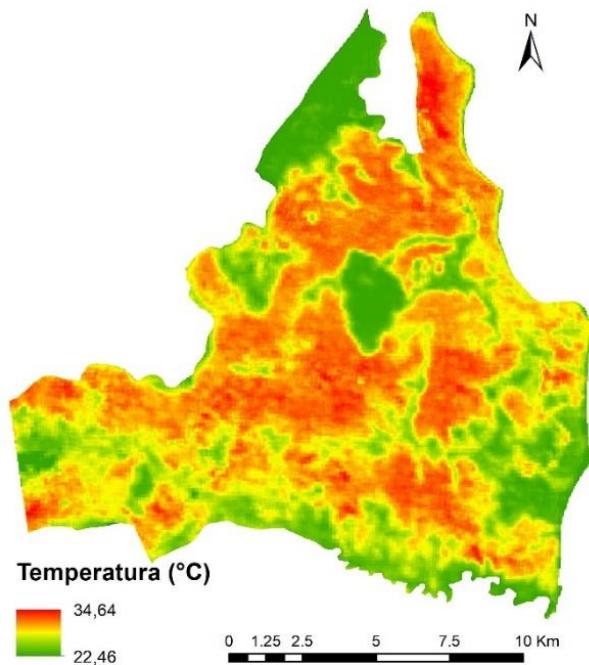


Figura 15. Média da temperatura de superfície para as imagens obtidas de 1991, 2006, 2010 e 2018.

As Figuras 16 e 17 mostram os resultados da comparação dos dados de temperatura média mensal da superfície usando do MODIS e os dados observados para os anos de 2011 e 2018, respectivamente. O sensor MODIS apresenta uma resolução espacial para a banda termal de 1000 metros, fator que influencia na precisão destes dados quando comparados a uma micro escala, como os valores encontrados pontualmente para temperatura do ar. Entretanto, o uso de dados do sensor MODIS é realizado para diversos estudos de mapeamento de temperatura superficial e ilhas de calor mostrando resultados satisfatórios, como no estudo apresentado por Li et al. (2018), que utilizou dados do MODIS para estimar a temperatura da superfície em Berlim. Nesse estudo os autores realizaram a análise entre a

temperatura de superfície e sua relação com as áreas impermeáveis utilizando a funções de regressão lineares, mostrando relação positivas, principalmente para o verão, também foram analisadas as diferenças diurna e noturna mostrando melhores relação para o período diurno. Os dados MODIS apresentam uma resolução de 1000 m, para o estudo os dados de impermeabilização que possuíam 100m passaram por um processo de reamostragem para se adequarem aos produtos MODIS, obtendo resultados satisfatório para o estudo.

Em outro estudo realizado por Gaur et al. (2018), os dados MODIS foram usados para pesquisar a evolução das SUHI em 20 cidades do Canadá, e também foram feitas projeções para o futuro da SUHI em cada cidade. Entre os resultados foram encontrados que 80% das cidades analisadas apresentaram SUHI positivos, já as demais apresentam uns resultados negativos. Entre as propriedades que marcaram a projeção de aumento das SUHI estão a tamanho, altitude e cobertura da terra circundante. Os dados MODIS apresentam uma resolução menos precisa quanto comparadas ao Landsat, no entanto há uma maior disponibilidade de dados e a possibilidade de análises de variação diurna e noturna é amplamente usando para estudos sobre SUHI (Rasul et al, 2016; Shen et al., 2016; Duncan, 2019).

Ao analisar os resultados, constata-se que os valores de temperaturas máximo e mínimo oriundos dos MODIS superestimam os valores obtidos em campo, uma vez que os dados de campo são dados de temperaturas do ar e os dados de satélites são dados de temperatura de superfícies. Os resultados encontrados apresentam uma diferença grande na porção sul da cidade onde nos dados MODIS apresentam temperaturas mais elevadas de elevadas de temperatura do que nos dados observados. Vale ressaltar que os dados observados foram interpolados e a falta de pontos para essa porção da cidade reduz a precisão desta interpolação. Os mapas seguem as mesma tendência de crescimento ou decrescimento da temperatura para os meses mais quentes e mais frios para as duas fontes de dados, vale ressaltar que na microescala há divergências em alguns pontos, além da parte sul da cidade, alguns pontos como a mata do buraquinho, que é a parte mais fria da cidade, não apresenta esse resultado para os dados MODIS em todos os mapas, a resolução espacial pode interferir na precisão na microescala.

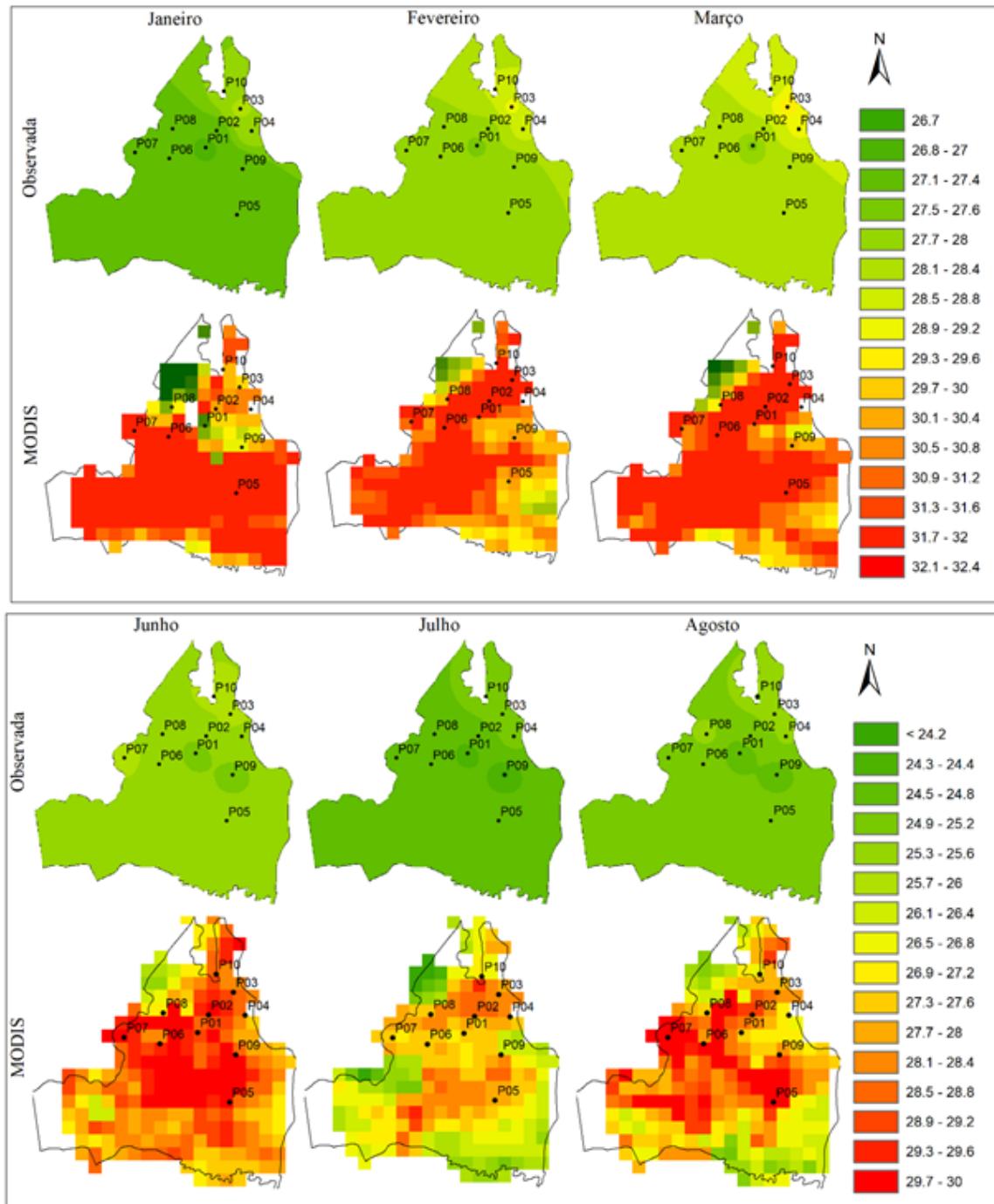
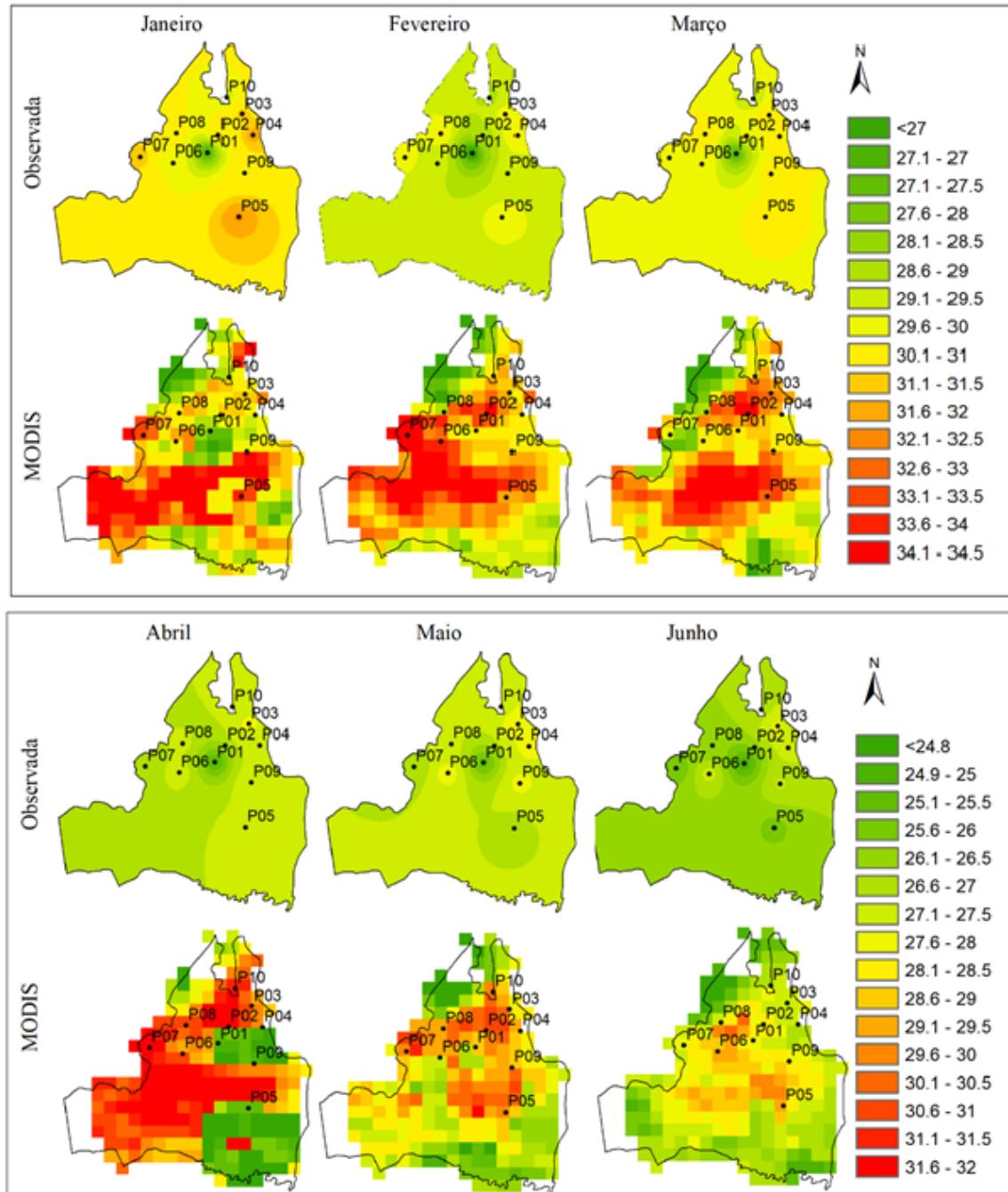


