



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

ANÁLISE DOS IMPACTOS DA SECA NO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB

JOSÉ DIOGENES ALVES PEREIRA

Pombal - PB

2020

JOSÉ DIOGENES ALVES PEREIRA

ANÁLISE DOS IMPACTOS DA SECA NO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador(a): Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira

Pombal - PB

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JOSÉ DIOGENES ALVES PEREIRA

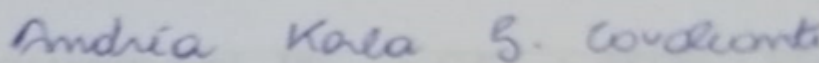
ANÁLISE DOS IMPACTOS DA SECA NO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB

Aprovado em: 10/ junho/ 2020

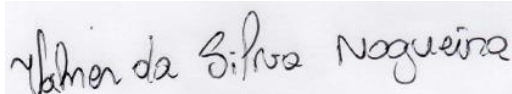
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira
Orientadora – UACTA/CCTA/UFCG



Msc. Andréa Karla Gouveia Cavalcanti
Examinadora Interna - UACTA/CCTA/UFCG



Dr. Valner da Silva Nogueira
Examinador Externo – Mais Verde Corporação, CNPJ: 32591011/0001-80

Pombal – PB

2020

P436a Pereira, José Diogenes Alves.
Análise dos impactos da seca no município de Sousa-PB / José Diogenes
Alves Pereira . – Pombal, 2020.
51 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia
Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências
e Tecnologia Agroalimentar, 2020.

"Orientação: Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira".
Referências.

1. Geoprocessamento. 2. Evapotranspiração. 3. Uso e ocupação do solo.
4. Seca no Nordeste. 5. WSVI. I. Nogueira, Virgínia de Fátima Bezerra. II.
Título.

CDU 528.8(043)

*A meus pais, Djalma Alves Pereira e
Maria Marlice Pereira por terem
sempre acreditado em mim durante
toda esta caminhada.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me permitir lutar até o fim.

A meus pais, Djalma Alves Pereira e Maria Marlice Pereira, e a minha família por sempre estarem me apoiando nesta expressiva jornada. A minha namorada Jaqueline Jardel Lopes que sempre acreditou em mim.

Agradeço também a todos os meus amigos que me ajudaram durante todo o curso de Engenharia Ambiental, como Fernando, Lucas, Luziany e Thalyta que são como irmãos para mim, presentes que a vida me deu, aos integrantes do quarto 15 do passado com meus amigos Airton Gonçalves, Jean Paiva e Samuel Moura, e aos integrantes do presente Ruy, Rudson e Renan.

Ao Sebastião, a Ana Marinho, Andréa Karla e aos professores Michel Barros, Jussara Silva Dantas, Rosinete Batista, Gustavo Salles, Paulo Pamplona, Fernanda Costa, Aline Ferreira, Sinara Martins e a minha orientadora Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira.

*“Se me for permitido vencer, não me importo
em passar o resto da minha vida lutando.”*

(Anônimo)

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo determinar e analisar os impactos causados pela seca, de 2012 a 2017, no município de Sousa-PB analisando o período subsequente à seca. Os dados utilizados foram fornecidos pelo INMET, USGS, IBGE e DNOCS, processados no Ref-ET e no software livre Qgis 2.14. Foram geradas espacializações multitemporais da área de uso de ocupação do solo e os índices de sensoriamento remoto: NDVI, TST e WSVI. As análises foram realizadas tendo como referência o ano de 2008 (ano bastante chuvoso) em comparação aos anos de 2018 e 2019, período pós-seca, buscando identificar as transformações espaciais que ocorreram no município. Conclui-se que a seca modificou o território e que de uma forma direta impactou o meio ambiente, seja por estresses gerados pela escassez hídrica ou pela ocorrência de incêndios florestais (naturais ou antropogênicos) favorecidos pela vegetação seca, baixa condição hídrica e de umidade no solo. Isso ressoou na produtividade agrícola municipal e, por conseguinte na esfera econômica e social. Os agricultores tiveram produções limitadas e em declínio, e as pessoas que residem na zona urbana foram submetidas a racionamentos de água que resultaram em condições adversas na economia.

Palavras-chave: WSVI, geoprocessamento, Evapotranspiração, Uso e ocupação do Solo.

ABSTRACT

This study aims to determine and analyze the impacts caused by drought, from 2012 to 2017, in the municipality of Sousa-PB, analyzing the period following the drought. The data used were provided by INMET, USGS, IBGE and DNOCS, processed in Ref-ET and in the free software Qgis 2.14. Multitemporal spatialization of the land use area and remote sensing indexes were generated: NDVI, TST and WSVI. The analyzes were carried out with reference to the year 2008 (very rainy year) compared to the years 2018 and 2019, the post-drought period, seeking to identify how spatial transformations occurred in the municipality. It was concluded that a modified or terrestrial drought and a direct impact on the environment, whether due to stresses generated by water scarcity or the occurrence of forest fires (natural or anthropogenic), are preferred by drought alone. This affects municipal agricultural research and, consequently, in the economic and social sphere. Farmers had limited and declining production, and people residing in the urban area were subjected to water scarcity that resulted in adverse conditions in the economy.

Keywords: WSVI, geoprocessing, evapotranspiration, Land Use and Occupation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. Clima Brasileiro	15
3.2. Secas no Nordeste	16
3.3. Índices NDVI, TST, WSVI e Uso e Ocupação do Solo	18
3.4. Evapotranspiração	19
3.4.1. Métodos para calcular a Evapotranspiração	20
3.5. Ref-ET.....	20
4. METODOLOGIA.....	21
4.1. Local de estudo	21
4.2. Processamento digital de imagens	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6. CONCLUSÃO.....	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Climas brasileiros	15
Figura 2. Mapa da espacialidade das temperaturas e umidades no país.....	16
Figura 3. Mapa de localização do município de Sousa no estado da Paraíba	22
Figura 4. Perímetro irrigado de São Gonçalo, Sousa, Paraíba.....	22
Figura 5. Fluxograma do processo metodológico para obtenção dos índices	26
Figura 6. Gráfico das temperaturas mensais de 2008, 2018 e 2019.....	29
Figura 7. Mapa de uso e ocupação do solo do município de Sousa-PB em 2008....	32
Figura 8. Áreas ocupadas no município de Sousa-PB em 2008.....	32
Figura 9. Mapa de uso e ocupação do solo do município de Sousa-PB em 2018....	33
Figura 10. Áreas ocupadas no município de Sousa-PB em 2018.....	34
Figura 11. Mapa de uso e ocupação do solo do município de Sousa-PB em 2019..	35
Figura 12. Áreas ocupadas no município de Sousa-PB em 2019.....	36
Figura 13. Recorte de um dos focos de incêndio em 2019	37
Figura 14. NDVI do município de Sousa-PB em 2008.....	38
Figura 15. NDVI do município de Sousa-PB em 2018.....	39
Figura 16. NDVI do município de Sousa-PB em 2019.....	40
Figura 17. Mapa de TST do município de Sousa-PB em 2008.....	41
Figura 18. Mapa de TST do município de Sousa-PB em 2018.....	42
Figura 19. Mapa de TST do município de Sousa-PB em 2019.....	43
Figura 20. WSVI do município de Sousa-PB em 2008	44
Figura 21. WSVI do município de Sousa-PB em 2018	45
Figura 22. WSVI do município de Sousa-PB em 2019	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperaturas máximas e mínimas mensais nos anos de 2008, 2018 e 2019	28
Tabela 2. Temperaturas médias mensais máximas e mínimas de 1988 a 2012	29
Tabela 3. Chuvas mensais e totais em Sousa-PB nos anos de 2008, 2018 e 2019.	30
Tabela 4. Chuvas mensais climatológicas, de 1988 a 2012	31
Tabela 5. Incêndios florestais registrados pelo corpo e bombeiros de Sousa-PB em 2019	36
Tabela 6. Evapotranspirações potenciais mensais médias de Sousa-PB	47
Tabela 7. Evapotranspirações potenciais mensais de Sousa-PB	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

ABREVIATURAS

hab - Habitantes

m - Metros

ETO - Evapotranspiração Potencial

mm - Milímetros

SIGLAS

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

REF-ET - Reference Evapotranspiration Calculator

TST - Temperatura da Superfície Terrestre

WSVI - Índice de Vegetação Abastecida de Água

SIMBOLOS

°C - Grau Celsius

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais e possui uma grande variabilidade climática e diversidades fisiográficas. Segundo Marengo (2010), a Região Nordeste do Brasil detém 1.600.000 km² do território nacional e cerca de 62% de sua área se encontra dentro do Polígono das Secas, que implica em menores índices pluviométricos característicos do clima semiárido. Vários municípios do Nordeste se encontram em condições adversas, com falta de água e tendo ocorrências de chuvas abaixo dos 800mm anuais. O clima semiárido se encontra espalhado por cerca de 86% da área da região nordeste onde vivem 30 milhões de pessoas aproximadamente, o que corresponde a 15% da população brasileira, sendo, portanto, a região seca mais habitada do mundo (Marengo, 2010).

As secas que o nordeste enfrenta vêm sendo foco de muitos estudos ao longo dos anos que visam compreender e se programar para lidar com as eventualidades que o clima proporciona em cima destes pontos, com muitas relatividades, que derivam desde efeitos econômicos a mortalidade de pessoas se observada pela seca de 1777 que ocasionou a morte de milhares de nordestinos, afetando também a agricultura e a pecuária de subsistência. (Campos e Studart, 2001).

Como fenômeno natural a seca é considerada um evento severo, de intensas influências que resultam em danos materiais e humanos, ao ponto de serem chamados de desastres ambientais e sociais, causando prejuízos socioeconômicos. Assim, o Nordeste Brasileiro é reconhecido como uma área de alta vulnerabilidade a fatores climáticos, principalmente nas regiões semiáridas apontando para um quadro de risco as sociedades. Um dos principais fatores de risco na linha semiárida está ligado também a infraestrutura, que em sua ausência propicia a intensificação dos impactos causados pela seca (Silva, Medeiros e Patrício, 2013).

