



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

DANIEL SOUSA ROCHA

**ANALISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA VEGETAÇÃO DE CAATINGA
CAUSADOS PELA URBANIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POMBAL PB**

Pombal – PB

2022

Daniel Sousa Rocha

**ANALISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA VEGETAÇÃO DE CAATINGA
CAUSADOS PELA URBANIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POMBAL PB**

Trabalho de Conclusão do Curso (TCC),
apresentado ao Centro de Ciências e
Tecnologia Agroalimentar - campus da
Universidade Federal de Campina Grande
(UFCG) como um dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Virgínia de Fátima
Bezerra Nogueira

Área de concentração:
Climatologia/Mudanças Climáticas

Pombal - PB

2022

R672a Rocha, Daniel Sousa.

Análise dos impactos ambientais na vegetação de caatinga causados pela urbanização no município de Pombal-PB / Daniel Sousa Rocha. – Pombal, 2022.

35 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira”.

Referências.

1. Sensoriamento remoto 2. Uso e ocupação do solo. 3. Saldo de radiação. 4. NDVI. 5. SAVI. I. Nogueira, Virgínia de Fátima Bezerra. II. Título.

CDU 528.811(043)

Daniel Sousa Rocha

**ANALISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA VEGETAÇÃO DE CAATINGA
CAUSADOS PELA URBANIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE POMBAL PB**

Trabalho de Conclusão do Curso (TCC),
apresentado ao Centro de Ciências e
Tecnologia Agroalimentar - campus da
Universidade Federal de Campina Grande
(UFCG) como um dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental.

Área de concentração:
Climatologia/Mudanças Climáticas

Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira

Prof.^a Dr.^a. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira

Orientadora-CCTA/UFCG/Campus de Pombal-PB

Andrea Karla R. Cavalcanti

Me. Andrea Karla Gouveia Cavalcanti

Examinadora Interna –

Valner da Silva Nogueira

Dr. Valner da Silva Nogueira

Examinador Externo –

Pombal – PB, 19 de agosto de 2022

DEDICATÓRIA

“Dedico esta monografia aos meus pais, Francisco e Marileuza, que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram incondicionalmente em toda minha trajetória acadêmica”

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, por ter chegado até aqui e vencido todas as dificuldades e por sempre me conduzir por um caminho de amor, respeito e dedicação.

Aos meus pais, Francisco de Assis Rocha Araújo e Marileuza Sousa Santana, por toda paciência, apoio em todos os momentos da graduação e de minha vida.

Aos meus familiares e parentes que me ajudaram na minha estadia no começo do curso, em especial a Joana Rocha (in memória), Luciana Barbosa, Julia Barbosa e Tico Rocha.

Aos professores por todo o conhecimento repassado, todo apoio, respeito e paciência durante toda a graduação com destaque para Prof.^a Dra. Virgínia de Fátima, Prof. Dr. José Cleidimario, Prof. Dr. Helber Rangel e Prof.^a Dra. Jussara Silva Dantas, que me ajudaram a apresentar um melhor desempenho no processo de formação como profissional.

Ao setor de assistência estudantil pela oportunidade de ser residente, com destaque a Sebastião marques e Maria das Neves que muito fizeram por todos os residentes que ali passaram.

Aos funcionários do Restaurante Universitário por cada alimento servido em todo o período que estive por lá.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado em momentos bons e ruins dessa etapa da minha vida, Filipe Gomes, Jefferson Clemente, Lenilson Barbosa, Ricardo Santos, José Amaro, Zaqueu Lopes, Leonardo Prado, José Diógenes, Brunark Carvalho, Jorge França, Marcia Lacerda e todos aqueles que de algum modo contribuíram com minha formação.

A todos os colegas que participaram dos projetos desenvolvidos dentro da universidade.

Lista de figuras

Figura 1 Área de estudo.....	18
Figura 2 Diagrama das etapas para processamento de Saldo de Radiação (Rn)	20
Figura 3 NDVI do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB dos meses: a) 03/2014, b)10/2021, c) 03/2014, d) 10/2021	25
Figura 4 NDVI do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB	26
Figura 5 SAVI do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB dos meses: a) 03/2014, b) 03/2021, c) 10/2014 d) 10/2021	26
Figura 6 SAVI do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB	27
Figura 7 Saldo de radiação (Rn) do perímetro urbano do município de Pombal-PB dos meses: a) 03/2014, b) 03/2021, c)10/2014, d)10/2021	28
Figura 8 Saldo de radiação do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB	29
Figura 9 TST do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB dos meses: a) 03/2014, b) 03/2021, c) 10/2014, d)10/2021	29
Figura 10 TST do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB.....	31

Lista de tabelas

Tabela 1 dados dos sensores Landsat 8	19
---	----

Sumario

1. Introdução	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 Revisão bibliográfica	15
3.1 Processo de urbanização	15
3.2 NDVI	15
3.3 SAVI	16
3.4 Temperatura de Superfície Terrestre	16
3.5 Balanço de radiação	17
4 Materiais e métodos	18
4.1 Local de estudo	18
4.2 Metodologia	19
6 Conclusões	32
Referencias	33

Resumo

O objetivo deste trabalho foi determinar se ocorreram alterações no microclima local da cidade de Pombal com o aumento da urbanização. Analisou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, a Temperatura de Superfície Terrestre e o Saldo de Radiação para o perímetro urbano de Pombal para diferentes anos, buscando identificar o aumento da urbanização e o possível impacto no microclima local. Para obter esses índices, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, dos sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor) nos meses de março e outubro dos anos de 2014 e 2021. Utilizaram-se imagens no formato, GEOTIFF(TIFF), vetores no formato Shapefile (SHP), Modelo Digital de Elevação (MDE) captada através do sistema TOPODATA e usou-se o algoritmo SEBAL aplicado aos softwares GRASS 7.2.0 e QGIS 2.14.11. Os resultados dos índices mostraram perda de vegetação com o passar dos anos apontando alterações na cobertura do solo. Como consequência, houve um aumento da temperatura nos pontos selecionados, corroborando assim com alterações no microclima local confirmado pelas alterações no saldo de radiação.

Palavras chaves: Uso e Ocupação do Solo, Saldo de Radiação, NDVI, SAVI, Sensoriamento Remoto.

ABSTRAT

The objective of this work was to determine whether changes occurred in the local microclimate of the city of Pombal with the increase in urbanization. The Normalized Difference Vegetation Index, Soil-Adjusted Vegetation Index, Land Surface Temperature and Radiation Balance for the urban perimeter of Pombal for different years were analyzed, seeking to identify the increase in urbanization and the possible impact on the microclimate place. To obtain these indexes, images from the Landsat 8 satellite, from the OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor) sensors were used in the months of March and October of the years 2014 and 2021. Images were used in the format, GEOTIFF (TIFF), vectors in Shapefile format (SHP), Digital Elevation Model (DEM) captured through the TOPODATA system and the SEBAL algorithm applied to GRASS 7.2.0 and QGIS 2.14.11 software was used. The results of the indices showed loss of vegetation over the years, pointing to changes in soil cover, as a result of which there was an increase in temperature at the selected points, thus corroborating changes in the local microclimate confirmed by changes in the radiation balance.

Keywords: Land Use and Occupancy, Radiation Balance, NDVI, SAVI, Remote Sensing.