Figura 16. Temperatura média mensal para dados observados e MODIS para o ano de 2011.



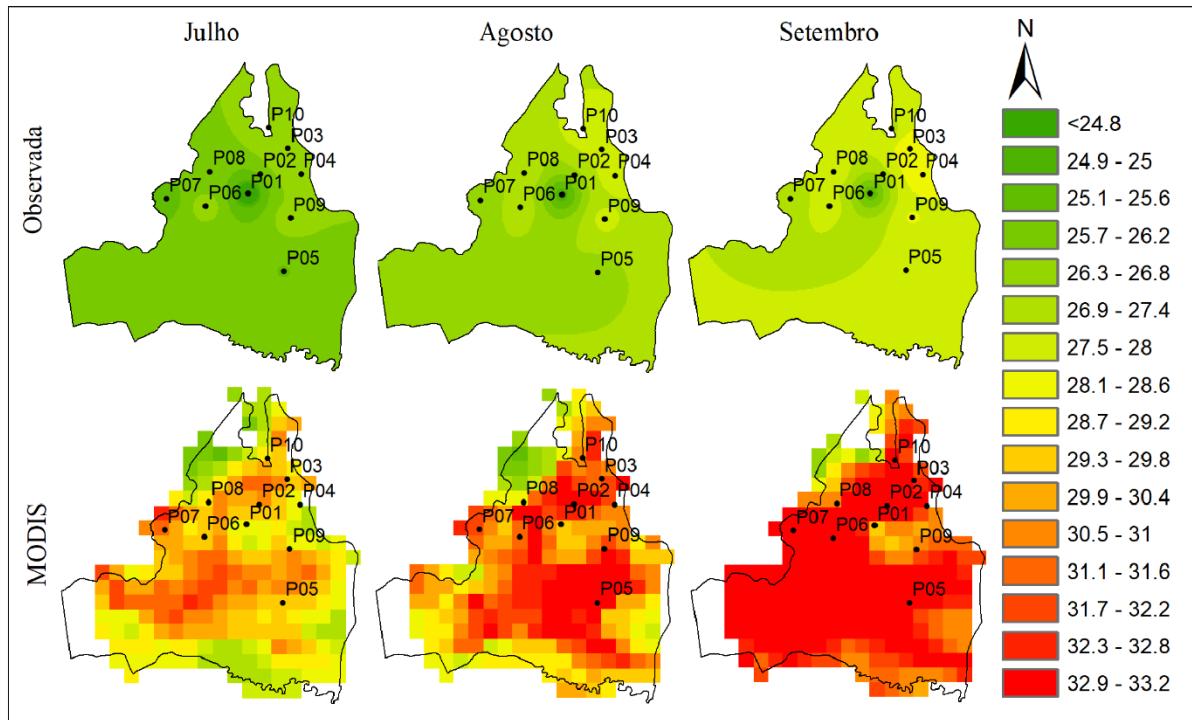


Figura 17. Temperatura média mensal para dados observados e MODIS para o ano de 2018.

3.3.4 Relação entre a temperatura do ar e dados de satélites

Com o objetivo de comparar o desempenho dos dados Landsat em uma microescala (dados pontuais), foi realizado a comparação de dados obtidos em campo para a mesma data e horário da imagem do Landsat 8 obtida no dia 28/09/2018. Com a finalidade de adequar os dados no mesmo horário da aquisição das imagens, foi feita a média para com os valores de temperatura coletados em campo entre as 8:00 e 12:00 horas para adequação com o mesmo horário da aquisição da imagem.

O uso de índices estatísticos tem a finalidade analisar o comportamento dos dados estimados com dados de campo. Na Tabela 9 estão dispostos os resultados dessas relações. A partir destes resultados observa-se que os dados Landsat apresentam melhor desempenho do que os dados MODIS, o R (0,77) maior que 0,7, o COE apresenta-se menor que 1, que há um bom desempenho destes dados, já o BIAS próximos de 0 e positivo mostra que além de um bom desempenho os dados de temperatura do ar superestimam os dados de temperatura, reflexo da forma de obtenção deste dados.

Utilizando a plataforma GEE foi possível a obtenção de médias diárias oriundas do sensor MODIS para o mesmo intervalo de tempo dos dados de campo e mesma localização geográfica, possibilitando assim a análise do desempenho destes dados para a análise na microescala. Os resultados das análises estatísticas estão dispostos na Tabela 10 onde é possível ver a variação para cada ponto e cada anos de estudo.

Tabela 99. Resultados dos índices estatísticos para dados MODIS

Localização	R		COE		BIAS	
	2011	2018	2011	2018	2011	2018
P01	0,764	0,406	-9,173	-13,554	0,185	0,139
P02	0,562	0,543	-10,148	-29,016	0,161	0,084
P03	0,527	0,668	-1,774	0,016	0,098	0,026
P04	0,788	0,472	-2,757	-0,024	0,118	0,008
P05	0,470	0,556	-5,372	-0,096	0,139	0,057
P06	0,634	0,388	-4,028	-1,027	0,137	0,056
P07	0,581	0,264	-6,943	-1,350	0,159	0,092
P08	0,595	0,242	-3,270	-0,566	0,112	0,022
P09	0,761	0,635	-2,955	0,160	0,123	0,032
P10	0,505	0,595	-3,135	-2,336	0,094	0,059

Esses valores foram resultados da comparação os dados coletados em cada ponto com a temperatura do ar com a temperatura de superfícies obtidas do GEE. Na Figura 18 é possível ver no *boxplot*, Figura 18 os valores para cada ano, os valores de R variam para o ano de 2011 de 0,47 - 0,79 e 2018 de 0,24 - 0,68; o COE 2011 tem valores entre -10,15 e -1,77, e 2018 com variações entre -29,02 e 0,02. Os valores do BIAS alternam em 2011 entre 0,094 – 0,185 e em 2018 entre 0,008 – 0,139. Esses valores mostram que apesar de alguns pontos apresentarem bons resultados, há valores discrepantes que mostram um baixo desempenho desses valores quando comparados a dados pontuais de temperatura do ar.