Por outro lado os efeitos se arrastam sobre as produções agrícolas que detém significativas quedas de produtividade em suas culturas e que em algumas regiões as culturas alcançam cerca de 30 por cento do potencial produtivo devido às limitações que as secas impõem em outros cenários ocorrem perdas totais de suas produtividades, o que abrange efeitos na sociedade, os quais interagem até mesmo com municípios e perfis culturais de determinadas regiões (Cavalcanti, 1996).

Neste contexto são perceptíveis como às vulnerabilidades sociais estão ligadas aos efeitos da seca, onde seu monitoramento é baseado em estudos que proporcionam o entendimento necessário e possibilita antever e lidar com os impactos que ocorrem ou que podem ocorrer na vida das populações dos municípios atingidos (Nys, Engle e Magalhães, 2016).

Historicamente a gestão de como se lidar com a seca é algo político. No século XX se inaugurou uma nova forma de gerir cenários de seca a qual o governo combatia as eventualidades com base em comissões, que com o tempo foram encerradas por não terem desempenhos satisfatórios. Com os avanços na gestão de recursos hídricos foi focado em pontos realmente relevantes e essenciais e estes aprimoramentos foram os formadores do atual Departamento de Obras Contra as Secas – DNOCS (Suassuna, 2007).

Ultimamente para se detectar a seca e a sua severidade são utilizados índices o para monitoramento, baseados em variáveis como temperatura, evaporação, precipitação, umidade no solo, vazão e evapotranspiração. A geração e utilização desses índices de forma apropriada dependem do esforço coordenado de diversos indivíduos, instituições e sistemas de dados, que em conjunto expressam a realidade. Tais informações são importantes para a geração de estudos e aplicabilidade deles na gestão e preparação para as secas. O que proporciona as bases que estruturam o monitoramento e a previsão de situações críticas, avaliando as vulnerabilidades, podendo assim criar medidas de planejamento e mitigação dos impactos causados pelas secas (Nys, Engle e Magalhães, 2016).

Seja a seca tratada como um problema ou uma eventualidade climática, deter uma visão clara do que esta ocorrendo, é necessário para que sejam tomadas ações devidas, que podem vir a contribuir para a salva guarda das populações não somente do nordeste, mas do planeta, que se encontram sujeitos às condições que a seca impõe (Campos e Studart, 2001).

O presente trabalho busca analisar os impactos causados pela seca severa que perdurou por quase seis anos consecutivos, de 2012 a 2017, na cidade de Sousa usando um ano chuvoso como referência (2008), e determinar como essa seca interferiu no município, usando o geoprocessamento para analisar o uso e ocupação do solo dos anos subsequentes à seca.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar os impactos causados pela seca, de 2012 a 2017, no município de Sousa-PB, analisando o território no período subsequente a seca.

2.2. Objetivos Específicos

- Gerar uma espacialização da zona urbana, áreas vegetadas úmidas, secas e de corpos hídricos no município nos anos de 2008, 2018 e 2019;
- Realizar uma análise multitemporal do uso e ocupação do solo destes anos;
- Analisar as chuvas mensais e anuais dos três anos;
- Realizar uma análise multitemporal das temperaturas máximas e mínimas mensais;
- Obter a evapotranspiração através de diferentes métodos, nos anos de 2008, 2018 e 2019.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

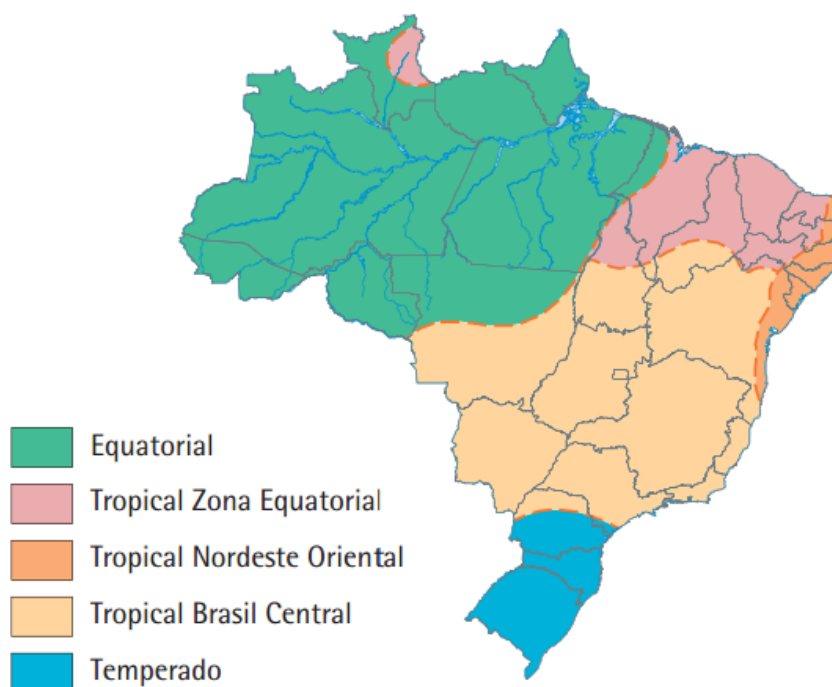
3.1. Clima Brasileiro

O Brasil é um país denotado pelas suas características tropicais, devido a sua localização geográfica, conferindo ao país aspectos endêmicos particulares. Possui uma relevante luminosidade, variabilidades de temperaturas e índices pluviométricos singulares, devido ao país apresentar uma vasta extensão territorial na faixa de maior recebimento de energia solar do Planeta - Faixa intertropical.

Segundo o IBGE (2002) o território nacional se encontra dividido em cinco zonas climáticas como descritas na Figura 1.

Figura 1. Climas brasileiros

Climas zonais



Fonte: IBGE, 2002. Adaptado pelo autor.

Cada zona citada acima possui características endêmicas de sua localidade e na Figura 2 é possível observar a relação que a temperatura detém com a umidade ou a ausência da mesma.

Figura 2. Mapa da espacialidade das temperaturas e umidades no país



Fonte: IBGE, 2002. Adaptado pelo autor.

Dentro deste contexto o Nordeste Brasileiro possui uma variabilidade climática moldada por padrões oceânicos e atmosféricos de grande escala e que podem agir conjuntamente devido a processos naturais que ocorrem nos Oceano Pacífico e Atlântico tropicais, como exemplos se tem o El Niño que é caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais do oceano pacífico tropical equatorial, bem como se tem o La Niña caracterizado pela diminuição anômala das temperaturas das águas superficiais do oceano pacífico tropical equatorial.

3.2. Secas no Nordeste

A realidade nordestina é caracterizada pela seca, que, segundo Campos e Studart (2001), pode ser definida em quatro tipos: climatológica, por possuir causas primárias de grande escala global em um dado tempo e espaço a qual existe uma deficiência nas chuvas totais em relação aos padrões normais; seca edáfica, que é decorrente da seca climatológica, é aquela que tem como motivadores básicos a irregularidade das chuvas e por uma constituição baixa da umidade de forma singular; já a seca social, que surge devido agentes da seca edáfica, é aquela que causa estresses e transtornos econômicos expondo populações a êxodos em busca

de melhores condições de vida; e por último tem-se a seca hidrológica denotada pela super exploração dos recursos hídricos e de seus efeitos de baixos escoamentos das águas superficiais. A Região Nordeste detém condições adversas pela periodicidade das secas em seu território, este tipo de seca é entendida como a seca dos contingentes de água reservados (seca hidrológica) que são insuficientes ou com volumes em déficit para as subsistências locais (Campos e Studart, 2001).

Já Santos (2007) classifica a seca em quatro tipos: seca meteorológica que é caracterizada por baixas precipitações durante um significativo intervalo temporal; seca hidrológica que é denotada pela insuficiência de recursos hídricos na superfície e subsuperfície; seca agrícola que ocorre na condição de déficit hídrico capaz de afetar o desenvolvimento de culturas; e a seca socioeconômica que é a consequência dos demais tipos de secas, caracterizada pela estagnação econômica e pela pobreza.

A compreensão desses tipos de secas geram estudos que proporcionam um melhor entendimento de áreas para atuações, dentre essa relevância se tem o comportamento da seca e seus efeitos nas sociedades e formas de se lidar a seca para proporcionar bem estar as populações que sofrem pelas as adversidades que elas ocasionam. Os Melo, Pereira e Neto (2009) em seu estudo analisaram a atuação do estado brasileiro quanto ao combate a seca a qual foi verificado que o governo levanta inúmeras informações com base em pesquisas realizadas, para proporcionar uma tomada devida de decisão em sua gestão.

Para Campos e Studart (2001) existem soluções convencionais e não convencionais para que seja alcançada uma tomada de decisão bem como ações em períodos de seca. As soluções convencionais têm uma atuação direta da gestão que devem compreender cenários e situações específicas de áreas para tomar ações efetivas, onde suas resultantes ocasionem benefícios às populações que dependem dos recursos hídricos, com o foco no controle sobre água.

Como soluções não convencionais se têm, ações precipitadas ou até mesmo drásticas para que assim seja possível lidar com a seca desde introduções de espécies mais resistentes ao estresse hídrico como camelos onde essa medida foi proposta e tomada no passado por volta de 1859 no nordeste brasileiro, outras soluções como explosão de rochas no cristalino para armazenar águas subterrâneas e construções de açudes nas nascentes das bacias hidrográficas (Campos e Studart, 2001).

Dentre estas soluções apontadas a primeira ferramenta utilizada foi a açudagem, que estabilizou contingentes de água em áreas que anteriormente não tinha facilidade ao acesso a este recurso vital a vida, e como segunda ferramenta se teve a transposição de bacias hidrográficas, transposições que realocavam parcelas de água de cursos maiores com a finalidade de abastecimento em regiões críticas ou de grande potencial agrícola. Também são utilizadas as adutoras que diferente das demais soluções citadas possuem instalações e custeios mais viáveis (Campos e Studart, 2001).