1. Introdução

O avanço da urbanização contribui para mudanças no ambiente provocando impactos no solo, água, atmosfera e também a biodiversidade, com sérias consequências a humanidade. As alterações na cobertura vegetal e no uso da terra são fatores que contribuem com as variações ambientais em escalas diferentes, resultando em alterações significativas nos ecossistemas, nos fluxos biogeoquímicos e no clima (MASULLO, 2014).

As alterações no espaço geográfico resultante das mudanças no meio físico causadas pela ação humana, impactam nas variáveis climatológicas que resultam em interações terra-atmosfera aumentando os desequilíbrios ambientais causados pela impermeabilização do solo, uma maior liberação de gás, aumento de áreas construídas e conseqüentemente a diminuição das áreas com vegetação. As transformações devido ao uso e ocupação do solo geram mudanças no balanço de energia e na atmosfera, resultando diversos microclimas dentro de uma cidade, mais conhecido como clima urbano (BARBOZA, 2020).

O processo complexo que é o aumento da urbanização, esses agravos a sociedade podem ocorrer pela distribuição desigual do espaço, provocando problemas ambientais, expondo a população mais pobre (MASULLO, 2014).

Com o aumento da população nas cidades, a área urbana tende a aumentar e substituir a vegetação nativa ali presente, que aos poucos é substituída por outras coberturas. Os índices espectrais podem ser usados na classificação de diferentes tipos de cobertura de solo quando são utilizados de forma integrada.

O estudo teve como foco a análise dos impactos ambientais na vegetação de caatinga causados pela expansão do perímetro urbano do município de Pombal, no estado da Paraíba. A cidade de Pombal vem crescendo bastante nos últimos anos principalmente depois da chegada da universidade Federal de Campina Grande, o que movimentou a economia local, além disso o presente trabalho quer contribuir também com a pouca quantidade de estudos

usando ferramentas de geoprocessamento para identificar impactos causados pelo aumento da urbanização.

Usando dos índices espectrais e buscou-se analisar os impactos causados pelo aumento da urbanização no período de 2014 a 2021, e identificar se houve possíveis mudanças no microclima local.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar através de índices espectrais possíveis impactos no microclima local da cidade de Pombal causados pelo aumento da urbanização.

2.2 Objetivos Específicos

- Obter os índices NDVI, SAVI e TST e o saldo de radiação (R_n);
- Analisar os índices gerados nos anos de 2014 e de 2021;
- Contrapor os resultados gerados e determinar se ocorreram impactos causados pelo aumento da urbanização.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Processo de urbanização

O processo de urbanização é definido como o crescimento em população e extensão territorial das cidades. A transformação do espaço rural em urbano, é um fenômeno decorrente da migração populacional do tipo campo para a cidade (DE SOUSA, p.177).

A população mundial apresentou um grande crescimento ao logo do tempo, principalmente a partir da metade do século XX. Esse processo de urbanização se deu devido a população buscar melhorias e qualidade de vida nas cidades, como por exemplo, a procura por emprego, saúde e educação. Esse fato também pode ser observado no Brasil, quando em 1950, houve o desenvolvimento de políticas que impulsionaram o investimento em indústrias, estimulando o grande êxodo rural que continua acontecendo até hoje no país (ROSA, 2017).

3.2 NDVI

Atualmente, existem imagens com os mais diversos tipos de resoluções espaciais e espectrais que são obtidas pelos sensores imageadores já ultrapassa centenas de bandas e a resolução espacial da maioria destas imagens já é maior que um metro, o que possibilita sua aplicação em áreas como levantamento de recursos naturais e elaboração de mapas temáticos, monitoração ambiental, detecção de desastres naturais, desmatamentos de vegetação nativa, defesa e vigilância, entre outras (MENESES, 2012).

Dentre todas as alternativas de índices utilizados para o monitoramento de vegetação, um dos mais utilizados é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index- Índice de Vegetação por diferença Normalizada), que é obtido através da razão entre a diferença e a soma das refletâncias no infravermelho próximo e no vermelho (CORDEIRO, 2017).

Segundo Cordeiro (2017), os valores de NDVI podem variar entre -1 e +1, sendo positivos quando os alvos são rochas, solos descobertos e vegetação.

Solos sem cobertura e rochas refletem o vermelho e o infravermelho próximo quase na mesma intensidade, conseqüentemente, seu NDVI aproxima-se de zero. Os maiores valores de NDVI estão associados a densidades maiores de vegetação saudável. Alvos que refletem mais intensidade na porção do vermelho em comparação com o infravermelho próximo (nuvens, neve ou corpos d'água) apresentam NDVI negativo.

3.3 SAVI

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (Soil-Adjusted Vegetation Index – SAVI) é um índice que leva em consideração efeitos da exposição do solo nas imagens analisadas, quando a superfície não está completamente coberta por vegetação. (GAMEIRO, 2016).

O índice Savi foi desenvolvido por HUETE (1988), como uma técnica de transformação para minimizar a influência da reflectância do solo nos índices de vegetação espectrais que envolvem os comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo e modelar, com maior precisão, a radiância infravermelha próxima nas copas mais abertas (SILVA, 2017).

3.4 Temperatura de Superfície Terrestre

A TST (Temperatura de superfície terrestre) é utilizada para monitorar padrão térmico e assim acompanhar o estado de vegetação e cultivos, utilizando as ferramentas do geoprocessamento.

Atualmente, para se obter produtos para avaliar o balanço de energia da superfície se utiliza imagens de satélite. Para a obtenção destes parâmetros existem diversos algoritmos como por exemplo o Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL utilizado por SIQUEIRA (2019).

SEDIYAMA (2009) afirma que o SEBAL é um algoritmo que tem importância na determinação dos mapas de evapotranspiração para grandes áreas. O SEBAL é processado por meio de passos computacionais que predizem um balanço completo da radiação e da energia sobre a superfície da Terra. Esse algoritmo utiliza imagens coletadas pelo sensor Landsat ou outro sensor que colete comprimentos de onda na região do infravermelho refletivo e termal.

3.5 Saldo de Radiação

Esse processo sofre um impacto importante devido a presença de regiões urbanas. MACEDO (2020) salienta em sua pesquisa que nas superfícies urbanas há uma maior absorção e retenção de energia quando comparadas as áreas rurais ou totalmente vegetadas, pois, quando há uma superfície urbana, o albedo se torna menor e a capacidade térmica maior do que áreas rurais, devido à combinação dos materiais que são encontrados nas cidades e da geometria urbana.