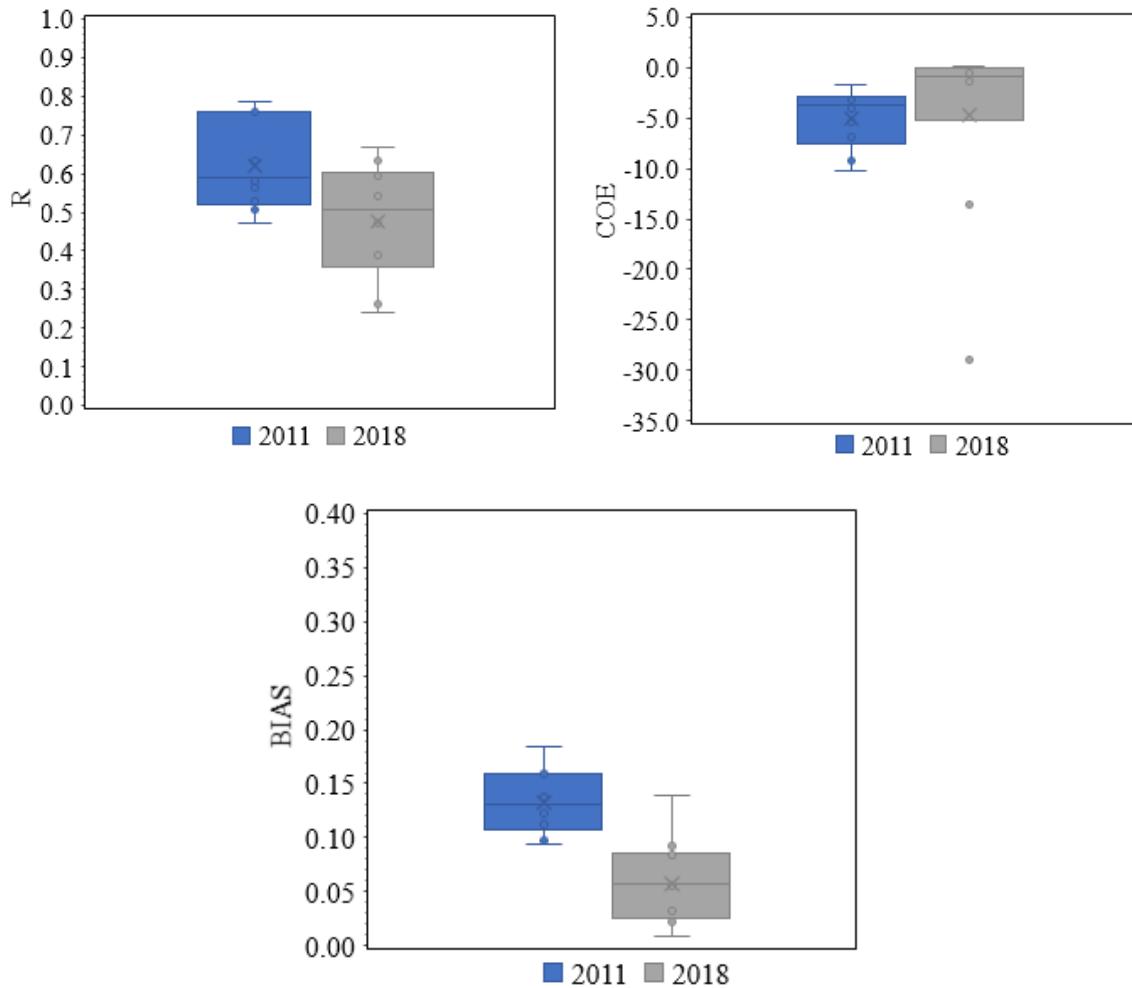


Figura 18. Comparação entre os resultados dos índices estatísticos entre os dados de campo e dados de satélites para o mesmo intervalo de tempo

3.3.5 Relação entre a temperatura da superfície e do uso do solo

A temperatura de superfície varia de acordo com o tipo de uso e cobertura do solo. Na Figura 19 estão dispostos os resultados encontrados para as classes usadas nesses estudos. Através da análise do comportamento dos valores observar-se que o solo exposto e a área urbana apresentam os maiores valores de temperatura. Já as classes de água e vegetação, neste caso a arbórea, apresentam valores menores, ressaltando a importância dessas classes no efeito de resfriamento nos centros urbanos. Na Tabela 11 estão dispostas as classes de uso do solo e as suas respectivas áreas e temperaturas de superfície.

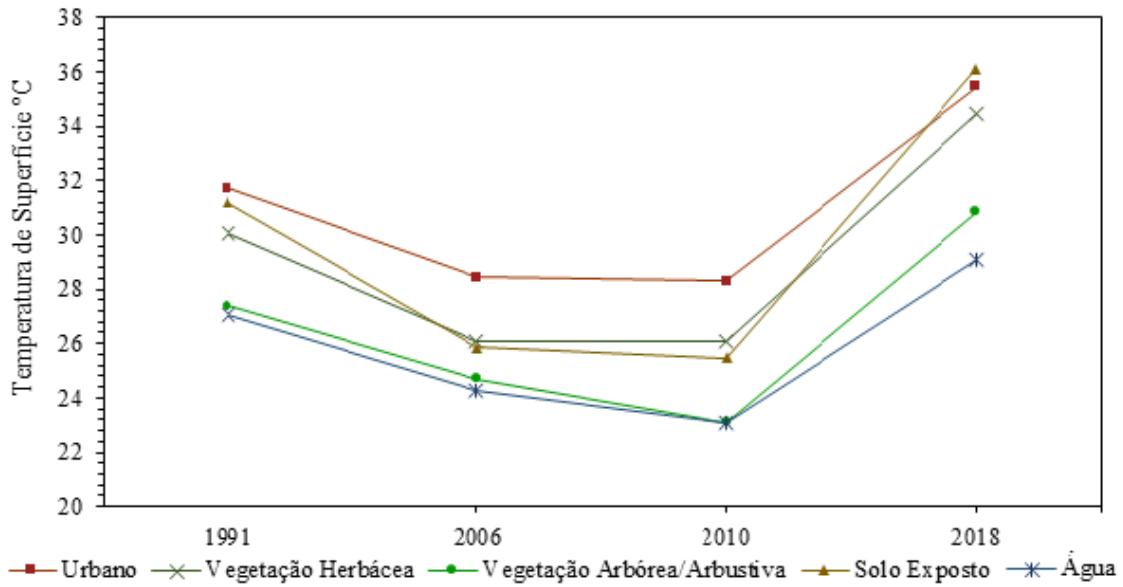


Figura 19. Temperatura média de superfície de cada classe para os anos: 1991, 2006, 2010 e 2018.

Tabela 10. Classes de uso do solo e a temperatura de superfície

Classes de uso do solo	1991		2006		2010		2018	
	km ²	°C						
Urbano	80,5	31,7	82,96	28,43	91,62	28,3	95,57	35,45
Vegetação Herbácea	84,86	30,05	76,21	26,05	64,57	26,11	51,79	34,48
Vegetação Arbórea/Arbustiva	23,98	27,4	33,25	24,72	35,11	23,11	50,49	30,85
Solo Exposto	8,19	31,18	4,99	25,87	6,27	25,47	0,54	36,11
Água	2,65	27,03	2,82	24,3	2,66	23,06	1,86	29,11

3.3.5 Relação entre a urbanização e as ilhas de calor urbanas

Com a utilização da ferramenta *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord Gi*), na qual a pontuação Z resultante informa onde os recursos com valores altos ou baixos se agrupam espacialmente, representados na Figura 20. Neste caso é possível ver os locais nos quais se concentram os maiores e menores valores de temperatura dentro da cidade. Esta ferramenta é usada para determinar a concentração das ilhas de calor de superfícies urbanas e ilhas de frescor superfícies urbanas dentro do espaço urbano, como realizado por Tran et al. (2017) e Govind e Ramesh (2019), no qual o primeiro caso é relacionado com a presença dos *hot spot* e o segundo ao *cold spot*. Durante o período estudado ocorreu a variação dá ocorrência e pontos de significância, entretanto alguns pontos se mantiveram constantes, para

compreender esses valores será analisado o tipo de classe de uso e cobertura do solo desses pontos.

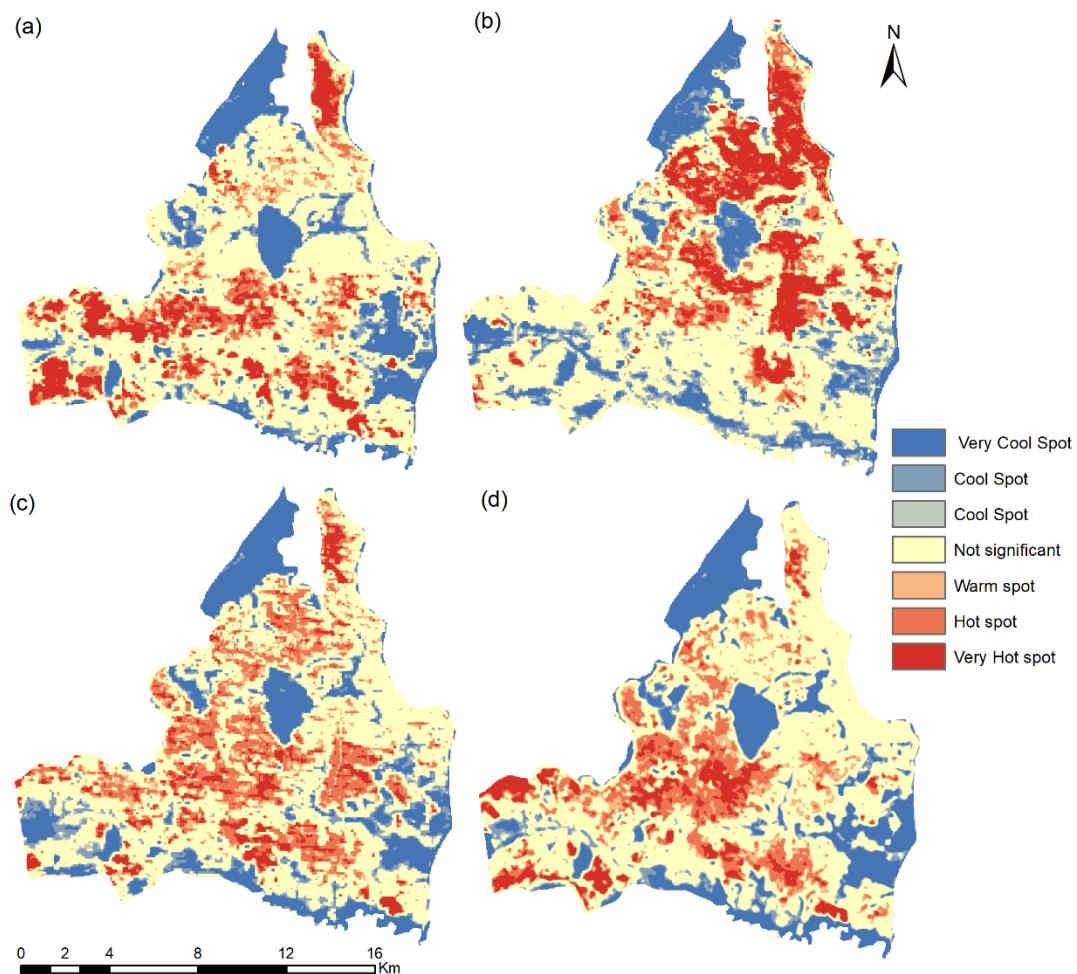


Figura 20. Análise espacial das ilhas de calor: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (b) 2018.