3.3. Índices NDVI, TST, WSVI e Uso e Ocupação do Solo

A classificação de imagens padroniza critérios para que assim seja possível uma análise dos constituintes presentes em determinada área, a qual essa melhoria da visualização se dá por propriedades como sombras, estruturas, tonalidades, cores, texturas e homologia que são inerentes a objetos alvos na área de estudo. (Meneses e Almeida, 2012).

Com a utilização da aritmética de bandas e classificação de imagens é possível à geração de informações de índices e dados de uso e ocupação do solo, que são utilizados em vários estudos com a finalidade de compreender realidades de utilização dos espaços e seus efeitos.

Rezende et al (2017) utilizaram um modelo para o mapeamento de áreas urbanas com risco de inundações, utilizando informações diretamente ligadas a permeabilidade e escoamento superficial pela ocupação da área da cidade de Paracatu-MG.

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) segundo Almeida (2015), mapeia tanto a presença ou ausência de vegetação em determinadas áreas como também possibilita a quantificação de vegetação por cada pixel. O índice varia entre -1 a +1 o qual quanto mais vegetada for uma área mais próximo de um e quanto menos vegetada a tendência é se aproximar de um negativo.

Este índice possui inúmeras aplicações em estudos que analisam estados de degradação vegetal presentes em micro bacias hidrográficas, compreendendo a densidade da cobertura vegetal e suas alterações. Tais empregos acompanham as transformações espaciais de forma dinâmica. (Melo, Sales e Oliveira, 2011).

O índice TST (Temperatura da Superfície Terrestre) é amplamente utilizado em trabalhos científicos. Essa estimativa foi aplicada no estudo de Menezes et al (2015), que utilizaram o índice em seu estudo para determinar as temperaturas do município de Nova Iguaçu-RJ, onde o estudo observou a distribuição das temperaturas presentes na área municipal.

Segundo Alshaiikh (2015) outro índice utilizado com sensoriamento remoto é o WSVI (*Water Supplying Vegetation Index* - Índice de Vegetação Abastecida de Água) é um índice que aponta à presença acentuada de água nas vegetações onde o índice varia de -4 a +4. Valores que se aproximam de -4, são de vegetação com pouca umidade e valores que se aproximam de +4 representam áreas mais úmidas.

Elhang (2014) aplicou o WSVI juntamente com índices de vegetação e realizou uma análise de sensibilidade da vegetação e umidade para compreender o comportamento de uma área criando um modelo base para à previsão e ao suporte a decisão.

Já Rosalena et al (2019) realizou um estudo utilizando o WSVI no distrito de Bogor na Indonésia, com a finalidade de apoio a gestão de recursos hídricos, a qual compreendeu cenários de seca em prol da sustentabilidade da disponibilidade de água especialmente no distrito analisado e qual era chamado de cidade das chuvas.

3.4. Evapotranspiração

É o processo natural na qual ocorre o transporte simultâneo de água por evaporação, onde a mesma está presente no solo e nas plantas pela parcela sobre as mesmas, bem como pela transpiração natural da planta.

Considerando condições inerentes e endêmicas das áreas, a exemplo de tamanho de áreas vegetadas, tipos de vegetações, suprimentos pluviométricos que incidem diretamente na quantidade de água no solo tanto quanto nas plantas.

A evapotranspiração, segundo Camargo (1997), é considerada um elemento meteorológico tão importante quanto a precipitação pluvial, que abrange o balanço de elementos opostos, observados no complexo solo e vegetações evidenciada como um fator presente do balanço hídrico climático.

A evapotranspiração potencial (ET_p) é mensurada com base apenas em variáveis meteorológicas sobre critérios de vegetação rasteira onde normalmente se utiliza gramado para o revestimento do solo com uma altura entre 8 e 15 cm, sem

restrição hídrica com a área de levantamento das informações, onde o gramado como cultura de referência mais variáveis do clima como saldo de radiação, temperatura, velocidades dos ventos e umidade relativa resultam na ETp (Doorenbos e Pruitt, 1977; Allen et al., 1998).

3.4.1. Métodos para calcular a Evapotranspiração

O método de Penman Monteith é um pressuposto físico que considera que a ETp é um produto de condições energéticas e aerodinâmicas, as quais são regidas por resistências ao transporte de vapores as superfície terrestre até a atmosfera. (Pereira, Angelocci e Sentelhas, 2002).

Tal método se baseia em processos físicos incorporados a parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos, utilizando informações de radiação solar, velocidade dos ventos, tipo de cultura vegetada, densidade da mesma, todos os fatores que afetam a evapotranspiração (Alencar, et al, 2015).

A qual vários estudos utilizam essa estimativa para inúmeras finalidades como em estudos agrícolas para otimização de produções.

O método de Hargreaves & Samani é um método empírico que foi desenvolvido para regiões de clima seco, que se baseia na amplitude térmica e na temperatura média do ar, e possui como vantagem a aplicabilidade em climas áridos e semiáridos, tal como o nordeste brasileiro, o método é capaz de mensurar a ETp (Hargreaves e Samani, 1985).

Dentre as inúmeras aplicações do método, se teve o estudo de Araújo et al (2007), que realizou uma análise comparativa de diversos métodos de mensuração da evapotranspiração, a qual um desses métodos era justamente o de Hargreaves & Samani em Boa Vista, Capital de Roraima, apresentando como resultados informações para um melhor manejo da irrigação na região.

3.5. Ref-ET

O Ref-ET é um software livre que calcula a evapotranspiração de referência que é definida pela quantidade de água que a vegetação transpira e a que o solo evapora, o termo de referência se dá pela padronização da medida como uma base.

A qual o software foi criado por Richard Allenem em parceria com a Universidade de Idaho nos Estados Unidos que padronizou a evapotranspiração

calculada em quinze métodos mais comuns utilizados nos Estados Unidos da América e na Europa, onde suas operações lidam com informações de dados meteorológicos (Universidade de Idaho, 2020).

Em estudos o Ref-ET é utilizado para estimativas de evapotranspiração para diversas finalidades, a exemplo do estudo de Flumignan et al (2016) que utilizou a calculadora com o objetivos de:

- Entender a dinâmica temporal mês a mês dos valores de ETo;
- para compreender valores descendais de ETo para utilizá-los na linha de conhecimento de zoneamento agrícola de riscos climáticos;
- e como o perfil aerodinâmico e radiação contribuíam para as taxas evapotranspirativas.

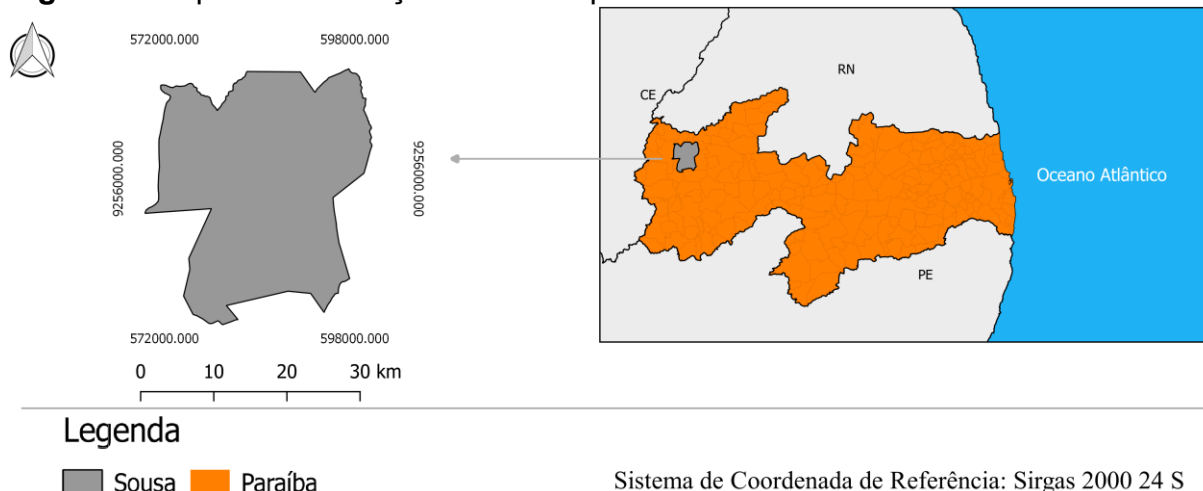
O software tem dois objetivos principais, o primeiro é o fornecimento de resultados padronizados de evapotranspiração em cima de vários métodos para fins de comparação e o segundo é para verificações casuais, para se chegar aos resultados calculados na qual o software inclui algoritmos e suposições normalmente utilizadas necessárias para determinação destas estimativas evapotranspirativas (Universidade de Idaho, 2020).

4. METODOLOGIA

4.1. Local de estudo

O município de Sousa localizado no interior do estado da Paraíba possui, segundo o IBGE (2010), uma densidade demográfica de 89,10 hab/km² e uma população estimada em 69,444 habitantes e uma unidade territorial de 738,54 km². Detentor do bioma Caatinga, na Figura 3 encontra-se o mapa de localização da área de estudo.

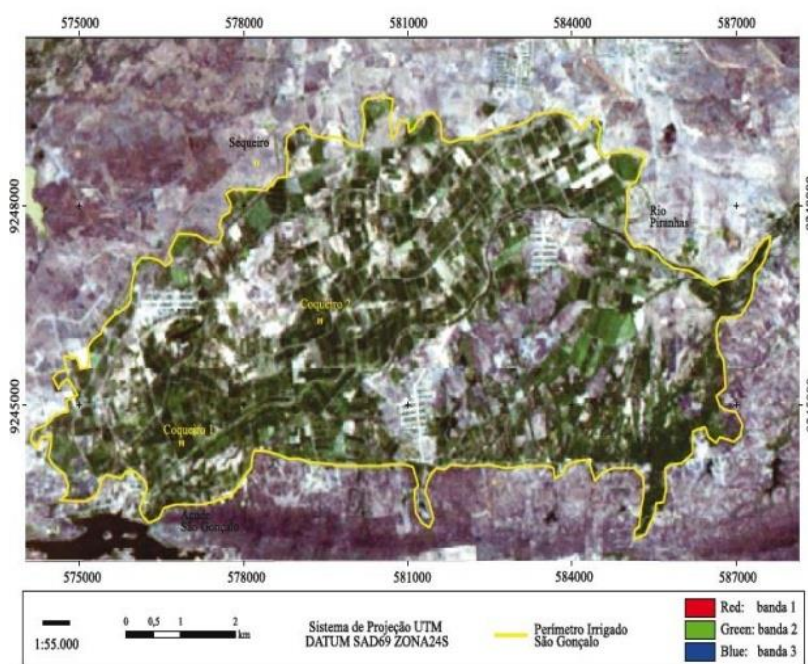
Figura 3. Mapa de localização do município de Sousa no estado da Paraíba



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo IBGE 2015.