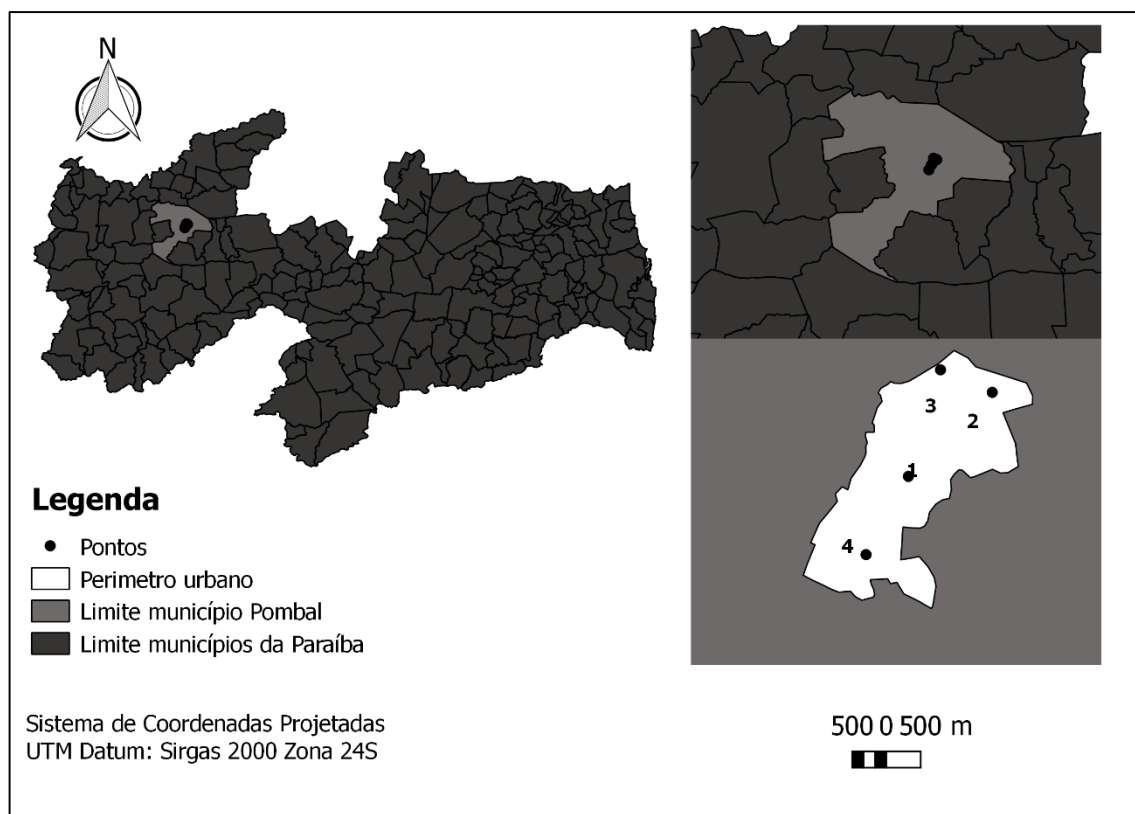
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de Estudo

O município de Pombal está localizado no interior do estado da Paraíba, possui, segundo o censo do IBGE (2010), uma densidade demográfica de 36,13 hab/km², uma população estimada em 32.110 pessoas e uma unidade territorial de 894,099 km². Situado a 175 metros de altitude, Pombal tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 6° 46' 8" Sul, Longitude: 37° 47' 45" Oeste e está a 378,5 km da capital do Estado, João Pessoa, via BR-230. A área utilizada para o presente estudo foi o perímetro urbano da cidade de Pombal, como pode ser observado na Figura 1.

Todos os pontos tiveram um critério para a escolha. O ponto foi escolhido por ser uma área mais antropizada. O ponto 2 foi se trata de um local em expansão acelerada. No ponto 3 está ocorrendo o desmatamento para a construção de loteamentos. O ponto 4 segue os mesmos critérios do ponto 2.

Figura 1 Área de estudo, Ponto 1: centro da cidade próximo ao semáforo da BR230, Ponto 2: Bairro Altiplano, Ponto 3: Bairro Santo Amaro, Ponto 4: Bairro Pereiros.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A escolha desta área para estudo, se deu pela importância econômica da cidade que vem crescendo bastante nos últimos anos principalmente depois da chegada da universidade e pela ausência de estudos usando as ferramentas do geoprocessamento para identificar os possíveis impactos que o aumento da urbanização tem afetado o meio ambiente.

4.2 Metodologia

Foram utilizadas imagens de satélite com a menor interferência de nuvens, foram dos meses de março e outubro, representando o período chuvoso e o período seco, dos anos de 2014 e 2021.

Foram utilizadas imagens no formato GEOTIFF dos sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor), os mesmos pertencentes ao Satélite Norte Americano Landsat 8, assim como imagem de Modelo Digital de Elevação (MDE) adquirido através do sistema de dados geomorfométricos do Brasil (Topodata). Os arquivos possuem resolução espacial de aproximadamente 30 metros assim como os divisores vetoriais baixados no banco de dados do IBGE (2010) no formato Shapefile (SHP).

Na tabela 1 estão os dados de resolução espacial em metros e os comprimentos de onda de cada banda dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8, disponibilizados em metadados que associados as bandas é possível a geração dos parâmetros que caracterizam cada método descrito no trabalho.

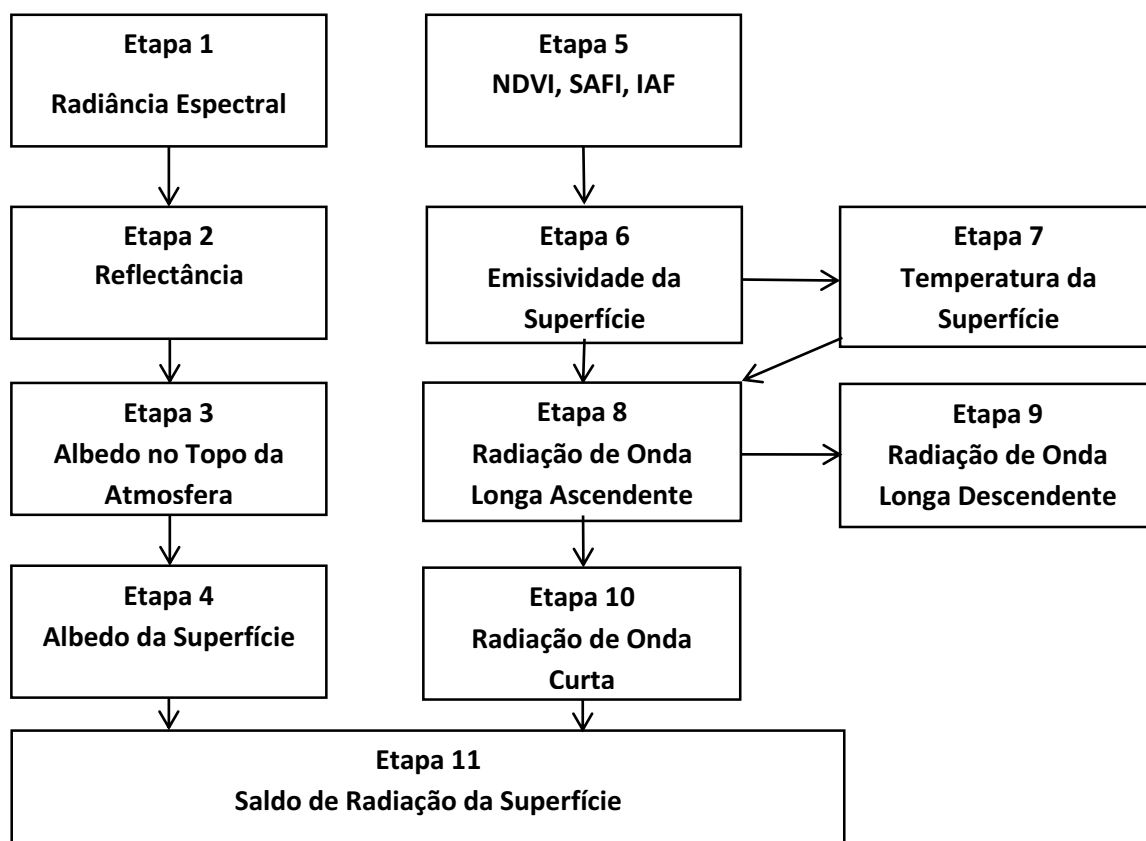
Tabela 1 Dados dos sensores Landsat 8

Sensor	Banda	Comp. De onda (μm)	Resolução espacial (m)
OLI	1	0.43 – 0.45	30
	2	0.45 – 0.51	30
	3	0.53 – 0.59	30
	4	0.64 – 0.67	30
	5	0.85 – 0.88	30
	6	1.57 – 1.65	30
	7	2.11 – 2.29	30
	8	0.50 – 0.68	15
TIRS	9	1.36 – 1.38	30
	10	10.60 – 11.19	100
	11	11.50 – 12.51	100

Fonte: Adaptado de Pessanha et al. (2018).