A Figura 21 apresenta a sobreposição dos resultados sobre o mapa da cidade. Por meio desse é possível ver que a concentração de áreas com temperaturas mais elevadas presentes na área urbanizada da cidade, onde pavimentos e coberturas cerâmicas prevalecem, já ao longo dos anos a vegetação (mata do buraquinho) e corpo hídrico (Parque Solón de Lucena – a Lagoa) influenciam na presença de temperaturas reduzidas quando comparadas a cobertura urbana.

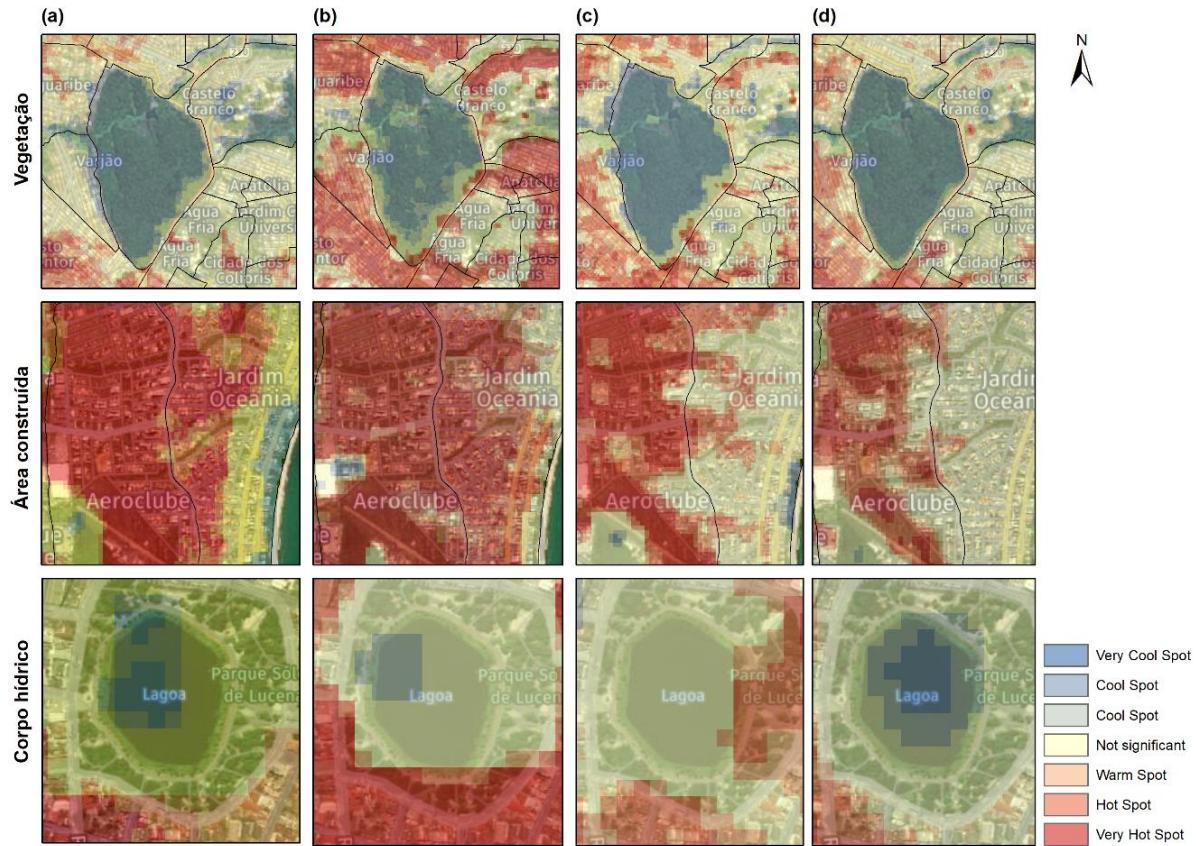


Figura 21. Comparação entre diferentes usos do solo e a concentração de alta e baixas temperaturas: (a) 1991, (b) 2006, (c) 2010 e (b) 2018.

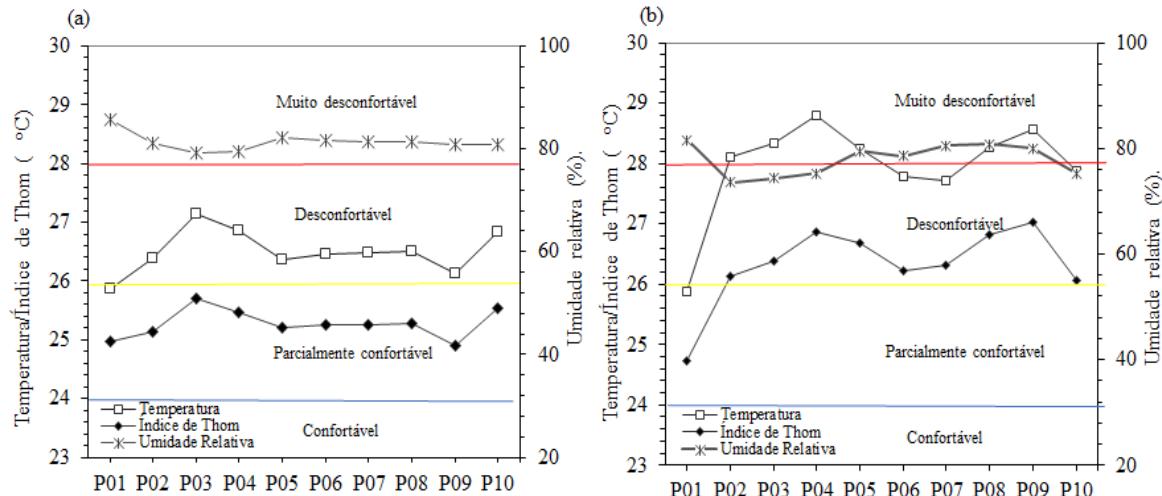
3.3.2 Análises das condições de conforto térmico

A Tabela 12 apresenta os valores médios anuais de temperatura do ar, da umidade relativa e do IDT. Os dez pontos diferem em localização e uso e cobertura do solo dentro da malha urbana. No período ocorreu um acréscimo de temperatura para todos os pontos analisados e redução dos valores da umidade relativa. Em relação ao aumento nas medições, o bairro Bancários foi o que apresentou maior acréscimo, com mais de 2 °C. A mata do buraquinho apresenta um acréscimo mínimo no seu valor, 0,02 °C. Em relação ao IDT ocorreu um aumento nos valores de classificação, dessa forma alterando as faixas de conforto sentido pela população. Seguindo a adaptação do IDT para a cidade de João Pessoa proposto por Santos et al. (2012), os maiores valores calculados 2011 estavam na faixa de classificação parcialmente desconfortável (entre $24 \leq \text{IDT} \leq 26,0$), passam para desconfortável (entre $26 < \text{IDT} < 28,0$).

Tabela 11. Médias: temperatura do ar, umidade relativa e IDT

Localização	2011			2018		
	°C	UR (%)	IDT	°C	UR (%)	IDT
Mata do Buraquinho	25,86	85,72	24,97	25,88	81,54	24,72
Expedicionários	26,38	81,11	25,15	28,10	73,63	26,13
Manáira	27,14	79,23	25,69	28,33	74,36	26,38
Cabo Branco	26,86	79,48	25,46	28,80	75,32	26,86
Mangabeira	26,37	82,22	25,21	28,24	79,45	26,69
Cruz das armas	26,45	81,59	25,24	27,79	78,57	26,23
Alto do Mateus	26,48	81,37	25,25	27,73	80,53	26,31
Centro	26,51	81,33	25,28	28,28	80,88	26,83
Bancários	26,14	80,72	24,90	28,57	80,05	27,03
INMET	26,84	80,78	25,54	27,88	75,34	26,07

O comportamento das medias da umidade relativa, da temperatura do ar e do IDT para o ano de 2011 pode ser visto na Figura 22(a), na Figura 22(b) é possível a visualização do comportamento para o ano de 2018, onde há um aumento da temperatura, redução da umidade e uma elevação do IDT. Nesse período o P01, que corresponde a um tipo de cobertura do solo composto por vegetação, apresenta os melhores valores de IDT mostrando a influência de áreas verdes no aumento da umidade, na redução de temperaturas e melhoria do conforto da população.

**Figura 22.** Comportamento dos valores de temperatura, IDT e umidade relativa para os anos de: (a) 2011 e (b) 2018.

Os valores de temperatura do ar variam para as estações do ano. Para a área de estudo, os períodos foram divididos em período seco e período chuvoso de acordo com os dados observados disponíveis. Meses com valores acima da média foram considerados o período seco e os valores abaixo da média de chuvosos. O comportamento dos valores de temperatura, umidade relativa e IDT estão apresentados para o ano de 2011 (Figura 23) e para o ano de 2018 (Figura 24). Para o período chuvoso observa-se uma queda nos valores de temperaturas e de IDT, logo nesse período os efeitos das temperaturas são menos sentidos pela população. Entre os locais estudados, a diferenças na média de temperatura entre os períodos são maiores em 2011 para o bairro Manaíra ($3,47^{\circ}\text{C}$). Em relação aos valores de IDT para esse ano, no período seco dois pontos se apresentam na faixa de parcialmente desconfortável (entre $24 \leq \text{IDT} \leq 26,0$), o P01 (25,93) e P09 (25,99). Os demais estão na faixa estão na classificação desconfortável (entre $26 < \text{IDT} < 28,0$). Para o período chuvoso todos os pontos se apresentam na faixa de classificação parcialmente desconfortável apenas o P01 (23,95) e P09 (23,75) estão identificados como confortáveis.