Ainda compreendendo o território, o município possui uma referida produção agrícola de seletas culturas a exemplo do plantio de coco que com o passar dos anos sofreram tanto quanto as secas prolongadas como a salinização dos solos. Na Figura 4, esta plotado o perímetro irrigado de São Gonçalo no dia 01 de novembro de 2008, a qual a imagem detém sua data de captação no mesmo mês que o ano base do presente estudo, ano este referência por ter detido elevadas precipitações.

Figura 4. Perímetro irrigado de São Gonçalo, Sousa, Paraíba



Fonte: Silva et al. (2012).

Esta área irrigada é significativa para o estudo devido às produções na área ocorrerem com base na irrigação, onde as águas que abastecem as culturas locais são provenientes do Açude de São Gonçalo que se localiza parcialmente dentro do município de Sousa-PB.

4.2. Processamento digital de imagens

Em seguida foi utilizado o software livre Qgis 2.14 para o processamento das imagens do satélite LandSat 5 do dia 17 de novembro de 2008 e LandSat 8 do dia 15 de dezembro de 2018 e do dia 16 de novembro de 2019 a qual os satélites capturaram a imagem nos respectivos horários de 12:24:47, 12:41:19 e 12:41:46. Estas imagens foram processadas e por meio da classificação de imagens realizada pelo PluginSPC - *Semi-automatic Classification Plugin* presente no Qgis foram gerados três mapas de uso e ocupação do solo do município de Sousa nos anos de 2008, 2018 e 2019, para visualizar como a seca incidiu sobre o território, estes mapas compreendem as seguintes classes:

No ano de 2008 e 2018:

- Área urbana;
- Vegetação úmida;
- Vegetação seca;
- Solo exposto e;
- Corpos hídricos.

No ano de 2019:

- Área urbana;
- Vegetação úmida;
- Vegetação seca;
- Solo exposto;
- Corpos hídricos e;
- Focos de Calor.

Respectivamente a cada mapa de uso e ocupação do solo foram gerados gráficos que indicam as porcentagens de cada uso citado acima nos referidos anos

para que fossem analisadas as frações percentuais em relação aos mapas. Utilizando o Google Earth Pro foi gerada uma imagem que evidência uma área incendiada no ano de 2019 para fins de controle com o mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2019.

Foi calculado o índice NVDI, em mesma escala, nos anos de 2008, 2018 e 2019, com finalidade de identificar a variabilidade espacial da vegetação presente no território municipal de Sousa.

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 μm) e R que é o vermelho de comprimento de onda (0,63-0,7 μm) este índice tem como equação de número 1.

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

Foram criados três mapas em mesma escala que indicam o índice TST nos mesmos anos citados com a finalidade de compreender possíveis mudanças térmicas naquela área nos referidos anos.

A estimativa da temperatura da superfície terrestre foi determinada a partir de dados de diversos sensores como no LandSat 5 a qual convertendo os números digitais (DN), para valores de TST utilizando a banda termal número 6 é possível tornar valores comparáveis entendendo que L_λ é a radiação de energia espectral (Watts/($\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$)), L_{min} é a radiância espectral de DN igual a 1 L_{max} é a radiância espectral de DN igual a 255 e DN é o número digital, essa conversão se dá inicialmente pela equação 2.

$$L_\lambda = L_{\text{min}} + (L_{\text{max}} - L_{\text{min}}) * \frac{\text{DN}}{255} \quad (2)$$

Com o valor obtido o passo posterior foi a substituição desse valor de L_λ na equação abaixo que determina a temperatura da superfície terrestre com base nas variáveis, a qual K_1 é a constante de calibração (607,76K), K_2 é a constante de calibração (1260,56K) e T_b é o valor estimado da temperatura da superfície terrestre a qual deve ser subtraída por 273 para converter de graus Kelvin para Celsius onde T_b é denotado pela equação 3.

$$Tb = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda}\right) + 1} \quad (3)$$

Utilizando imagens LandSat 7 e 8 o processamento realizado foi o de Coelho e Correa (2013) foi utilizado como base na banda espectral termal de número 10 que corresponde a faixa de infravermelho termal do comprimento de onda (10.6-11.19 um) que parametriza e é comparada a temperatura do sensor de registro.

A estimativa da temperatura da superfície terrestre com imagens LandSat 8 é concretizada pelo uso inicial das variáveis, $L\lambda$ que é a radiância espectral do sensor, M_L que é o fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 de valor (3.3420E-04), A_L é o fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 de valor (0.1) e Q_{cal} é o valor quantizado de calibração do pixel em DN também em relação a banda 10. Esta conversão de número digital é da pela equação 4.

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (4)$$

Com a transformação realizada pela equação 4 aplica-se o valor de $L\lambda$ na equação 5 que possui as variáveis T que é a temperatura efetiva, K_2 que denota a constante de calibração dois (1.321.08K), K_1 é a constante de calibração um (774.89K) e $L\lambda$ é a radiância espectral (Watts/(m².sr.um)) como visto na equação 5 que se encontra abaixo:

$$Tb = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda}\right) + 1} \quad (5)$$

Por sequência foram gerados três mapas de WSVI para que assim fosse possível interpretar como se deu as transformações de umidade nas vegetações dentro do município dos respectivos anos anteriormente citados.

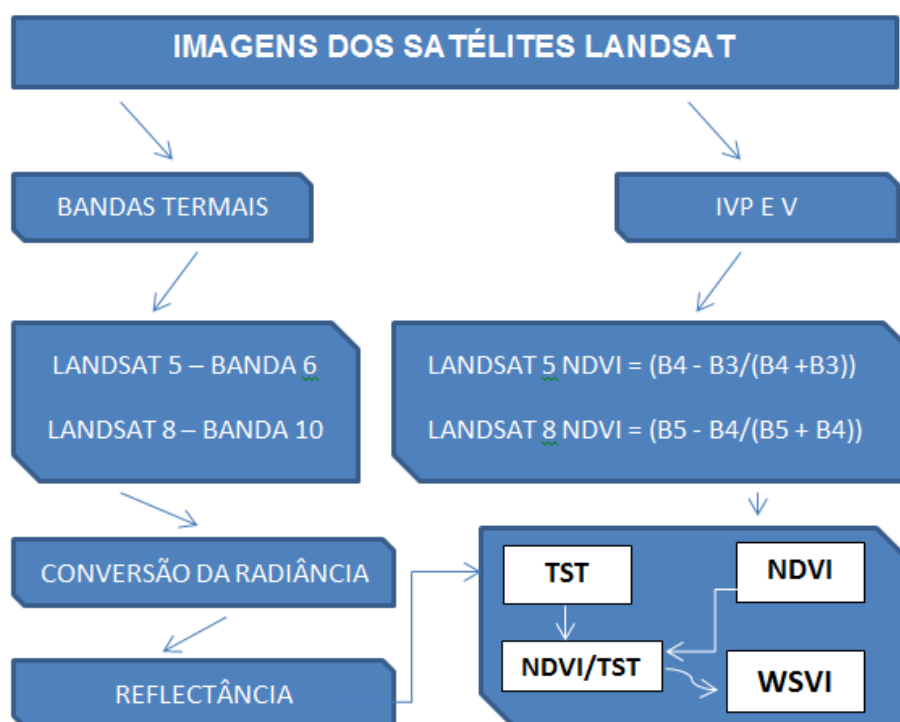
O WSVI foi calculado pela equação que utiliza o NDVI e o TST anteriormente determinados, na qual a razão abaixo presente na equação 6 descrita abaixo:

$$WSVI = \frac{NDVI}{TST} \quad (6)$$

Com base no procedimento metodológico anterior, segue abaixo na Figura 5 os passos sintetizados e realizados para a determinação do NDVI, TST e WSVI dos anos de 2008, 2018 e 2019 para assim acompanhar as informações destes índices observando os efeitos após a seca que afetou o município de Sousa.

Utilizando o ano de 2008 como base para a visualização das alterações pós seca nos anos de 2018 e 2019.

Figura 5. Fluxograma do processo metodológico para obtenção dos índices



Fonte: Alshaikh, 2015. Adaptado pelo autor.

Utilizou-se dados pluviométricos mensais do Instituto Nacional de Meteorologia nos anos de 2008, 2018 e 2019, bem como a somatória mensal gerando uma precipitação total anual para comparar tanto mensalmente entre os anos quanto anualmente os valores precipitados nos anos citados para acompanhar como se deram os regimes de chuva e se os mesmos apontaram para condições de pós

seca. Anteriormente a seca de 2012 a 2017 se tem o ano de 2008 com elevados índices precipitados tornando um ponto de referência pontual entre anos.

Os valores de temperaturas máximas e mínimas mensais dos três anos foram analisados com a finalidade de investigar se há diferença nos dados antes e após a seca estas por sua vez foram comparadas com as referidas temperaturas pela média climatológica de 1988 a 2012. Sendo gerado um gráfico das temperaturas mensais dos anos de 2008, 2018 e 2019.

Com os dados do INMET e o software livre Ref-ET 4.1 foi calculada a evapotranspiração potencial mensal utilizado os métodos de Hargreaves e Samani e Penman Monteith para análise multitemporal desses dados nas transformações que a seca causou, considerando também que não foi possível realizar os cálculos de ambos os métodos referente mês de setembro de 2008 devido a um problema operacional.