As imagens foram processadas, reprojetaas e recortadas no software QGIS 2.14.11 e utilizadas no GRASS 7.2.2 para a geração dos dados finais utilizando o script em PYTHON (linguagem de programação comumente utilizada em programas de computador) disponibilizadas na rede mundial de computadores por Wolff (2016). Para se chegar a uma estimativa do saldo de radiação utilizamos o algoritmo SEBAL (BASTIAANSEN, 1998.), apresentado na Figura 2.

Figura 2 Diagrama das etapas para processamento de Saldo de Radiação (Rn)



Fonte: adaptado VASCO (2013)

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI):

Foi calculado o índice NDVI, em mesma escala, nos anos de 2014, e 2021, com finalidade de serem comparados entre si, para uma melhor visualização das transformações espaciais da vegetação presente no território municipal de Pombal.

O NDVI é calculado com base na refletividade medida nas bandas NIR que é o infravermelho próximo de comprimento de onda (0,75-0,90 um) e R que é o vermelho de comprimento de onda (0,63-7 um) como pode ser visto na equação 01.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (1)$$

Na qual:

- $NDVI$ – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;
- ρ_{IV} – Refletância do infravermelho;
- ρ_V – Refletância do vermelho.

Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI):

O SAVI foi obtido usando-se a equação 2:

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (2)$$

Em que:

- $SAVI$ – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo;
- L – Fator de ajuste do solo (adota-se 0,5).
- ρ_{IV} – Refletância do infravermelho;
- ρ_V – Refletância do vermelho.

Índice de Área Foliar:

O IAF foi obtido como mostra a equação 3:

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (3)$$

Sendo:

- IAF – Índice de Área Foliar.
- $SAVI$ – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo;

Emissividade de superfície:

A emissividade da superfície foi obtida usando-se a equação 4:

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 * IAF \quad (4)$$

Na qual:

- ε_0 – Emissividade de superfície (pela equação de Plank invertida);
- IAF – Índice de Área Foliar.

Radiância monocromática:

Para obter-se a radiância monocromática se usou a equação 5:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (5)$$

Sendo:

- L_λ – Radiância monocromática;
- M_L – Fator de reescalonamento multiplicativo específico ($3,342 \times 10^{-4}$);
- Q_{cal} – Valor pixel a pixel da imagem;
- A_L – Fator de reescalonamento aditivo específico (0,1).

Temperatura de Superfície:

A temperatura da superfície foi obtida pela equação 6:

$$T_S = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (6)$$

Na qual:

- T_S – Temperatura de Superfície;
- K_1 – Constante de calibração (774,88K);
- K_2 – Constante de calibração (1321,08K).
- L_λ – Radiância monocromática;

Radiação de onda longa emitida:

A Radiação de onda longa emitida pela superfície foi obtida da equação 7:

$$R_{ol,emi} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_S^4 \quad (7)$$

Em que:

- $R_{ol,emi}$ – Radiação de onda longa emitida ($W \cdot m^{-2}$);
- ε_0 – Emissividade de superfície;
- σ – Constante de Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$);
- T_S – Temperatura de superfície.

Radiação de onda longa incidente:

$$R_{ol,atm} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4$$

onde: $\varepsilon_a = 0,85 \cdot (-\ln\tau_{sw})^{0,09}$

Tendo:

- $R_{ol,atm}$ – Radiação de onda longa incidente ($W.m^{-2}$);
- ε_a – Emissividade do ar;
- σ – Constante de Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$);
- T_a - Temperatura do ar;
- τ_{sw} – Transmitância atmosférica.

Radiação de onda curta incidente:

Através da equação 8 obteve-se a radiação de onda curta incidente:

$$R_s = Q \cdot \cos\theta \cdot dr \cdot \tau_{sw} \quad (8)$$

Sendo:

- Q – Constante solar ($1367 W.m^{-2}$);
- θ – Ângulo de incidência solar;
- dr – Distância Terra – Sol;
- τ_{sw} – Transmissividade atmosférica;

Saldo de Radiação (Rn):

Por fim, obteve-se o Saldo de Radiação pela equação 9:

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot R_s + R_{ol,atm} - R_{ol,emi} - (1 - \varepsilon_0) \cdot R_{ol,atm} \quad (9)$$

Na qual:

- R_n – Saldo de radiação ($W.m^{-2}$)
- α – Albedo de superfície;
- R_s – Radiação de onda curta incidente;
- $R_{ol,atm}$ – Radiação de onda longa incidente ($W.m^{-2}$);
- $R_{ol,emi}$ – Radiação de onda longa emitida ($W.m^{-2}$);
- ε_0 – Emissividade da superfície ($4 - 100 \mu m$);

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

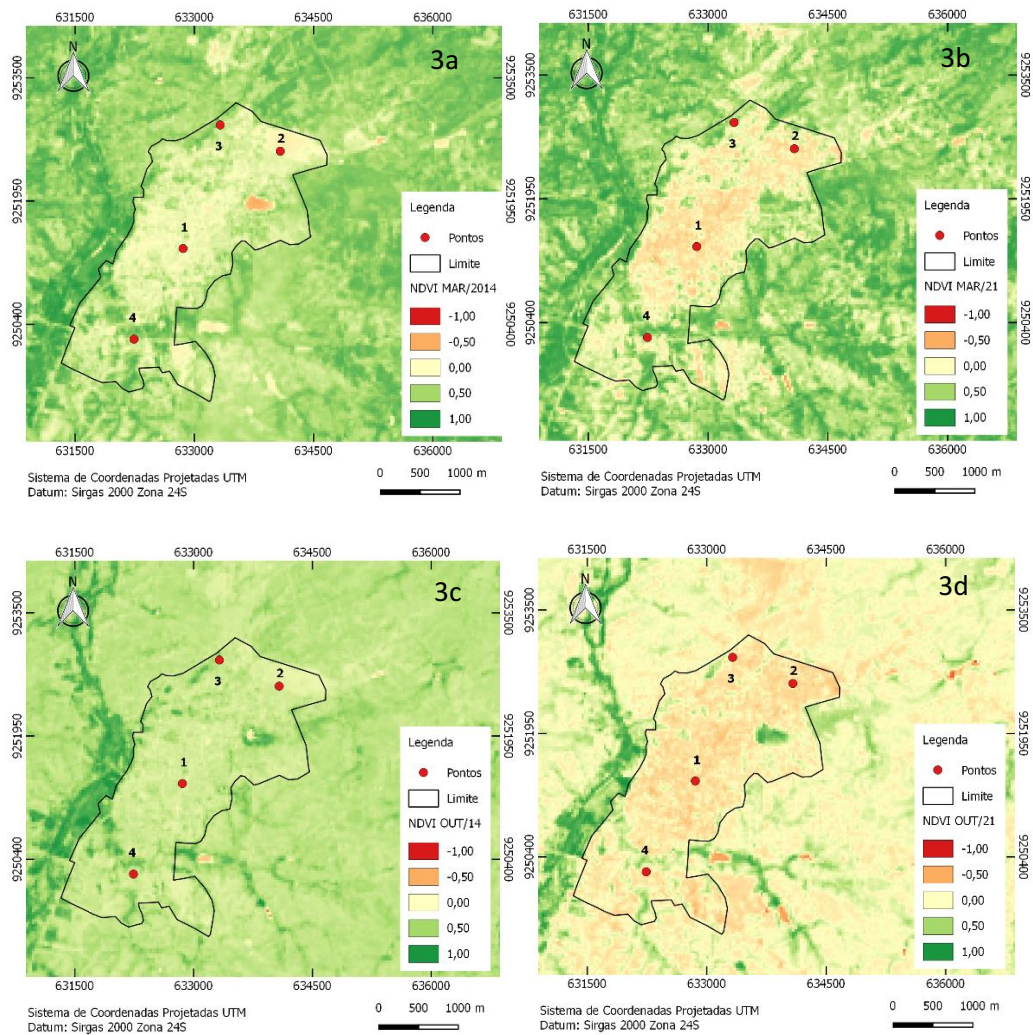
As análises foram realizadas com base nos mapas do perímetro urbano de Pombal contendo as variáveis NDVI, SAVI, TST e Rn para os meses de março e outubro dos anos de 2014 e 2021. Foram utilizados os pontos da cidade como referência: 1 - centro da cidade na BR 230, 2 - Altiplano, 3 - Santo Amaro, 4 - Pereiros, próximo as residências.