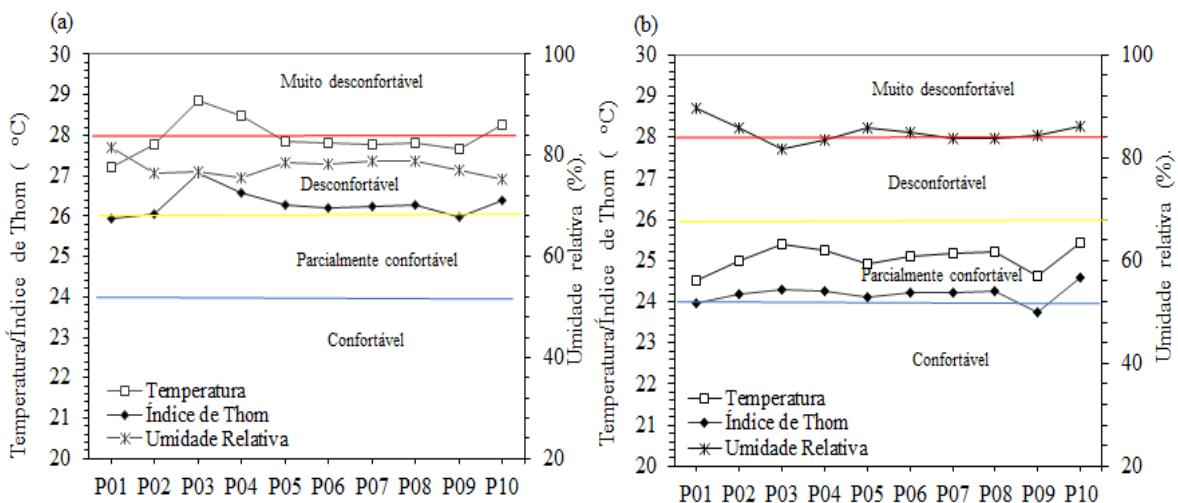


Figura 23. Comportamento dos valores de temperatura, IDT e umidade relativa para o ano de 2011: (a) período seco e (b) período chuvoso.

Para 2018, o bairro Alto do Mateus apresentou a maior variação entre os dois períodos analisados ($3,54^{\circ}\text{C}$). Em relações as diferenças de IDT entre o período seco e chuvoso, para o ano de 2018 apenas o P01 está na faixa parcialmente desconfortável (entre $24 \leq \text{IDT} \leq 26,0$), enquanto os demais pontos apresentam classificação como desconfortável (entre $26 < \text{IDT} < 28,0$), no período seco. Para o período chuvoso os pontos que estão na

faixa de desconfortável são: P03 (26,02), P04 (26,17), e P09 (26,12). Apensas o P01 (23,88) apresenta sensação na faixa confortável, enquanto os demais são classificados como parcialmente desconfortáveis.

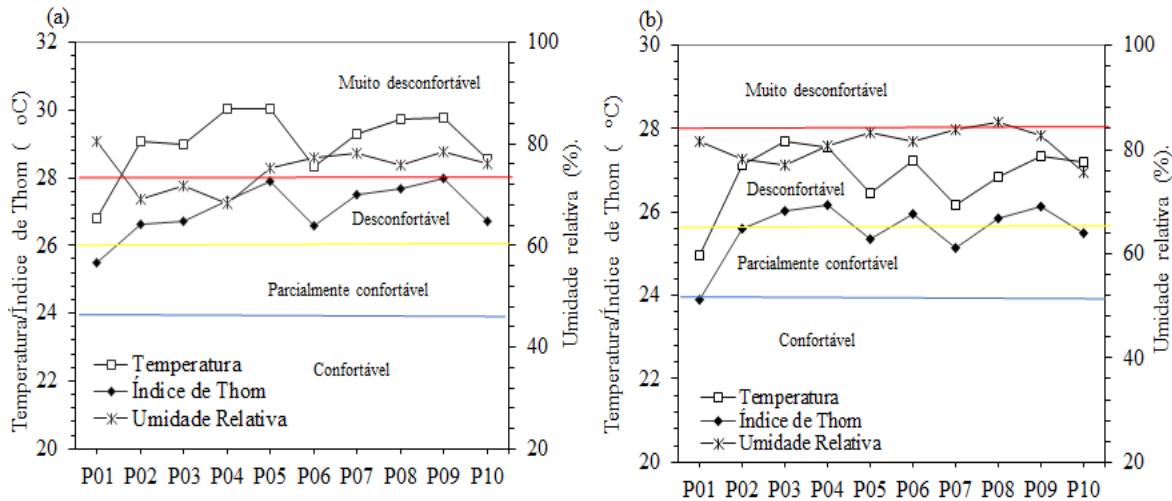


Figura 24. Comportamento dos valores de temperatura, IDT e umidade relativa para o ano de 2018: (a) período seco e (b) período chuvoso.

3.3.3 Variação diurna da temperatura

Com a finalidade de avaliar a variação diária da temperatura e a da umidade relativa e os impactos no IDT, foram utilizados os dados coletados diariamente em um intervalo horário, esses dados estão disponíveis para o período seco para os dois anos. Desta forma, foi possível ver como ocorre a variação ao decorrer do dia da temperatura e da umidade relativa, bem como os horários nos quais o IDT assume os valores mais desfavorável ao conforto humano. Para esta análise serão apresentados os valores para os bairros onde ocorreram a coleta da temperatura do ar.

A Figura 25 apresenta os valores correspondente ao P01 (Mata do buraquinho). A área apresenta maior valor de temperatura para o ano de 2011 (30, 39°C) para o horário de 13:00, assim como o maior IDT (27,44). Ainda para esse ano, ao longo do dia os valores de IDT em sua maioria ficam na faixa de classificação parcialmente desconfortável ($24 \leq \text{IDT} \leq 26,0$), apenas o horário de 05:00 apresentam na faixa de confortável (< 24) com valor de 23,85. O ano de 2018 segue este comportamento: maiores valores de temperatura às 13:00 (29, 40°C) e IDT (27, 23). Quanto ao comportamento dentro das classes do IDT, estão todos

dentro das classes de parcialmente desconfortáveis, com exceção das 6:00 (23,98). Neste ponto a vegetação e a presença de corpos hídricos são fatores que contribuem para reduzir a temperatura do ar no entorno da área, desde modo melhorando as condições da sensação térmica.

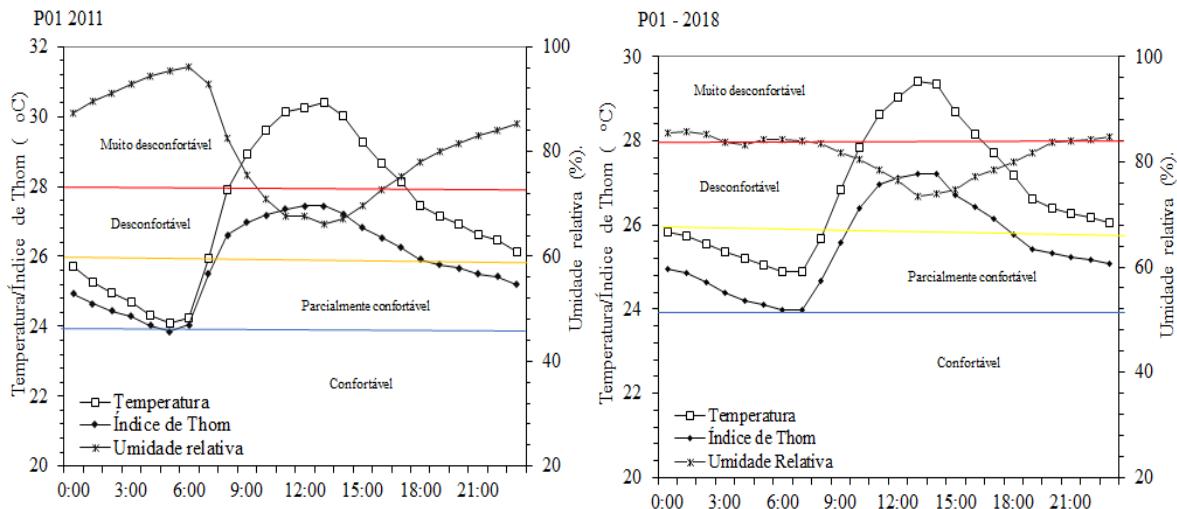


Figura 25. Variação horária anual da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P01.

Os resultados diários para os dois anos de estudos do P02 (Bairro Expedicionários) estão apresentados na Figura 26. O ponto em questão está localizado em uma área predominantemente urbanizada residencial, onde se encontram residências e edifícios comerciais intercalados por áreas verdes. A maior temperatura encontrados para o ano de 2011 ocorreu às 13:00 horas ($30,45^{\circ}\text{C}$), o maior IDT encontrado neste mesmo horário ($27,35$). Todos os horários para o ano de 2011 encontra-se na faixa parcialmente desconfortável ($24 \leq \text{IDT} \leq 26,0$). Para o ano de 2018 o valor máximo de temperatura encontrado foi para o período das 12:00 ($36,34^{\circ}\text{C}$), no qual o IDT chegou a $30,54$ ($\text{IDT} \geq 28,0$, classificado como muito desconfortável). Neste período os valores de conforto variam muito durante o dia, entre o período entre 1:00 às 6:00 há valores na faixa confortável (<24), das 07:00 às 8:00 e das 18:00 às 00:00 na faixa parcialmente desconfortável ($24 \leq \text{IDT} \leq 26,0$), no período entre 9:00 às 17:00 muito desconfortável. Áreas urbanas impermeáveis tem características que diferenciam da vegetação no que se diz respeito a absorção de calor e transferência de calor, áreas construídas tentem a absorver mais rapidamente o calor e a liberar o calor mais rapidamente também (Rusal, 2016), o que pode contribuir para a

mudanças significantes entre os valores encontrados para o período da noite e dia no ano de 2018.