Pelo método Penman Monteith a evapotranspiração potencial (ETp) foi calculada com base nas variáveis Rn que indica o saldo de radiação (MJ/m²d), o G é o fluxo de calor do solo (MJ/m²d), γ é a constante psicométrica, T a temperatura média do ar(°C), U2 a velocidade do vento a uma altura de dois metros (m/s) e S é a declividade da curva de pressão de vapor observados na equação 7.

$$ETP = \frac{0,408s(Rn-G) + \frac{\gamma 900 U_2 (E_s - E_a)}{T + 273}}{s + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (7)$$

Já o método de Hargreaves & Samani foi utilizado para mensurar a ETp, a qual NDP é o número de dias de um referido mês, Tmax a temperatura máxima(°C), Tmin a temperatura mínima (°C) e Qo é a irradiância solar (mm/d) como observado na equação 8.

$$ETP = 0,0023 * Qo * (Tmax - Tmin)^{0,5} * (17,8 + Tmed) * NDP \quad (8)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão as temperaturas máximas e mínimas dos três anos analisados. De modo geral a variação nas temperaturas mínimas foram as mais

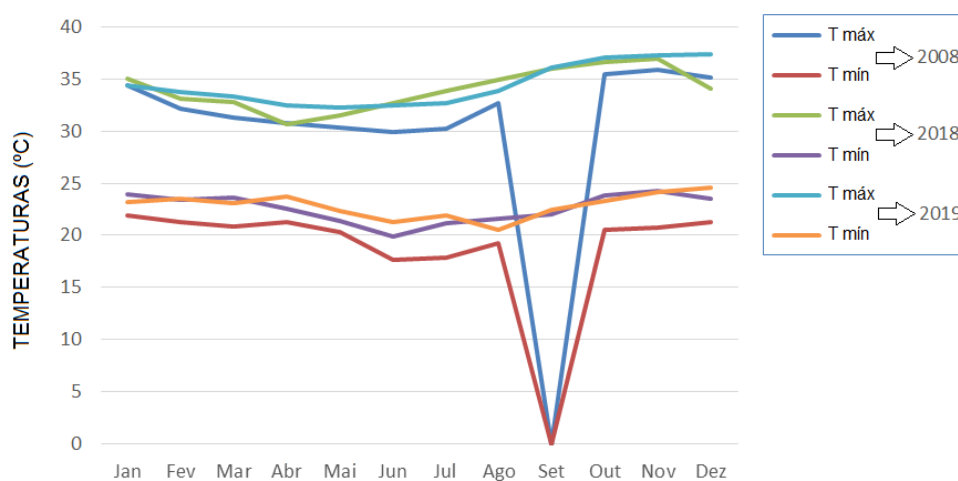
sugestivas. Em 2008, todos os meses, com exceção de setembro, as temperaturas médias mínimas mensais ficaram sempre abaixo dos demais anos analisados.

Tabela 1. Temperaturas máximas e mínimas mensais nos anos de 2008, 2018 e 2019

TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS						
Meses	Anos					
	2008		2018		2019	
	Tmáx	Tmin	Tmáx	Tmin	Tmáx	Tmin
Janeiro	34,4	21,9	35,0	23,9	34,4	23,2
Fevereiro	32,1	21,3	33,1	23,4	33,7	23,5
Março	31,3	20,9	32,8	23,6	33,3	23,1
Abril	30,8	21,3	30,7	22,6	32,5	23,7
Maiο	30,3	20,3	31,5	21,4	32,2	22,3
Junho	29,9	17,7	32,7	19,9	32,5	21,3
Julho	30,2	17,9	33,9	21,2	32,7	21,9
Agosto	32,7	19,2	34,9	21,6	33,8	20,5
Setembro	-	-	36,0	22,0	36,1	22,4
Outubro	35,5	20,5	36,6	23,8	37,0	23,3
Novembro	35,9	20,7	36,9	24,3	37,3	24,2
Dezembro	35,1	21,3	34,1	23,5	37,4	24,6

Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo INMET.

Quanto as temperaturas médias mensais máximas houve uma oscilação grande não detendo um padrão similar ao das temperaturas mínimas, foi percebido um aumento nas temperaturas máximas nos anos pós-seca. Sendo perceptível na Figura 6 como as temperaturas mínimas registradas mensalmente nos anos pós se encontravam mais elevadas, se comparadas aos valores mensais do ano de 2008, salientando que em setembro de 2008 o maquinário não estava operante sendo assim resultando na triangulação das linhas perante este mesmo.

Figura 6. Gráfico das temperaturas mensais de 2008, 2018 e 2019

Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo INMET.

Na Tabela 2 apresenta-se as temperaturas médias mensais climatológicas baseadas em uma série histórica de 1988 a 2012.

Em 2008 as temperaturas máximas estiveram semelhantes à média climatológica, sendo que os três últimos meses foram mais quentes que as médias para o período; já as temperaturas mínimas no segundo semestre ficaram abaixo da média climatológica. No ano de 2018 as temperaturas mínimas estiveram sempre acima da média, assim como nas máximas, com exceção dos meses de abril e maio que ficaram na média. O ano de 2019 tanto as máximas quanto as mínimas estiveram acima da média, as maiores diferenças nas temperaturas máximas ocorreram nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro em torno de 2,5°C, sendo que em dezembro a diferença foi maior, de 3,9°C.

Tabela 2. Temperaturas médias mensais máximas e mínimas de 1988 a 2012

	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
Janeiro	32,8	21,7
Fevereiro	32,1	21,7
Março	31,4	21,9
Abril	31,0	21,6
Mai	30,8	20,6
Junho	30,4	19,6
Julho	31,4	19,6
Agosto	32,6	20,1
Setembro	33,6	20,8
Outubro	34,1	21,4

Novembro	34,7	22,2
Dezembro	33,5	22,0

Fonte: Adaptado da Climate Data.

Os valores das normais climatológicas das precipitações mensais podem ser observados na Tabela 3. A diferença no total anual das médias, em 2008 em relação a 2018 é de mais de 900 mm, em 2008 choveu mais que o dobro do que choveu em 2019.

Tabela 3. Chuvas mensais em Sousa-PB nos anos de 2008, 2018 e 2019

Precipitações			
Mês	Anos		
	2008	2018	2019
Janeiro	248,9	62,4	109,2
Fevereiro	131,5	322,9	157,8
Março	657,9	89,5	244
Abril	384,0	267,8	139,6
Mai	341,7	19,1	152,6
Junho	24,8	10,8	7,5
Julho	19,8	0	22,7
Agosto	5,5	0	6
Setembro	-	0	0,7
Outubro	5,6	0	0,2
Novembro	0	6,3	0,9
Dezembro	31,7	131,8	4,7
Totais	1851,4	910,6	845,9

Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pela INMET.

Vendo o ano base de 2008 é notório o quanto o regime pluviométrico foi elevado, com os maiores valores ocorrendo nos meses de março e abril. Já observado os anos após a seca, praticamente todos os meses dos dois anos foram inferiores ao ano de 2008, com exceção de fevereiro.

Na Tabela 4 se tem os valores mensais climatológicas de chuvas. O trimestre mais chuvoso é Fevereiro, Março e Abril. No trimestre mais chuvoso no ano de 2008 choveu mais que o dobro comparado as normais climatológicas, em 2018 e 2019, o total do trimestre em relação a normal ficou acima e em torno da média, respectivamente.

Tabela 4. Chuvas mensais climatológicas, de 1988 a 2012

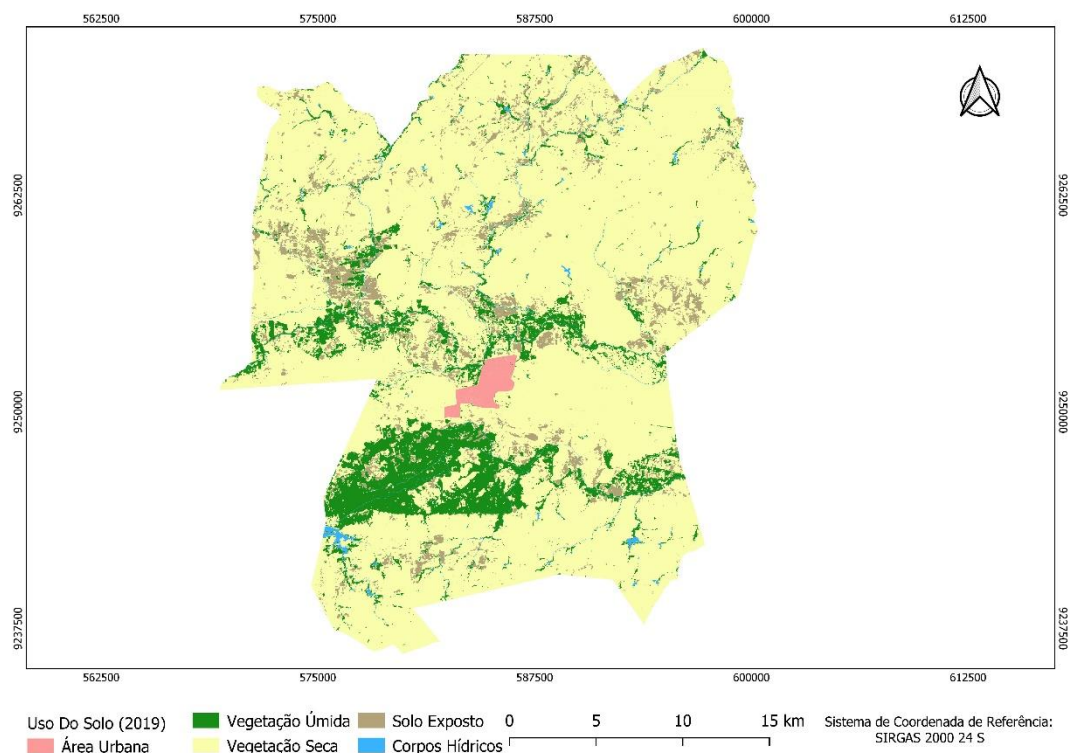
Mês	Chuva (mm)
Janeiro	98
Fevereiro	169
Março	227
Abril	183
Maio	81
Junho	35
Julho	17
Agosto	5
Setembro	4
Outubro	9
Novembro	11
Dezembro	33

Fonte: Climate Data. Adaptado pelo autor.