Na figura 3 estão representados os valores de NDVI, que variam de -1 a +1, quanto mais vegetada for uma área mais próximo de um e quanto menos vegetada a tendência é se aproximar de um negativo. Segundo Silva (2009), valores negativos de NDVI indicam a presença de corpos d'água na superfície e nuvens. Em superfícies com solo descoberto, pequenos aglomerados urbanos, ou mesmo em áreas cobertas por vegetações caducifólias (como a caatinga) que não se mantêm verde na estação seca, o valor do NDVI aproxima se de zero.

Comparando os meses de março de 2014 Figura 3a e março de 2021 Figura 3b, observa-se uma leve mudança nos valores de NDVI havendo uma redução dos valores. Apesar do ano de 2014 ter sido muito seco, o NDVI mostra a presença do açude do bairro Nova Vida (-0,50). Em 2021 a quantidade de áreas sem vegetação é maior, a região do açude apresenta vegetação sobre as águas, e o outro local é no bairro dos Pereiros representado pelo ponto 4, onde ainda há poucas estradas calçadas.

Observando os meses de outubro de 2014 Figura 3c e outubro de 2021 Figura 3d percebe-se uma maior redução nos valores de NDVI. Percebe-se nos mapas que o rio que passa ao lado do perímetro urbano está totalmente eutrofizado, ou seja, a vegetação está cobrindo o leito do rio, que é um processo de poluição das águas.

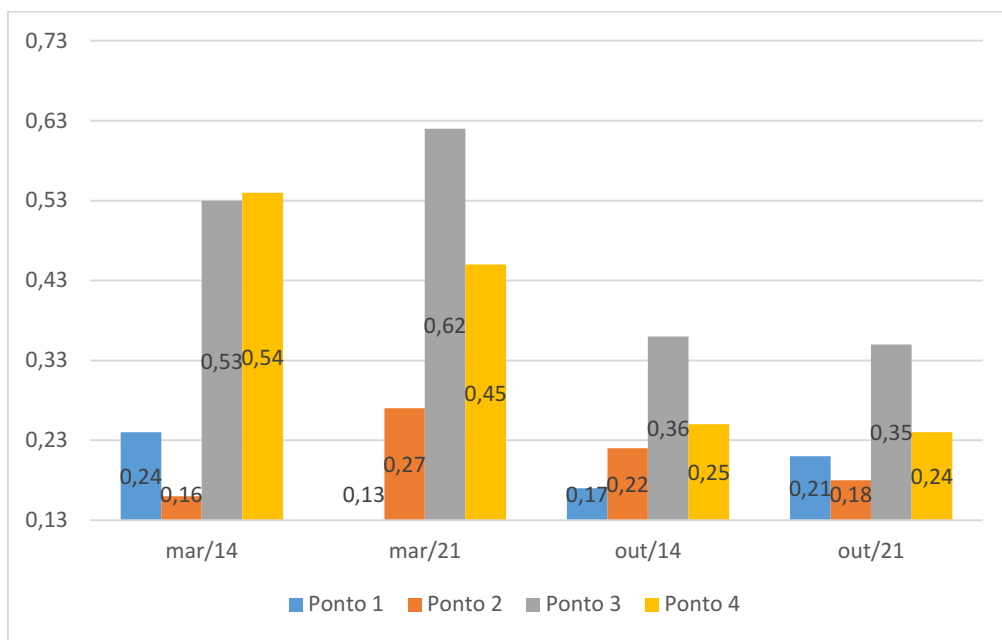
Figura 3 NDVI do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB dos meses: a) 03/2014, b) 03/2021, c) 10/2014, d) 10/2021



Fonte: autoria própria (2022)

A figura 4 representa o NDVI em cima dos quatro pontos do perímetro urbano da cidade de Pombal. Observa-se que os meses de março de 2014 e 2021 tiveram diferentes valores variando substancialmente, possivelmente por influência do período chuvoso. Os pontos 3 e 4 apresentaram valores elevados em março, por terem menos superfície com concreto e, portanto, mais vegetação. Os meses de outubro de 2014 e 2021 mostraram uma redução significativa em relação ao mês do período chuvoso, nos valores de NDVI, principalmente nos pontos 3 e 4.

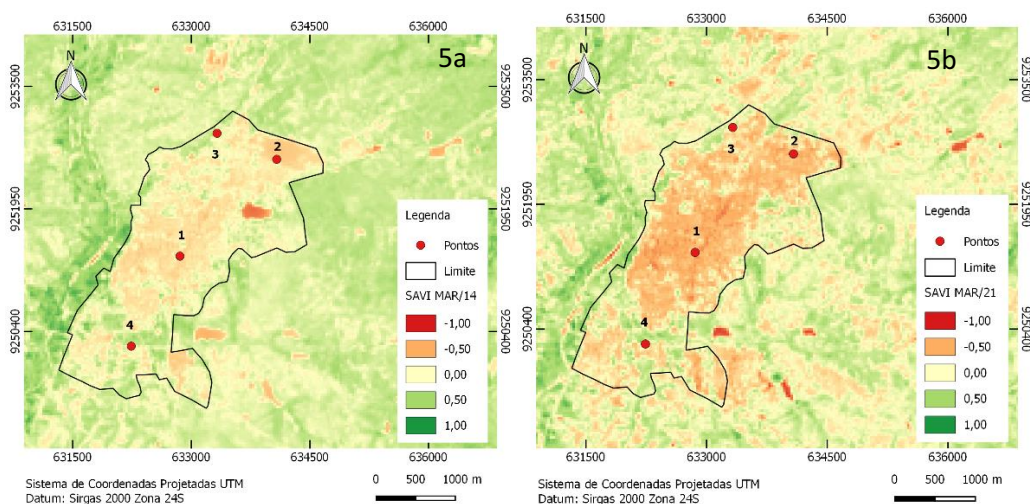
Figura 4 NDVI do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB

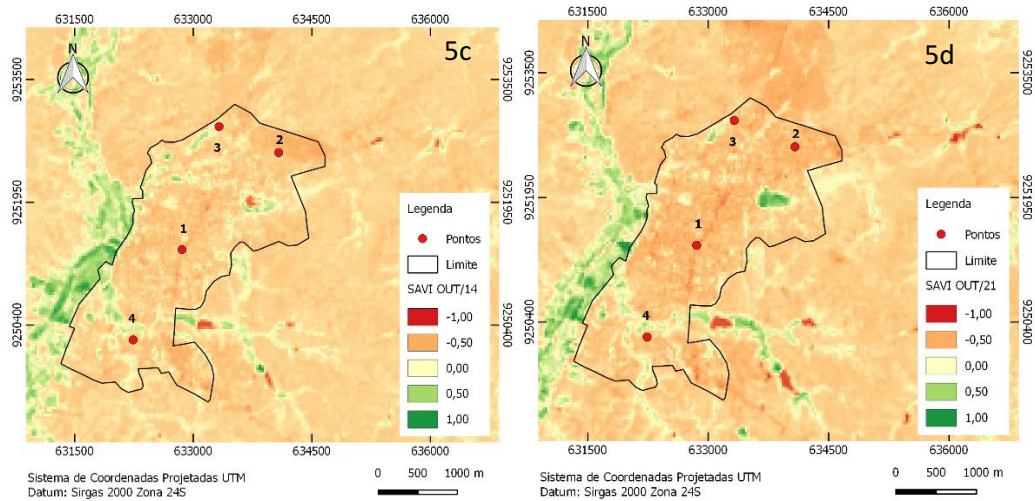


Fonte: autoria própria

Na figura 5 observa-se os valores do SAVI, que serve como ajuste do NDVI quando não há cobertura vegetal. Os meses de março e outubro dos anos estudados mantiveram a mesma tendência do NDVI, onde os valores são próximos e tiveram redução ao passar dos anos. No SAVI fica mais nítido as áreas secas. No SAVI fica mais nítido as áreas secas, percebe-se até a BR 230, a linha vermelha que passa pelo ponto 1.

Figura 5 SAVI do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB dos meses: a) 03/2014, b) 03/2021, c) 10/2014 d) 10/2021

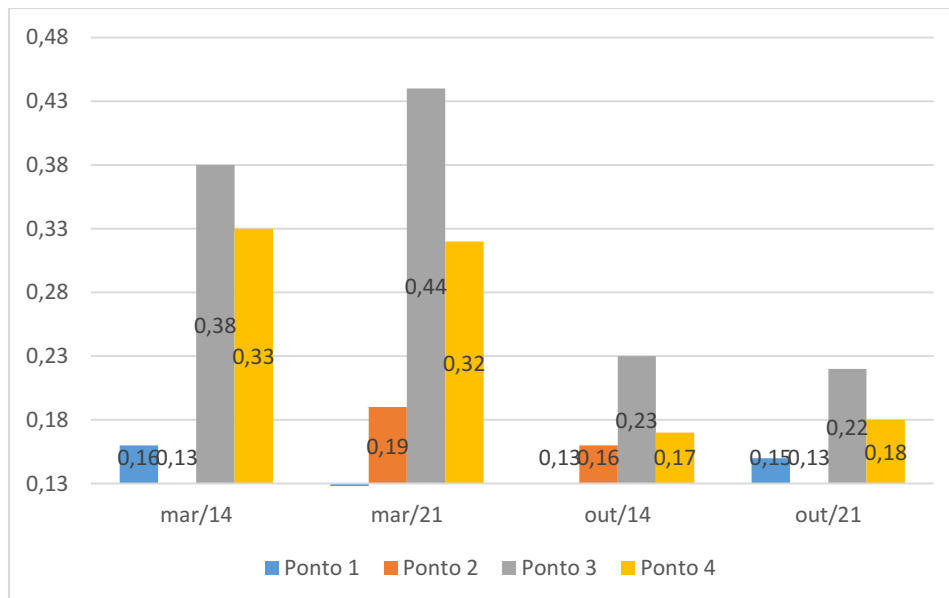




Fonte: autoria própria (2022)

Na figura 6 observa-se que os valores do SAVI mantiveram a mesma tendência de diminuição dos valores do NDVI, o que mostra que houve aumento da exposição do solo e diminuição da vegetação.

Figura 6 SAVI do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB

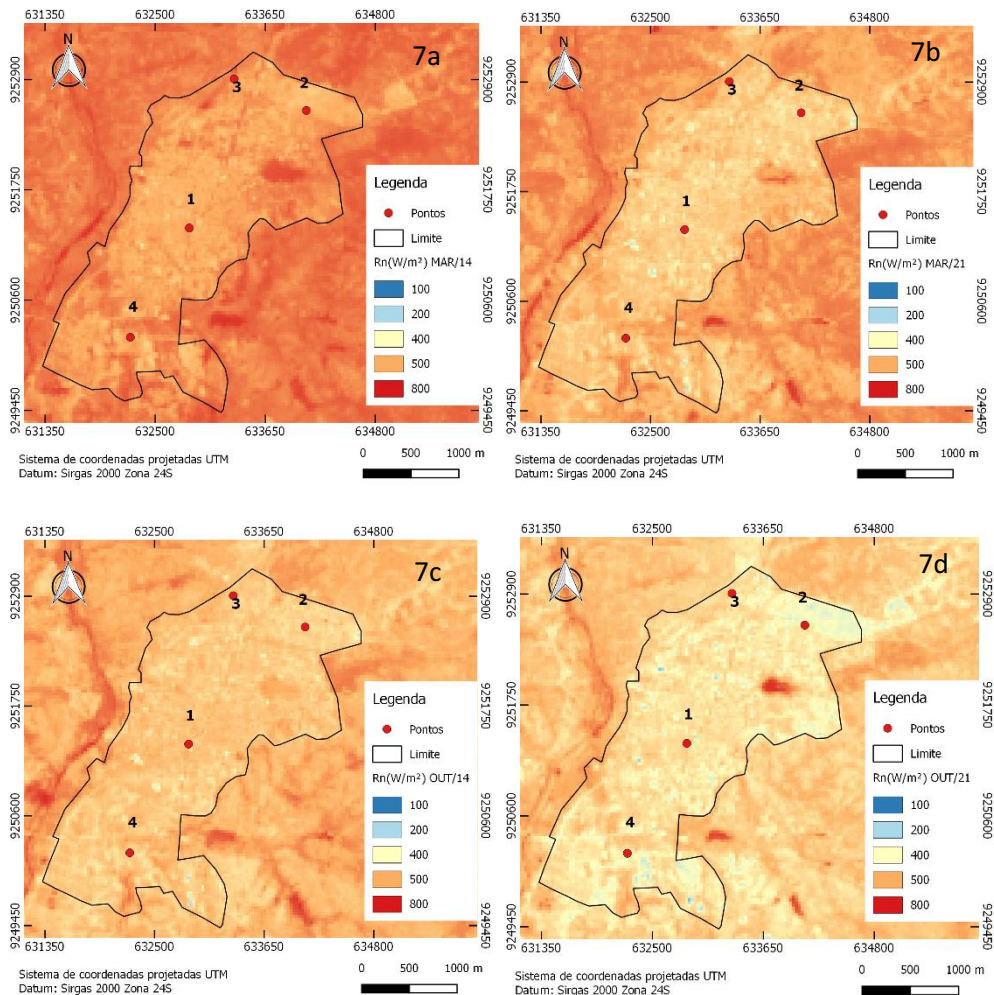


Fonte: autoria própria

Observando a figura 7, o saldo de radiação (R_n) variou entre 454 W/m^2 e 578 W/m^2 , havendo uma diminuição dos valores na área dentro e fora do perímetro. Na área de estudo a diferença em março foi de 225 W/m^2 . Percebe-se que houve uma diminuição do saldo de radiação de 2014 para 2021, supondo que o Balanço de Onda Curta (BOC), contribuição do Sol, se manteve constante,

o que pode ter aumentado é o Balanço de Onda Longa (BOL), que pode ser a resposta ao maior aquecimento superficial, devido a substituição da vegetação por solo exposto ou concreto.