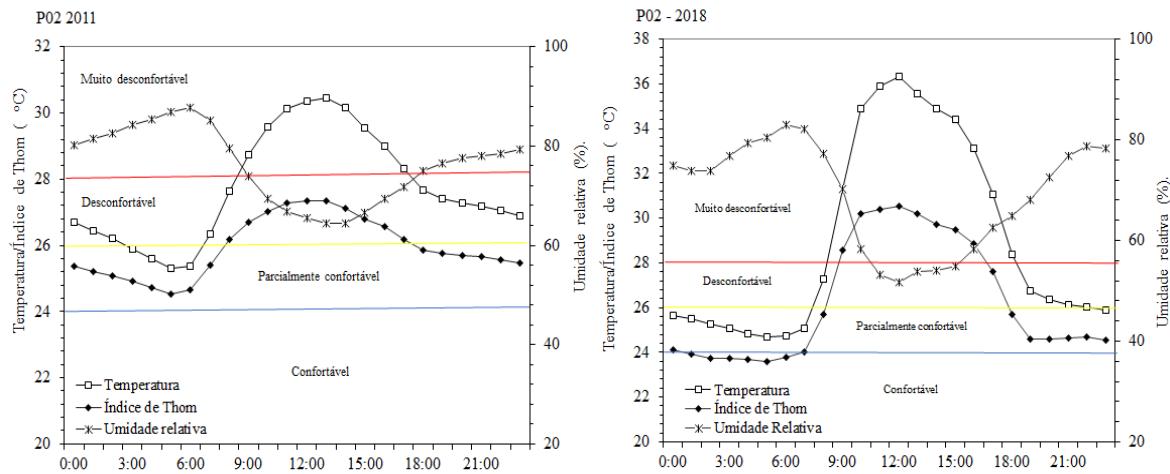


Figura 26. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P02

O ponto 03 (Bairro dos Bancários) está localizado na faixa litorânea da cidade, em uma área densamente povoada e construída, as variações diárias das condições de temperatura, umidade relativa e IDT estão dispostas na Figura 27. Para o ano de 2011 os valores máximos foram encontrados para o horário das 13:00, com temperatura de 31,52°C e IDT de 28,38. No ano de 2018 os valores extremos foram registrados para às 12:00 com, 34,38°C e IDT de 29,83. Em relação ao nível de conforto térmico para o ano de 2011 entre as 10:00 e as 14:00 os valores de IDT estão dentro da faixa de classificação muito desconfortável (IDT > 28), das 2:00 às 6:00 nos níveis parcialmente desconfortáveis (entre $24 \leq \text{IDT} \leq 26,0$) e para os demais horários as medidas se encontram no nível desconfortável (entre $26 < \text{IDT} < 28,0$). Para o ano de 2018 as transições dos valores de ocorrem: das 9:00 às 13:00 muito desconfortável, das 19:00 às 7:00 estão na faixa parcialmente confortável (entre $24 \leq \text{IDT} \leq 26,0$), os demais horários classificados como desconfortáveis.

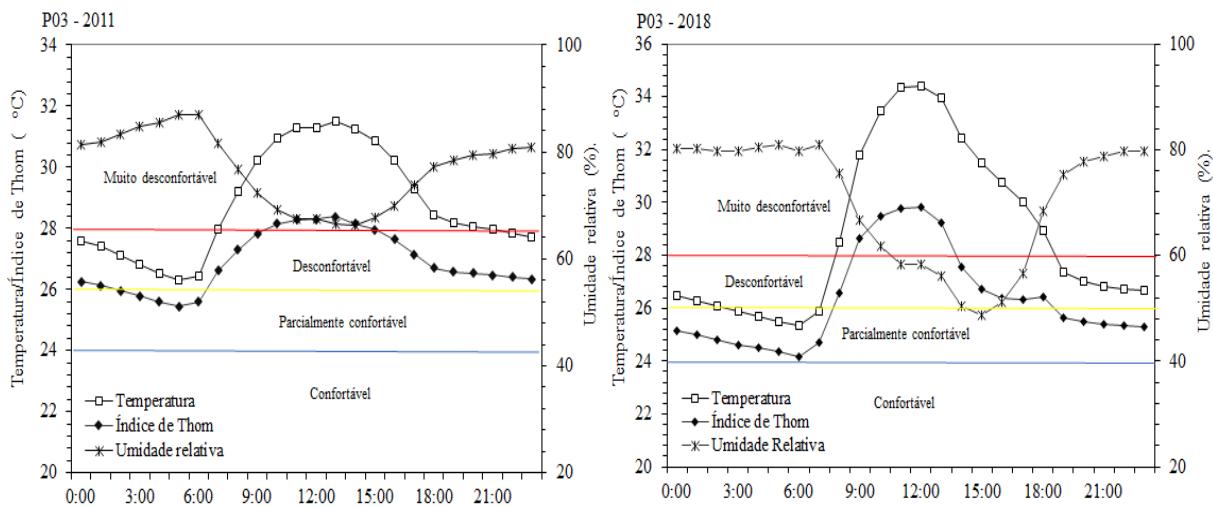


Figura 27. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P03.

Na Figura 28 estão dispostos os resultados das mudanças horárias para o P04 (Bairro de Cabo Branco), este local também pertence a faixa litorânea da cidade, no qual sofre a influência de massas de ar oriundas do oceano Atlântico. Para o período avaliado as os valores máximos de temperatura e de IDT foram vistos para 2011 às 13:00 (30,80°C) e IDT (27,78). No ano de 2018 os valores máximos foram encontrados às 12:00 (37,54 °C) e IDT (31,37). Para esse ponto, os valores do IDT variam ao longo do dia para o ano de 2011 entre as faixas parcialmente confortável das 0:00 às 6:00 e o resto do dia a sensação encontrada é de desconfortável. Durante o intervalo estudado nesse tempo ocorreu modificações no modo que o desconforto era sentido para esse local, às 8:00 foi classificado como desconfortável e das 9:00 às 17:00 a sensação é de muito desconfortável, o resto do dia ficou na faixa de parcialmente desconfortável.

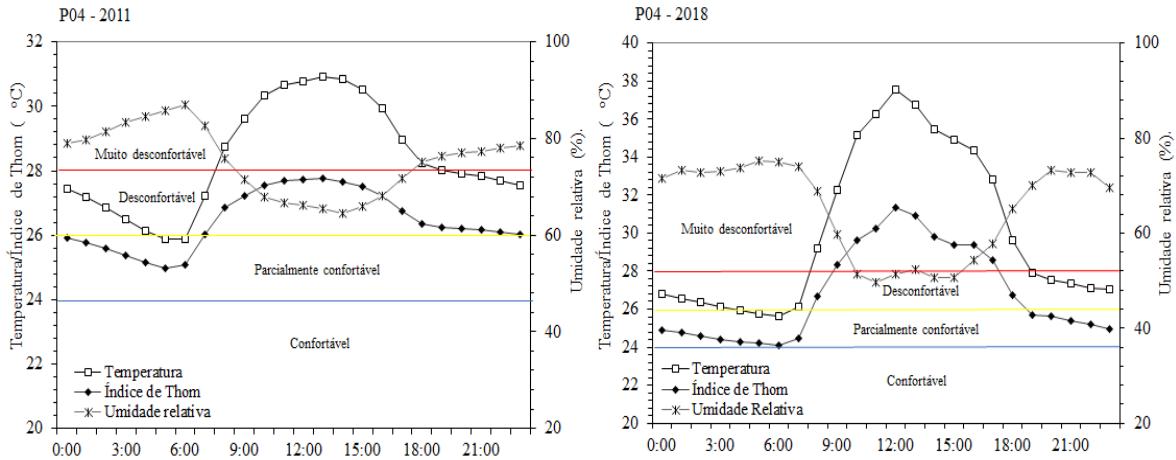


Figura 28. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P04.

O ponto 05 (Bairro de Mangabeira) é caracterizado por ser densamente povoado e caracterizado por residências e estabelecimentos comerciais de pequeno porte. Também são encontrados nessa a presenças de árvores, mas a predominância são coberturas cerâmicas e pavimentos. Os resultados para o ponto estão dispostos na Figura 29. No ano de 2011 as máximas foram encontradas às 13:00 com $30,56^{\circ}\text{C}$, o IDT foi registado às 12:00 com 27,63 (Desconfortável). No ano de 2018 às 12:00 foi o horário com os valores superiores, temperatura de $38,22^{\circ}\text{C}$ e o IDT de 32,30 (Muito desconfortável). As alterações diárias do IDT para o ano de 2011 foram das 9:00 às 17:00, desconfortável e o resto do dia esteve na faixa de parcialmente desconfortável. Já para o IDT do ano de 2018 a faixa de muito desconfortável das 8:00 às 17:00, a classificação de desconfortável foi encontrada as 18:00, no restante do dia esteve na faixa de parcialmente desconfortável.

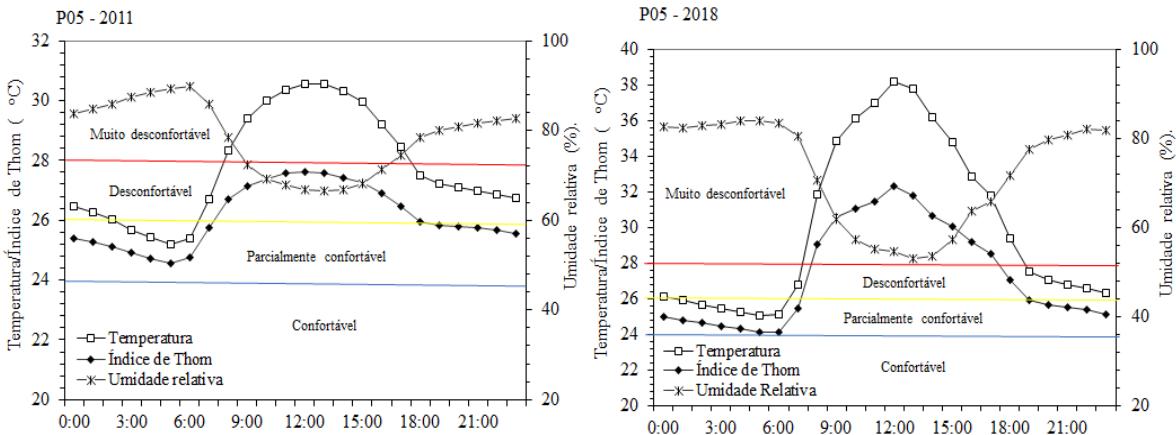


Figura 29. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P05.