O ano de 2008 deteve índices precipitados muito elevados se comparados a média climatológica, enquanto os anos de 2018 e 2019 posteriores a seca, registraram chuvas consideráveis que se aproximaram das médias de 1988 a 2012.

Quanto ao perfil espacial do uso e ocupação do solo de Sousa, na Figura 7, se percebe como ocorre a distribuição da ocupação do solo. No mapa a zona urbana se encontra ao centro do município e como em 2008 choveu bem, expressa algumas áreas de vegetação úmidas, na tonalidade de verde, se encontram próximos aos corpos hídricos, onde o Perímetro Irrigado de São Gonçalo é expresso por uma grande mancha verde. Poucas parcelas de solo exposto são visíveis no mapa, já a Caatinga com sua vegetação seca possui uma vasta ocupação territorial.

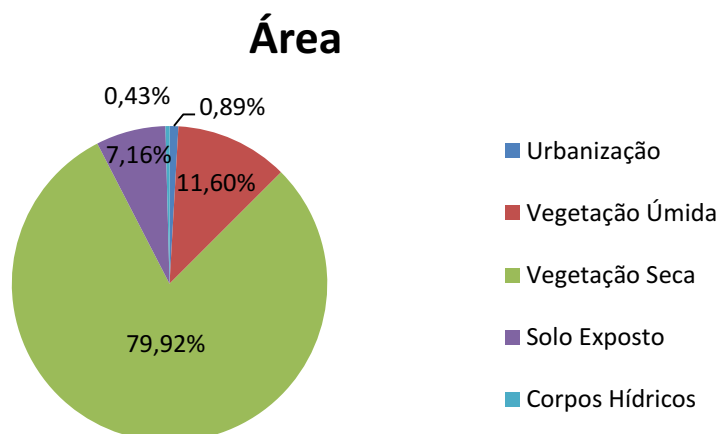
Figura 7. Mapa de uso e ocupação do solo do município de Sousa-PB em 2008



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2008 e IGBE 2015.

No mesmo contexto segue a Figura 8 com as áreas estimadas do mapa da Figura 6. Nesta área a vegetação seca estava abrangendo quase 80% do território devido à imagem de satélite ser do dia 17 de novembro de 2008, 46 dias após a ocorrência de uma chuva de 5.6mm, segundo dados do INMET.

Figura 8. Áreas ocupadas no município de Sousa-PB em 2008

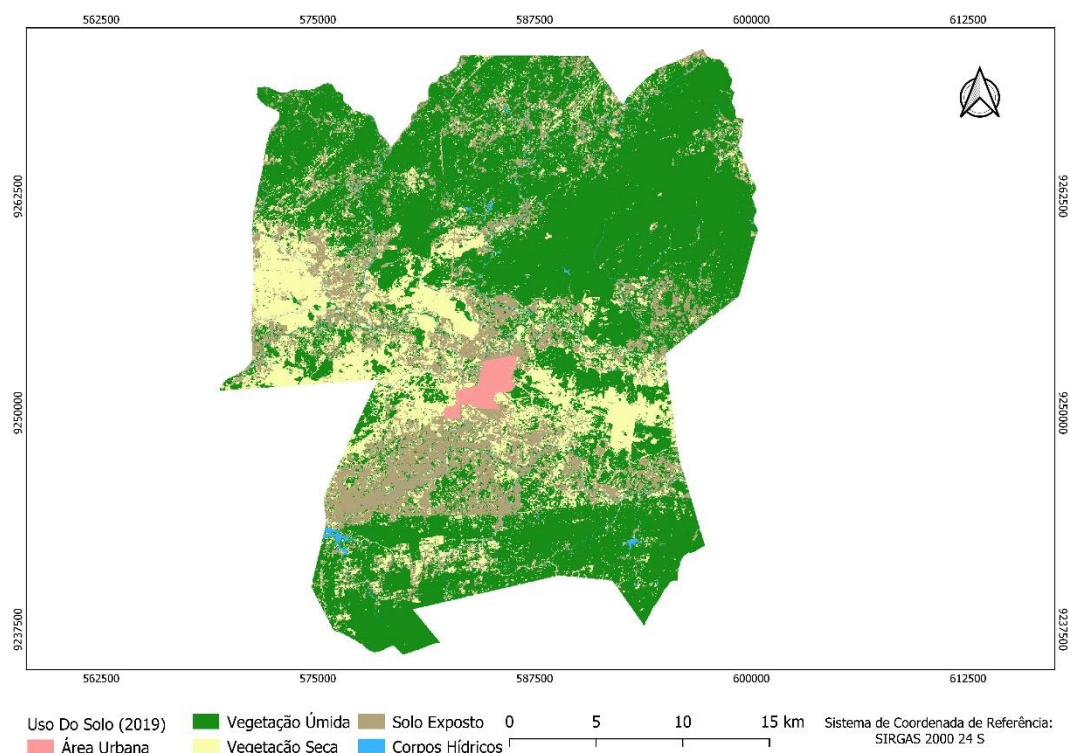


Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2008 e IGBE 2015.

Na Figura 9, imagem do dia 15 de dezembro de 2018, observa-se que o município teve transformações consideráveis do ponto de vista do uso e ocupação do solo. Na qual a quantidade de vegetação úmida ocupa uma grande área dentro do limite do município, tal efeito se deu por um considerável número de dias com chuvas que ocorreram do dia 1 ao dia 14 de dezembro, choveu 128,4mm segundo dados do DNOCS.

Quanto ao perímetro irrigado, é visto um declínio das produções e em suas áreas se encontram parcelas de solo exposto. No estudo de Siqueira, (2017), ele concluiu que no período de 2012 a 2016 se teve consideráveis perdas de produção no perímetro irrigado, que causou vários transtornos financeiros que dificultaram a vida das famílias que dependiam daquelas práticas agrícolas. Essa diminuição na produtividade das culturas também se deve ao fato da irrigação mal planejada que propiciou uma acentuada salinização do solo.

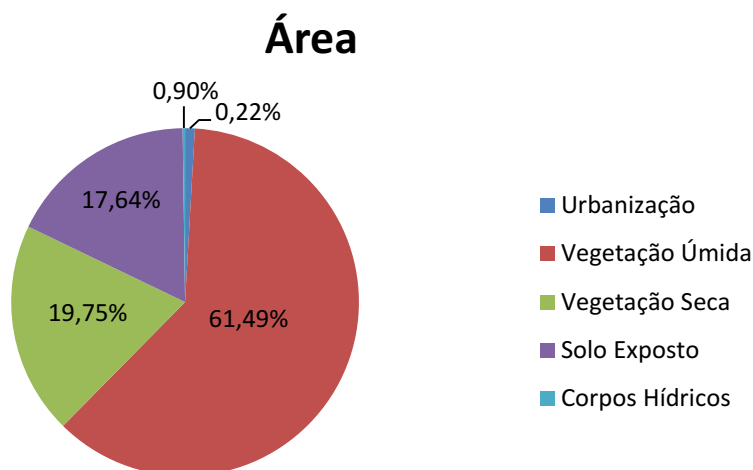
Figura 9. Mapa de uso e ocupação do solo do município de Sousa-PB em 2018



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2018 e IBGE 2015.

Alguns constituintes sofreram alterações mais intensas a exemplo dos corpos hídricos e as áreas com solo exposto, como observados no Figura 10.

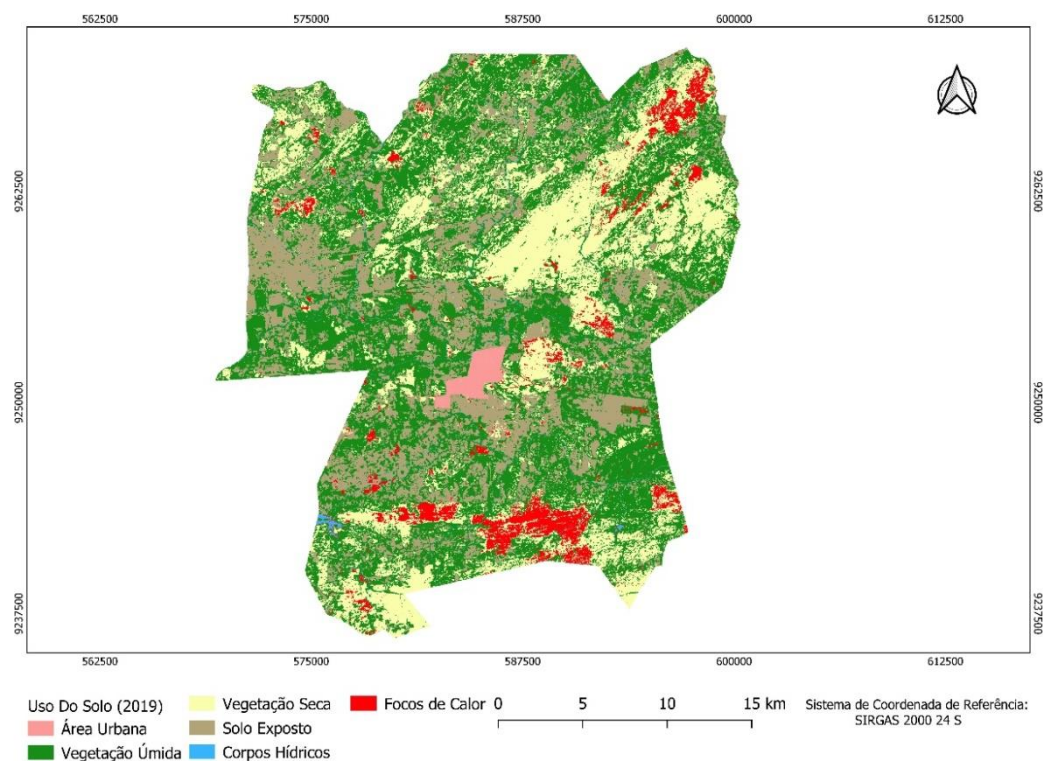
Figura 10. Áreas ocupadas no município de Sousa-PB em 2018



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2018 e IGBE 2015.