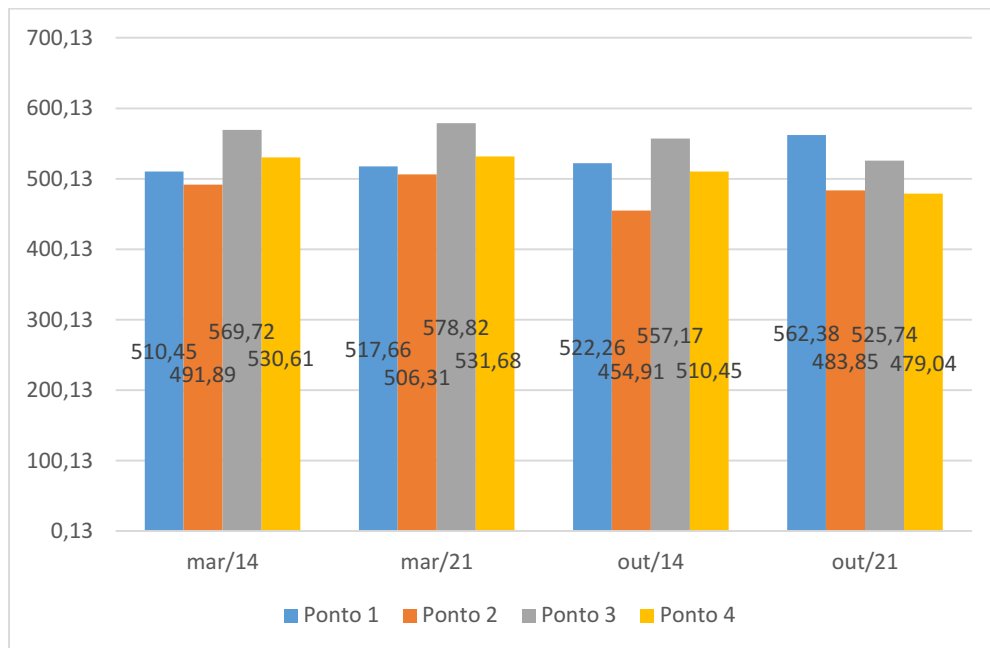
Figura 7 Saldo de radiação (R_n) do perímetro urbano do município de Pombal-PB dos meses: a) 03/2014, b) 03/2021, c) 10/2014, d) 10/2021



Fonte: autoria própria (2022)

Pontualmente, observando a figura 8 percebe-se que os valores do saldo de radiação em março houve um aumento de R_n nos quatro pontos. Já em outubro, nos pontos 1 e 2 o aumento de R_n continuou, mas nos pontos 3 e 4 houve uma diminuição do saldo. Isso corrobora com o discutido no mapa da Figura 7, pois houve a diminuição nas áreas dos pontos onde houve maior antropização com o decorrer dos anos.

Figura 8 Saldo de radiação do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB

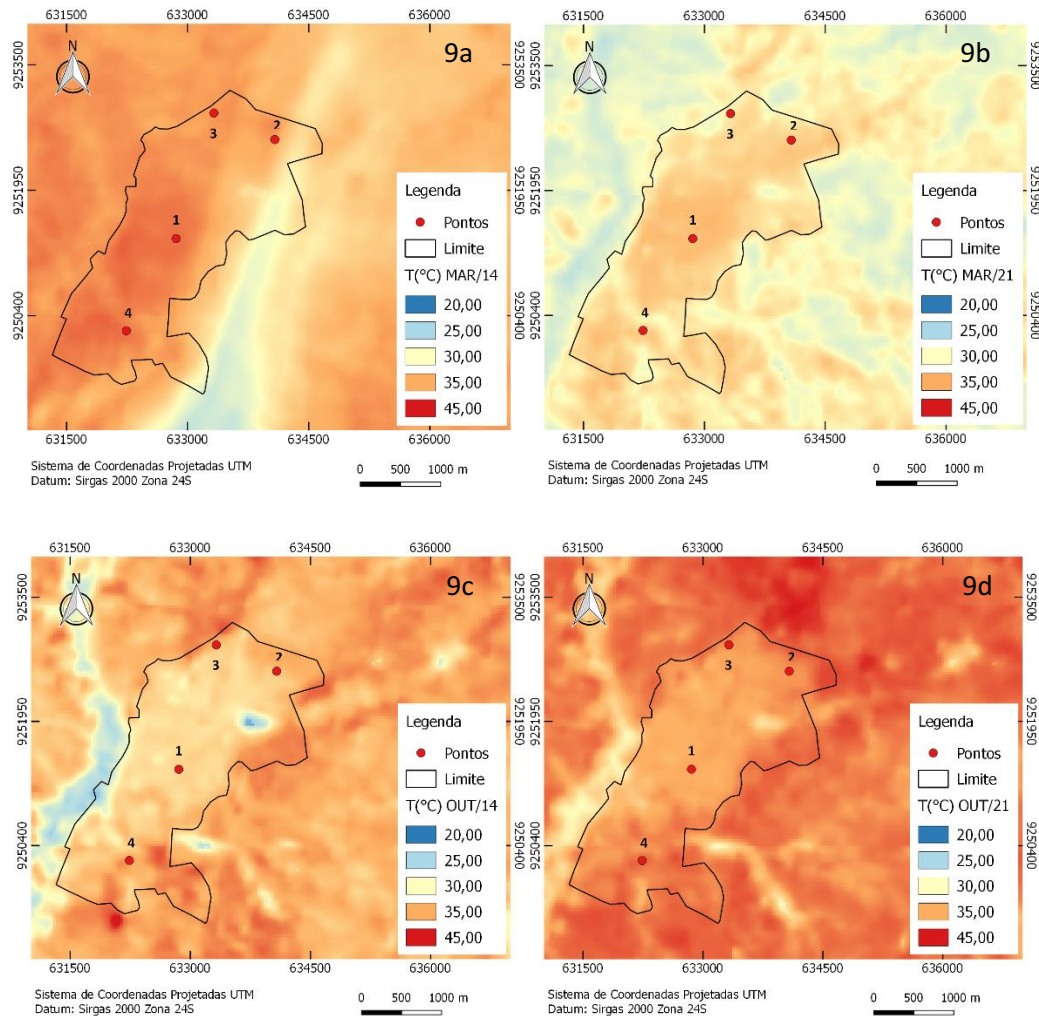


Fonte: autoria própria

Na figura 9 estão apresentados os mapas com a temperatura da superfície terrestre (TST), obtidas através das imagens do Landsat 8. Os valores foram mensurados na escala Kelvin pelo algoritmo Sebal e transformadas em Celsius com o auxílio da calculadora Raster. De modo geral foram observadas variações de temperatura entre 22°C e 40°C, sendo que o mês de março de 2014 apresentou problemas, devido a presença de nuvens. Comparando o mês de outubro de 2021 houve um aumento da temperatura que corrobora com o NDVI e SAVI, pois indica um aumento de TST que resulta da substituição da cobertura da vegetação do solo por solo exposto, por novos loteamentos, ou por calçamento dos novos loteamentos.