O ponto 6 (Bairro Cruz das Armas), é um bairro periférico da cidade, caracterizado por habitações residenciais de baixa extensão vertical (Figura 30). Para este foram encontrados os valores máximos para o ano de 2011 para o horário às 13:00 com 31,27 °C e IDT de 27,78 (desconfortável), já no ano de 2018 foi registrado às 12:00 com 35,33 °C e IDT de 30,39 (muito desconfortável). A faixa varia no ano de 2011 das 9:00 às 18:00 como desconfortável e no restante do dia como parcialmente confortável, no ano de 2018 das 8:00 às 16:00 esteve na faixa de muito desconfortável, das 2:00 às 7:00 confortável, as 17:00 e 18:00 desconfortável e às 8:00 e o restante do dia como parcialmente desconfortável.

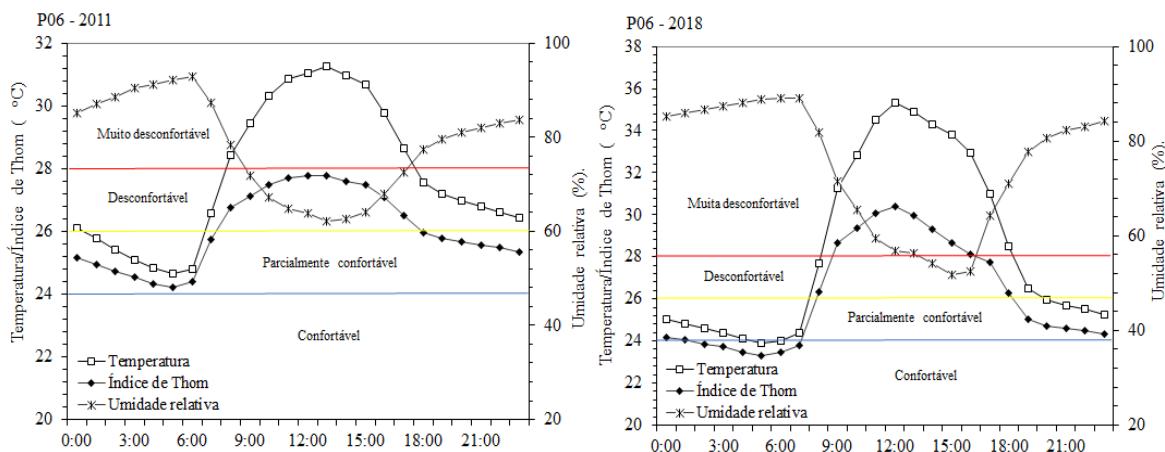


Figura 30. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P06.

O P07 (Bairro do Alto do Mateus) está localizado nas extremidades do perímetro urbano da cidade de João Pessoa. Os valores destes locais estão apresentados na Figura 31, no qual pode-se observar os valores extremos de temperatura e IDT. No ano de 2011 foram encontrados para o horário das 13:00 a maior temperatura com 31,49°C e às 12:00 o máximo de IDT de valor 27,94 (desconfortável), já para o ano de 2018 os extremos são vistos às 12:00 com temperatura de 37,68 °C e IDT de 31,67 (muito desconfortável). No período analisado as faixas de classificação variaram para o ano de 2011 das 8:00 às 18:00 na faixa de desconfortável e no restante do dia estiveram na classificação parcialmente desconfortável. No ano de 2018 ao longo do dia a sensação de muito desconfortável foi observado das 9:00 às 17:00, às 18:00 desconfortável e em todo o resto esteve na faixa parcialmente desconfortável.

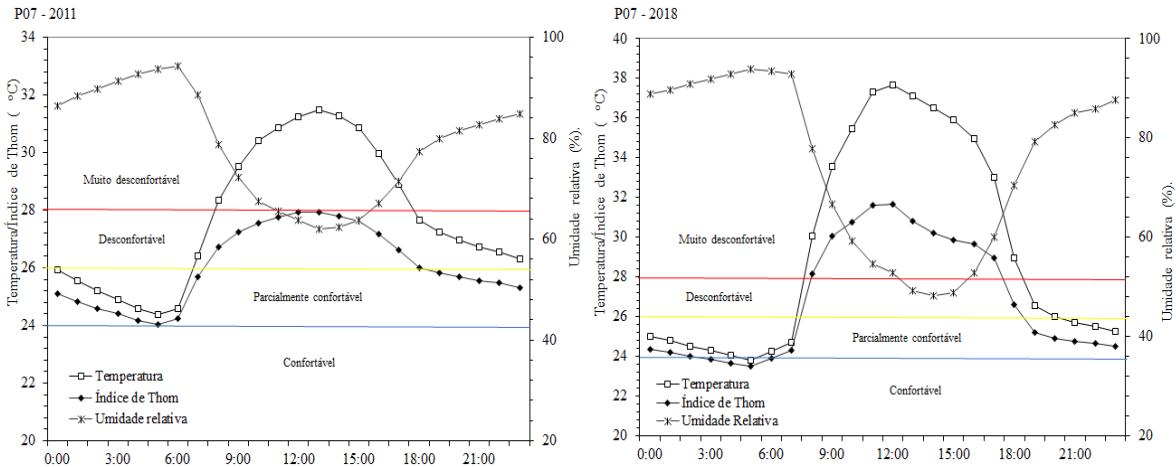


Figura 31. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P07.

Os resultados encontrados para o P08 (Centro) estão apresentados na Figura 32, este local tem um grande aglomerado de estabelecimentos comerciais, durante o dia há grande concentração de veículos e perdeste neste local. No ano de 2011 os valores máximos foram encontrados no período das 14:00 com medida de 30,75 °C, e IDT as 13:00 com 27,61(desconfortável). No ano de 2018 a maior temperatura foi registrada para às 12:00 com 38,09 °C e IDT de 32,03 (muito desconfortável). A oscilação do IDT registrada para 2011 esteve entre os horários das 8:00 às 19:00 na faixa de classificação de desconfortável e no resto na faixa de parcialmente desconfortável. Já para o ano de 2018 ocorreu a as variação das 9:00 às 17:00 muito desconfortável, às 18:00 desconfortável e no restante confortável.

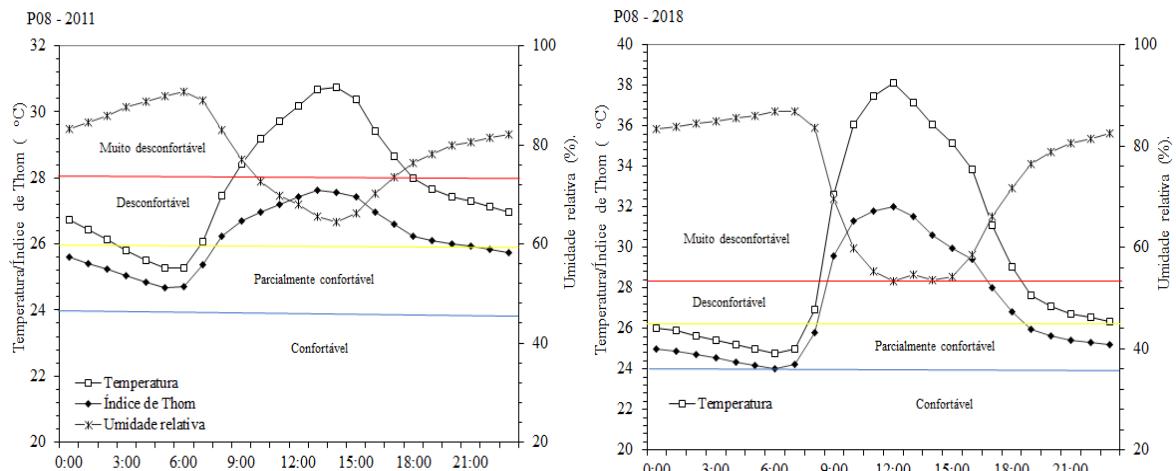


Figura 32. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P08.

O P09 (Bairro Bancários) é uma área residencial que também apresenta comércio e alta cobertura impermeável, com resultados apresentados na Figura 33. Neste ponto os valores máximos de IDT foi encontrado as 13:00 com valores de 31,19 °C e IDT de 27,60. Em 2018 esteve concentrado no período das 12:00 com 36,02 °C e IDT de 31,28. As faixas de classificação em 2011 foram das 9:00 as 17:00 desconfortável e no restante do dia parcialmente confortável, em 2018 das 9:00 as 17:00 muito confortável e as 8:00 e as 18:00 desconfortável, no resto confortável.

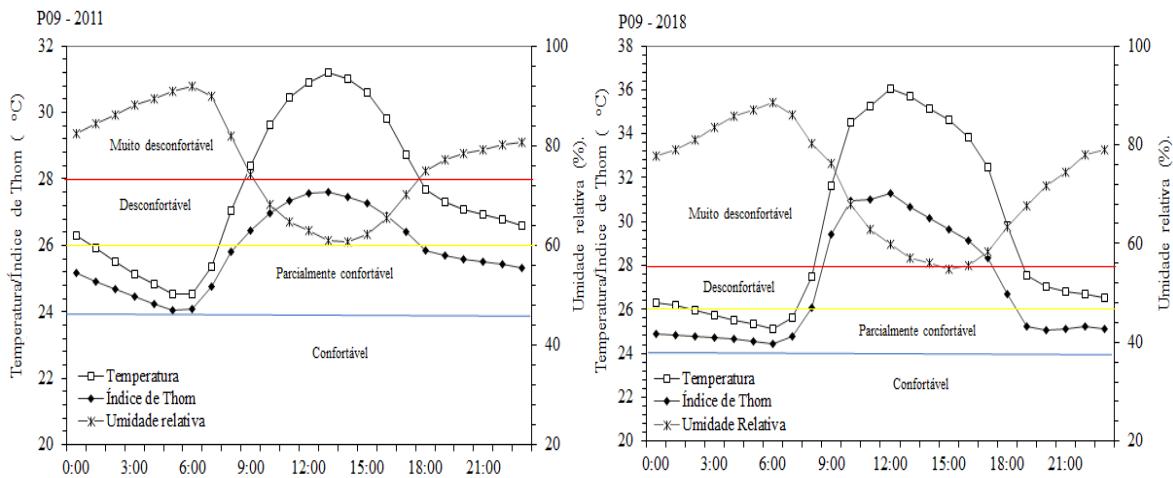


Figura 33. Variação horaria da temperatura, da umidade relativa e do IDT para o P19.