Na Figura 11, a imagem captada em 16 de novembro de 2019, encontra-se informações que expressam efeitos característicos do clima seco de um período pós-seca além dos corpos hídricos apresentarem uma menor quantidade de área ocupada se comparado ao ano base (2008). Segundo dados do DNOCS, a última chuva registrada antes do dia 16/novembro foi de 4,2mm ocorrida no mês de agosto. Neste cenário é justificável a quantidade de focos de calor presentes no mapa e como eles ocorreram em locais próximos a vegetações secas.

Figura 11. Mapa de uso e ocupação do solo do município de Sousa-PB em 2019



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2019 e IGBE 2015.

Em consulta ao corpo de bombeiros de Sousa, que cederam os dados de incêndios nas vegetações, os mesmos focos de calor observados em Sousa também ocorreram nas cidades de:

- Sousa;
- Aparecida;
- São Francisco;
- São José da Lagoa Tapada;
- Vieirópolis;
- Lastro;
- Nazarezinho;
- Marizópolis;
- e Santa Cruz.

Todas essas cidades são circunvizinhas de Sousa e possuem condições similares de vegetação e clima, pois estão situadas no sertão Paraibano. Na Tabela 5 estão os números de quantidade de incêndios registrados.

É notável como no período seco do ano a vegetação da Caatinga fica muito seca, mesmo em um ano que apresentou um período chuvoso normal, mas por ser um ano pós-seca a ocorrência de incêndios foi alta. Dentro do limite municipal de Sousa pela análise espacial, se teve um número considerável de áreas incendiadas, bem como em outros municípios próximos.

Tabela 5. Incêndios florestais registrados pelo corpo e bombeiros de Sousa-PB em 2019

Natureza da Ocorrência	Mês	Quantidade
Incêndio na Vegetação	Setembro	28
Incêndio na Vegetação	Outubro	21
Incêndio na Vegetação	Novembro	18
Incêndio na Vegetação	Dezembro	14

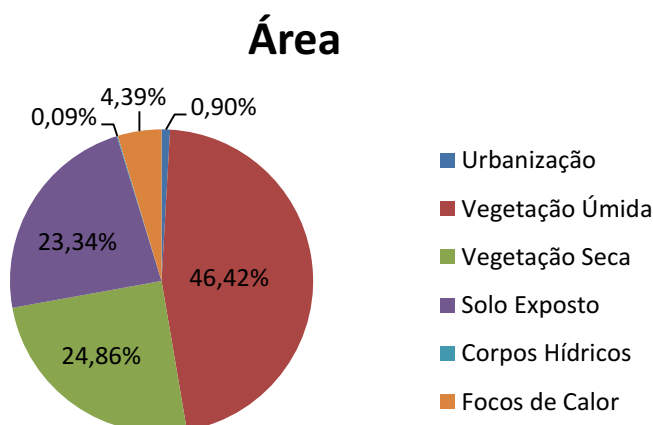
Fonte: Corpo de Bombeiros Militar - 6º Batalhão Bombeiro Militar

Quanto às áreas ocupadas segue a Figura 12 que expressa tantos os focos de calor quanto às demais áreas analisadas.

A vegetação úmida ocupa mais de 46% do espaço municipal, o que aponta que possivelmente se teve índices pluviométricos que permitiram que a vegetação se mantivesse nessa condição só que vindo de um período seco também se tem uma considerável parcela de vegetação seca (24,86%) essa que naturalmente ou criminosamente é propícia a incêndios.

Os focos de calor tiveram 4,39% de ocupação de área que em análise é superior a zona urbana de Sousa (0,90%), ou seja os focos de calor somados eram quatro vezes maior que a área da cidade de Sousa.

Figura 12. Áreas ocupadas no município de Sousa-PB em 2019



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2019 e IGBE 2015.

Na Figura 13 pode-se observar os focos de calor presentes na imagem de satélite. Nela é possível visualizar como as vegetações secas propiciam o alastramento do fogo, onde é possível contrastar vegetações úmidas pelos tons de verde mais escuro e vegetações secas com os tons mais marrons.

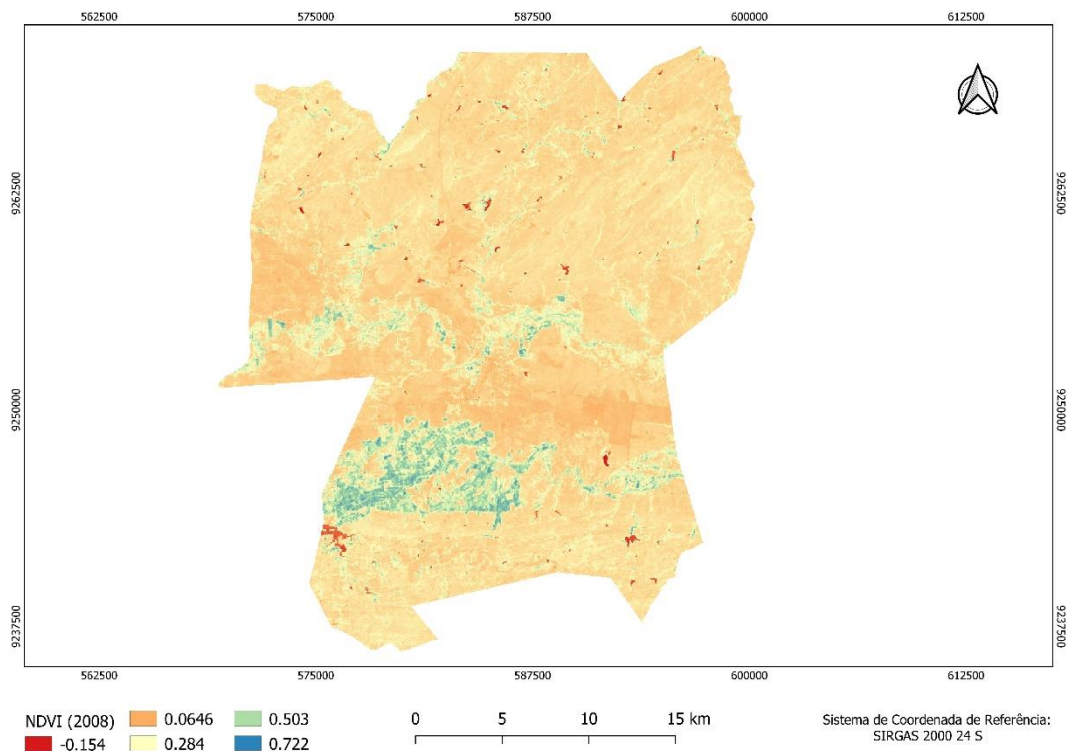
Figura 13. Recorte de um dos focos de incêndio em 2019



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo Google Earth Pro 2019.

Analisando o NDVI do ano base, na Figura 14, é notável em 2008, como os corpos hídricos (-0,154) são expressivos, pois foi um ano chuvoso, percebe-se uma elevada quantidade de pequenos lagos dentro do território que juntamente com o açude de São Gonçalo e o Rio do Peixe. Essas áreas condicionavam vegetações ciliares, e a expressiva produtividade agrícola, onde a áreas vegetadas apresentam valores de 0,722 de NDVI.

Figura 14. NDVI do município de Sousa-PB em 2008

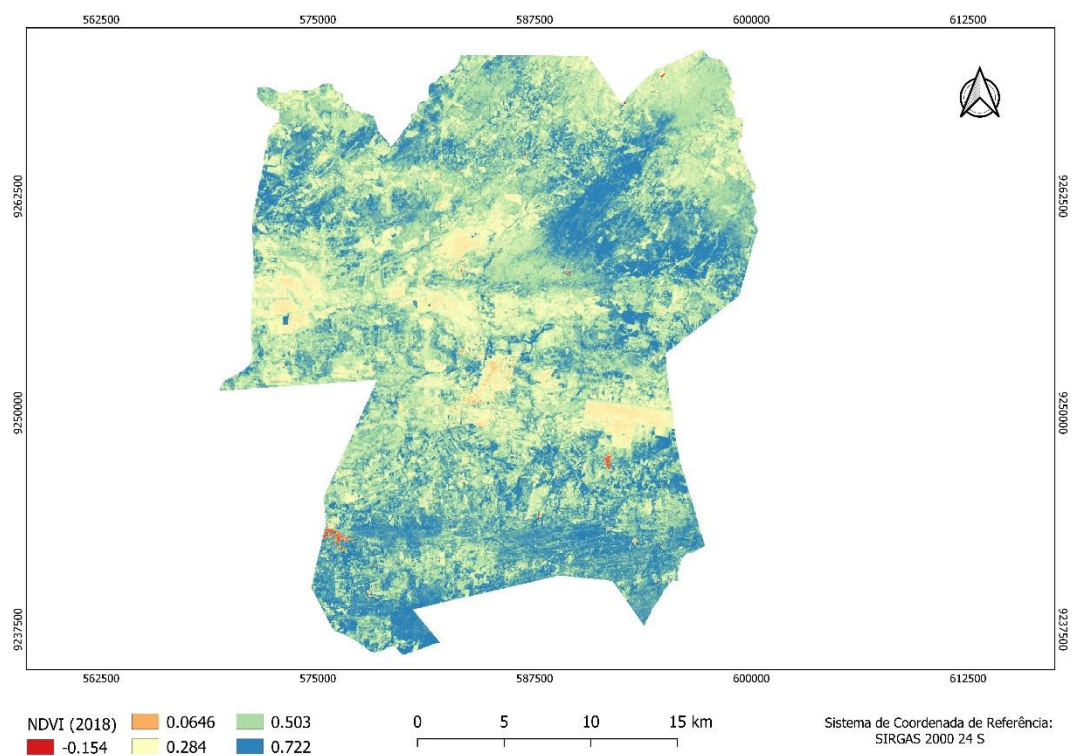


Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2008 e IGBE 2015.