Figura 9 TST do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB dos meses:

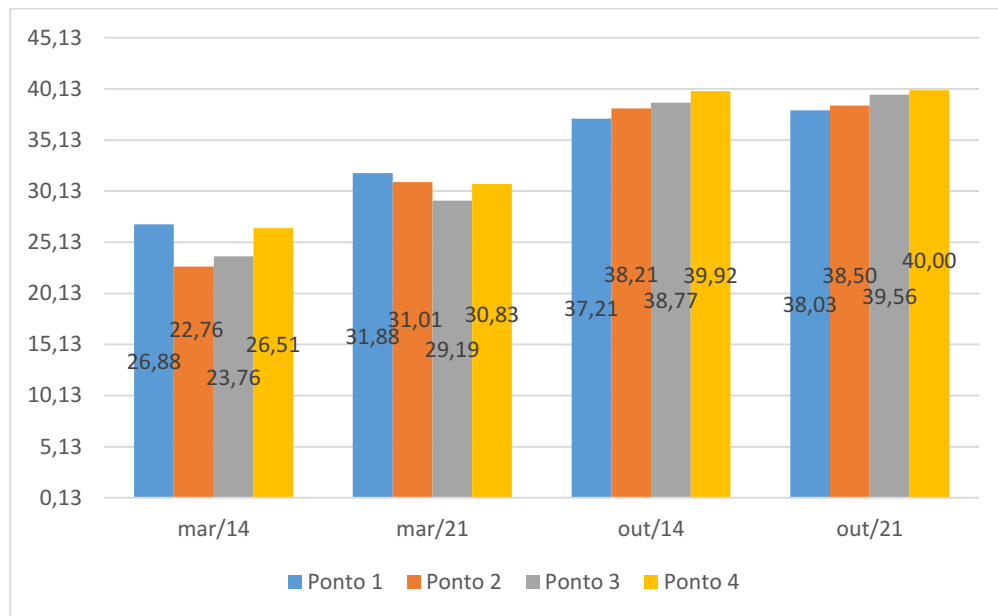
a) 03/2014, b) 03/2021, c) 10/2014, d)10/2021



Fonte: autoria própria

Na figura 10 observa-se que os valores de temperatura de superfícies dos pontos escolhidos para análise, o mês de março teve uma diferença significativa entre os anos observados, mas que não pode-se confiar por causa das nuvens. O mês de outubro teve valores muito próximos entre os dois anos. No entanto, mesmo 2014 sendo um ano de seca e considerado um ano bastante quente, a TST do ano de 2021 foi mais quente que a de 2014 em ambos os meses, o que mostra que houve uma alteração na cobertura da superfície.

Figura 10 TST do perímetro urbano da cidade de Pombal-PB



Fonte: autoria própria

6 CONCLUSÕES

Foram obtidos a partir das imagens de satélite, com a menor interferência de nuvens, os mapas de NDVI, SAVI, Saldo de Radiação e Temperatura da Superfície Terrestre dos meses de março, representando o período chuvoso, e de outubro representando o período seco, dos anos de 2014 e de 2021.

O índice de NDVI apontou uma leve redução dos valores obtidos pelos pontos definidos, mostrando que houve uma perda de vegetação no intervalo dos anos, principalmente nos bairros mais distantes, mostrando a supressão da vegetação.

O índice do SAVI serviu como fator de correção do NDVI, apontando valores similares e mesmo comportamento de diminuição da vegetação.

A temperatura de superfície terrestre mostrou melhores resultados ao analisarmos os impactos causados pelo crescimento deste município, mostrando um aumento da TST comprovando que houve alteração da cobertura do solo.

O saldo de radiação (R_n) mostrou uma queda justamente nas áreas com modificação do uso do solo, que pode ser a resposta ao maior aquecimento superficial, devido a substituição da vegetação por solo exposto ou concreto, nos bairros onde estão os novos loteamentos.

O avanço da urbanização impacta diretamente na perda de vegetação nativa que por sua vez pode alterar substancialmente o Saldo de Radiação. Se este quadro persistir, ou seja, o constante crescimento da cidade de Pombal, provavelmente o microclima local será alterado.

REFERENCIAS

BARBOZA, Eliezio Nascimento; NETO, Francisco das Chagas Bezerra; CAIANA, Clarice Ribeiro Alves. Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza, Ceará. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e57973731-e57973731, 2020.

BASTIAANSSEN, Wim GM et al. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, v. 212, p. 198-212, 1998.

CORDEIRO, Ana Paula Assumpção et al. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. *Ciência Florestal*, v. 27, p. 883-896, 2017.

DE SOUSA, Paulo Edson Cordeiro et al. O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NA CIDADE DE POMBAL–PB E SEUS IMPACTOS NO AÇUDE NOVA VIDA: PROPOSTA DE MEDIDAS PARA SUA REVITALIZAÇÃO. III SEMINÁRIO DE GEOGRAFIA DO SEMIÁRIDO, p. 177.

GAMEIRO, S. et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. *Revista Terræ, Campinas*, v. 13, p. 15-22, 2016.

MACEDO, Luana Ribeiro. Cenários de urbanização e seus impactos nas variáveis atmosféricas que contribuem para formação de ilha urbana de calor na Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MASULLO, Yata AG; SANTOS, José de RC. Geoprocessamento aplicado a análise do avanço do processo de urbanização e seus impactos ambientais na ilha do maranhão. In: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belo Horizonte-MG. 2014.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

ROSA, Andressa Ferreira. Os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico no município de Patrocínio-MG. 2017.

PESSANHA, M. dos S. et al. Saldo de radiação estimado pelo algoritmo SEBAL em área urbana, Santa Cruz, RJ. In: Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 20., 2018, Maceió. Desafios do monitoramento meteorológico: anais. Maceió: UFAL, 2018. p. 3775-3786., 2018.

SEDIYAMA, Gilberto Chohaku et al. Evapotranspiração regional utilizando o SEBAL em condições de relevo plano e montanhoso. Revista Engenharia na Agricultura-REVENG, v. 17, n. 6, p. 491-503, 2009.

SIQUEIRA, Flávia Regina Pereira Santos de et al. Efeito da urbanização no balanço de energia da superfície por sensoriamento remoto em Várzea Grande-MT. 2019.

SILVA, Elisabeth Regina Alves Cavalcanti et al. A transformação da natureza e as potencialidades do monitoramento ambiental na Lagoa Urbana Olho D'Água-PE: os desafios da complexa relação entre desenvolvimento urbano e a conservação de ambientes naturais. Guaju, v. 3, n. 2, p. 32-64, 2017.

VASCO, Anderson Nascimento; NETTO, Antenor de Oliveira Aguiar; DE SOUSA, Inajá Francisco. Determinação do balanço de radiação com auxílio de imagens orbitais na Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré, Sergipe. Scientia Plena, v. 9, n. 4, 2013.

WOLFF, W. 2016. Script to calculate daily evapotranspiration for Landsat 8 images in GRASS GIS. Disponível em: <http://doi.org/10.5281/zenodo.167350> [acessado em 27 de julho de 2022]