3.4 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo estudar as alterações espaço-temporais recentes no microclima urbano provocadas pelo processo recente de urbanização e os impactos nas ilhas de calor urbana. O aumento temporal da ocorrência e magnitude da SUHI é linearmente correlacionado com a expansão urbana e a rápida urbanização. Também está claro que o efeito SUHI pode ser usado como um indicador da expansão urbana em regiões altamente urbanizadas. Esta questão deve ser avaliada com cuidado ao preparar o plano estratégico de gerenciamento da cidade de João Pessoa.

- É revelado que, durante o período (2011–2018), a extensão da SUHI é clara e com magnitude crescente.

- A falta de planejamento e as alterações no LULC podem ser os principais fatores que desencadeiam o efeito SUHI na área de estudo.
- Também pode ser confirmado pela análise da relação estatística entre as classes SUHI e LULC, que denota correlações significativas entre dois conjuntos de dados.
- Além disso, estudos futuros devem focar na modelagem do efeito SUHI, usando dados remotamente multitemporais e multissensores, bem como modelos climáticos numéricos locais ou regionais e ferramentas de simulação LULC. Combinação de técnicas avançadas de sensoriamento remoto e modelos de simulação podem ajudar a entender melhor o fenômeno SUHI.

REFERÊNCIAS

Allen RG, Tasumi M, Trezza, r. SEBAL – **Surface Energy Balance Algorithms for Land, Advanced training and user's manual**. Idaho: Implementation, 2002, 98p.

Ciardini V, Caporaso L, Sozzi R, Petenko I, Bolignano A, Morelli M, Melas D, Argentini S (2019). Interconnections of the urban heat island with the spatial and temporal micrometeorological variability in Rome. **Urban Climate**, 29, 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100493>

Streutker DR (2002). A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. **International Journal of Remote Sensing**, 23(13), 2595-2608. <https://doi.org/10.1080/01431160110115023>

Dihkan M, Karsli F, Guneroglu A, Guneroglu N (2015). Evaluation of surface urban heat island (SUHI) effect on coastal zone: The case of Istanbul Megacity. **Ocean & Coastal Management**, 118, Part B, 309-316. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.008>

Duarte MLF (2010). Comportamento microclimático urbano: estudo de caso de um recorte urbano em João Pessoa-PB. 2010. 179 f. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

Duncan, J.M.A., Boruff, B., Saunders, A., Sun, Q., Hurley, J., Amati, M., (2019). Turning down the heat: an enhanced understanding of the relationship between urban vegetation and surface temperature at the city scale. **Sci. Total Environ.** 656, 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.223>.

Gaur, Abhishek; Eichenbaum, Markus; Simonovic, Slobodan. (2018). Analysis and modelling of surface Urban Heat Island in 20 Canadian cities under climate and land-cover change. **Journal of Environmental Management**. Vol. 206, Pages 145-157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.002>.

Govind, Nithya R.; Ramesh, H. (2019). The impact of spatiotemporal patterns of land use land cover and land surface temperature on an urban cool island: a case study of Bengaluru. **Environmental Monitoring and Assessment**. 191: 283.. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7440-1>

Guo A, Yang J, Xiao X, Xia J, Jin C, Li X (2020). Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. **Sustainable Cities and Society**, 53, 101972. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101972>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sinopse do Censo Demográfico, (2010). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/censo2010/apps/sinopse/index.php?uf=25&dados=1>>. Acesso em: 26 de Jun. 2019.

Li H, Zhou Y, Li X, Meng L, Wang X, Wu S, Sodoudi S (2018). A new method to quantify surface urban heat island intensity. **The Science of the Total Environment**, 624, 262-272, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.360>

Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. (1970) River Flow Forecasting through Conceptual Model. Part 1—A Discussion of Principles. **Journal of Hydrology**, 10, 282-290. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

Peres LF, Lucena AJ, Rotunno Filho OC, França JRA (2018). The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 64, 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.012>

Rasul A, Balzter H, Smith C (2015). Spatial variation of the daytime surface urban cool island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8. **Urban Climate**, 14, 176-186. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.001>

Rasul A, Balzter H, Smith C (2016). Diurnal and Seasonal Variation of Surface Urban Cool and Heat Islands in the Semi-Arid City of Erbil, Iraq. **Climate**, 4(42). <https://doi.org/10.3390/cli4030042>

Rasul A, Balzter H, Smith C, Remedios J, Adamu B, Sobrino JA, Srivani M, Weng Q (2017). A Review on Remote Sensing of Urban Heat and Cool Islands. **Land**, 6(2), 38-49. <https://doi.org/10.3390/land6020038>

Santos JS, Da Silva VPR, Lima ERV, De Araújo LE, Costa ADL (2012). Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 5(3), 540-557.

Shen H, Huang L, Zhang L, Wu P, Zeng C (2016). Long-term and fine-scale satellite monitoring of the urban heat island effect by the fusion of multi-temporal and multi-sensor remote sensed data: A 26-year case study of the city of Wuhan in China. **Remote Sensing of Environment**, 172, 109-125. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.005>

Sheng L, Tang X, You H, Gu Q, Hao H (2017). Comparison of the urban heat island intensity quantified by using air temperature and Landsat land surface temperature in Hangzhou, China. **Ecological Indicators**. 72. 738-746. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.009>

Silva JS, Silva RM, Santos CAG (2018). Spatiotemporal impact of land use/land cover changes on urban heat islands: A case study of Paço do Lumiar, Brazil. **Building and Environment**, 136, 279-292. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.041>

Silva MD, Castro AABC, Silva BA, Silveira JAR, Silva GJA (2015). Crescimento da Mancha Urbana na Cidade de João Pessoa, PB. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, 22(30), 65-83. <https://doi.org/10.5752/P.2316-1752.2015v22n30p64>

Sobreira LC, Leder SM, Da Silva FAG, Rosa PRO (2011). Expansão urbana e variações mesoclimáticas em João Pessoa, PB. **Ambiente Construído**, 11(2), 125-138. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212011000200009>

Thom EC (1959). The Discomfort Index. **Weatherwise**, 2(1), 567-60, 1959. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>

Tran DX, Pla F, Latorre-Carmona P, Myint SW, Caetano M, Kieu HV (2017). Characterizing the relationship between land use/land cover change and land surface temperature. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 124, p. 119-132, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>

Voogt JA, Oke TR (2003). Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, 86, 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)

Xue Z, Hou G, Zhang Z, Liu X, Jiang M, Zou, Y, Shen X, Wang Y, Liu X (2018). Quantifying the cooling-effects of urban and peri-urban Wetlands using remote sensing Data: Case study of cities of Northeast China. **Landscape and Urban Planning**, 182, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.015>

Zhang Y, Murray A, Turner II BL (2017). Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona. **Landscape and Urban Planning**, 165, 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.009>

Zhou W, Huang G, Cadenasso ML (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. **Landscape and Urban Planning**, 102, 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.009>

Zhou, Y. & Ren, G. (2011). Change in extreme temperature event frequency over mainland China, 1961– 2008. **Climate Research**, 50, 125-139. <https://doi.org/10.3354/cr01053>

Zhang, Xing Quan (2016). The trends, promises and challenges of urbanization in the world. **Habitat International**, 54, Part 3, 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.11.018>

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Por meio do estudo realizado obteve-se a dinâmica espacial e temporal do uso e cobertura da terra e seus impactos na formação de ilhas de calor e no conforto da população. A urbanização da cidade transformou áreas naturais em malha urbana, alterando desta forma a configuração urbana. O planejamento urbano e incentivos governamentais foram apontados como vetores de crescimento.

Em relação as temperaturas tanto de superfícies quanto do ar encontradas para a cidade mostram que o ano de 2018 foi o mais quente de todos, resultado das mudanças climáticas urbanas. Em relação ao tipo de uso e cobertura da terra, é possível verificar que a presença de corpos hídricos e vegetação reduzem a temperatura e melhoram o conforto da população, mostrando a importância do planejamento urbano voltado a conservação de áreas verde e corpos hídricos urbanos e arborização de vias com a finalidade de propiciar a população uma melhor qualidade de vida.

Em relação a formação de ilhas de calor além do aumento de temperatura para todos os pontos da microescala observada para o ano de 2018, o período diurno apresentou um pior desempenho do IDT. Comparando o desempenho ao longo dos 7 anos, entre 2011 e 2018, com exceção da mata do buraquinho, os níveis de desconforto em sua maioria aumentam em um nível de desconforto, aumentando显著mente os locais e ampliando os horários nos quais os piores desempenho de conforto térmicos são sentidos pela a população.

Os estudos do microclima urbano são essenciais para a avaliação das condições de conforto e segurança da população, a aplicação de dados de satélites e sensoriamento remoto são uma forma eficiente para o estudo em uma escala espaço-temporal. Os resultados encontrados mostram que ao passar dos anos há uma redução no conforto para a população, necessitando de novas ferramentas para a avaliação das variáveis que influenciam no clima urbano.

Desta forma, os estudos de clima urbano são essenciais para o planejamento urbano, uma vez que a produção do espaço urbano e as mudanças no clima urbano impactam negativamente as condições de bem-estar. A compreensão dos fenômenos que levam ao mesmo auxilia a criação de ações mitigadoras dos efeitos decorrentes do processo de urbanização.