Na Figura 15 observa-se o NDVI no dia 15 e dezembro de 2018 a qual as chuvas do dia 1 ao dia 14 de dezembro, choveu 128,4mm segundo dados do DNOCS, alteraram morfologia da área, expressando assim a resiliência das vegetações, apresentando valores elevados de NDVI para um período pós-seca. A Caatinga é extremamente sensível à precipitação e como ocorreu precipitação poucos dias antes da imagem ser capturada, a vegetação fica verde e os valores de NDVI serão altos.

Quanto aos corpos hídricos é notória a mudança em relação ao ano de 2008, devido à diminuição acentuada dos pequenos lagos e do açude abastecedor do município.

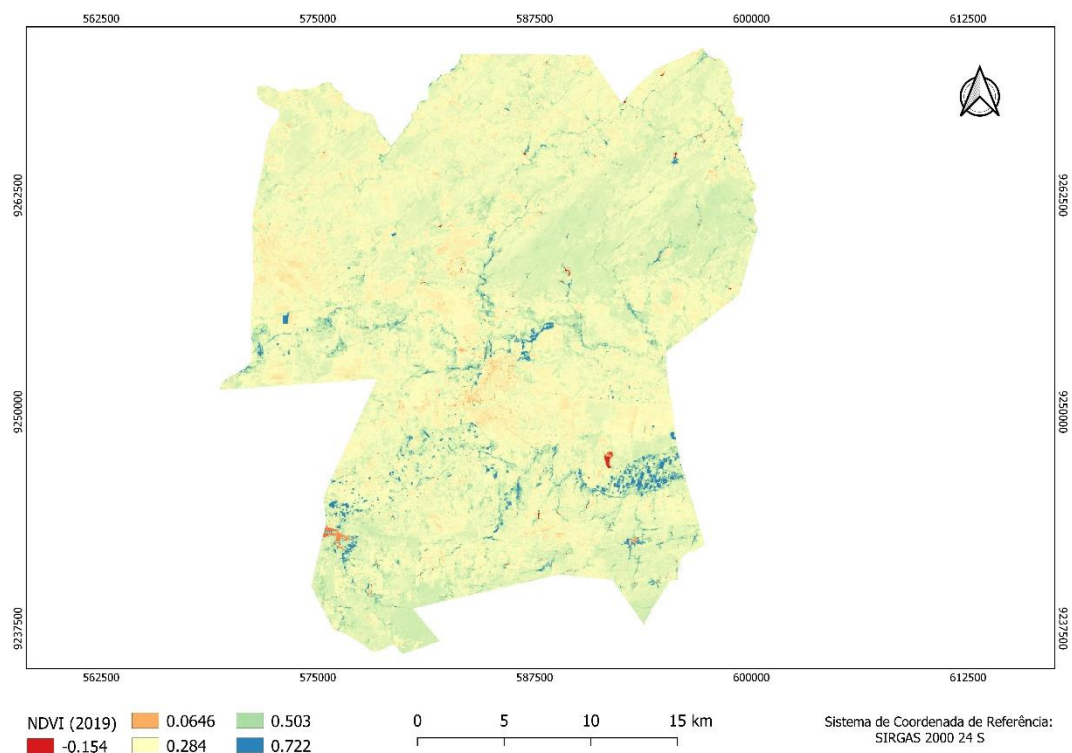
Figura 15. NDVI do município de Sousa-PB em 2018



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2018 e IGBE 2015.

No último ano estudado o NDVI apontou uma condição mais condizente com um período após a seca Figura 16, na qual as áreas mais vegetadas com o perfil de ciliaridade e como as irrigações diminuíram consideravelmente e a constituição de corpos hídricos continuou inferior em relação a 2008.

Figura 16. NDVI do município de Sousa-PB em 2019



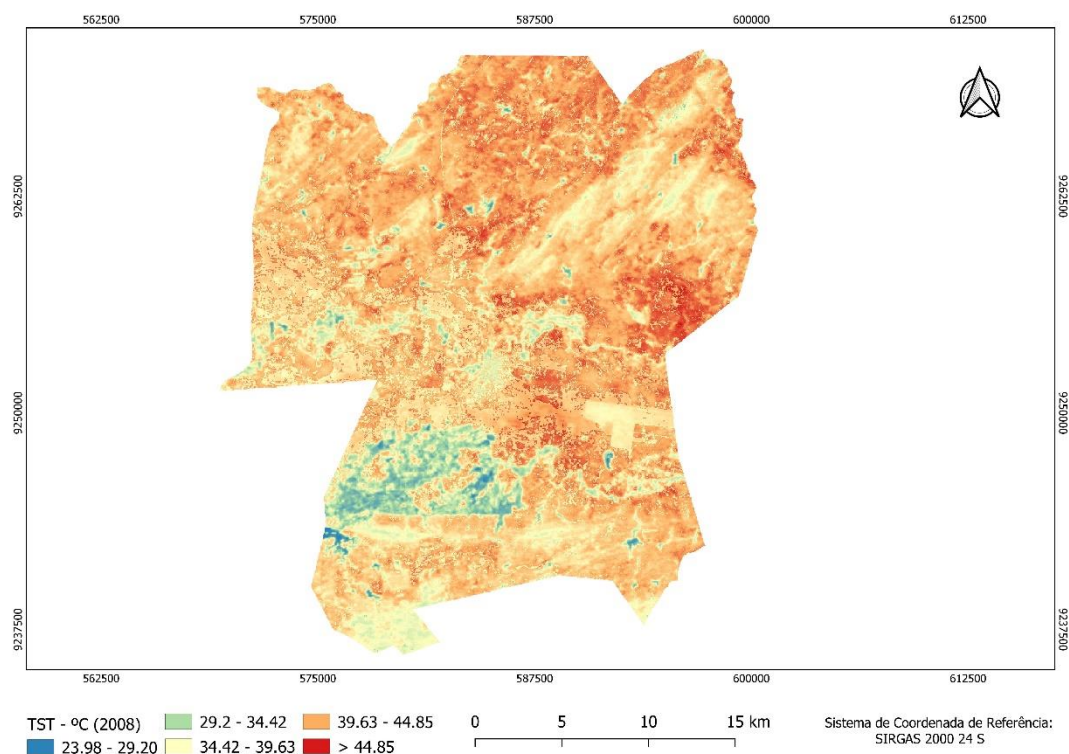
Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2019 e IGBE 2015.

Compreendendo que o relevo, a presença e ausência de vegetações em uma localidade afeta nas temperaturas, segue na Figura 17 o TST do ano de referência.

As temperaturas do perímetro irrigado se destacaram em relação às outras vegetações, bem como pequenas porções dentro da área que possivelmente são pequenos lagos e áreas produtivas irrigadas expressadas pelos tons de azul e verde inferiores a 34,42°C.

No mapa é visível como a maioria do território possui temperaturas superiores a 39,63°C e que também inúmeras porções apresentam temperaturas maiores que 44,85°C.

Figura 17. Mapa de TST do município de Sousa-PB em 2008

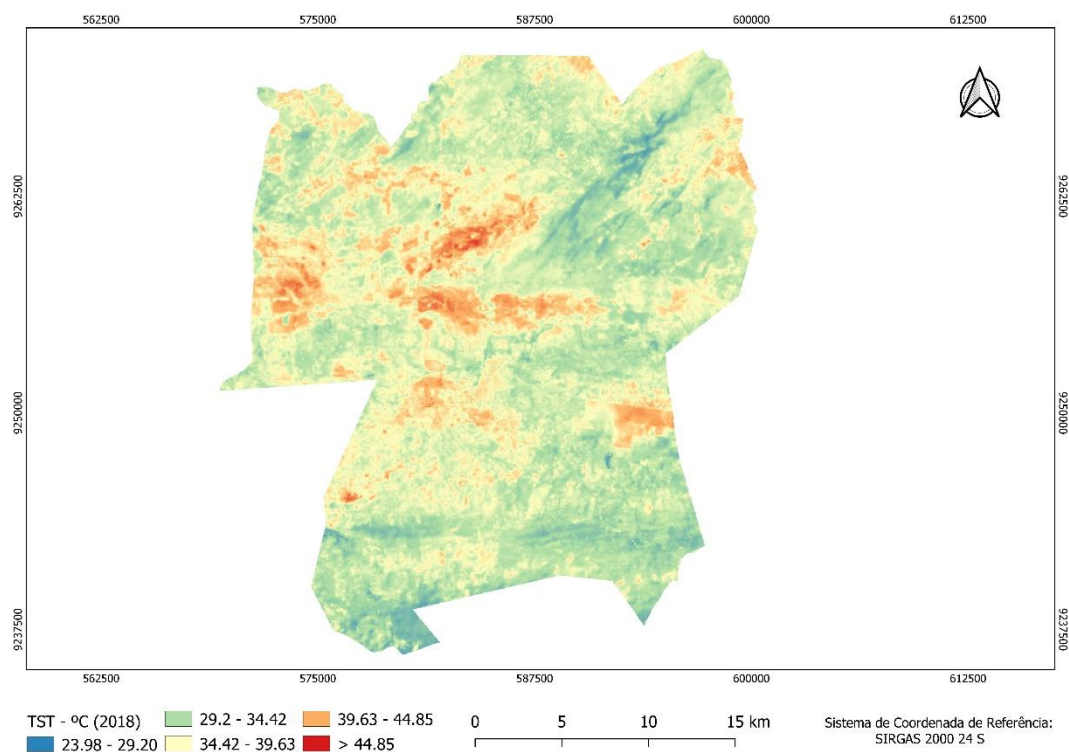


Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2008 e IGBE 2015.

Na Figura 18 estão as TST em 2018 que foram mais baixas devido às precipitações que ocorreram e isso afetou nas temperaturas da superfície. Essa diferença em relação ao ano de 2008 é visível, nos corpos hídricos estão registradas as menores temperaturas, e as áreas vegetadas que se encontravam úmidas apontam temperaturas pouco acima das mais baixas registradas, abrangendo uma significativa parcela do terreno.

Nesta imagem se tem uma menor concentração de locais com temperaturas acima dos 39,63°C e porções ainda menores com temperaturas acima de 44,85°C.

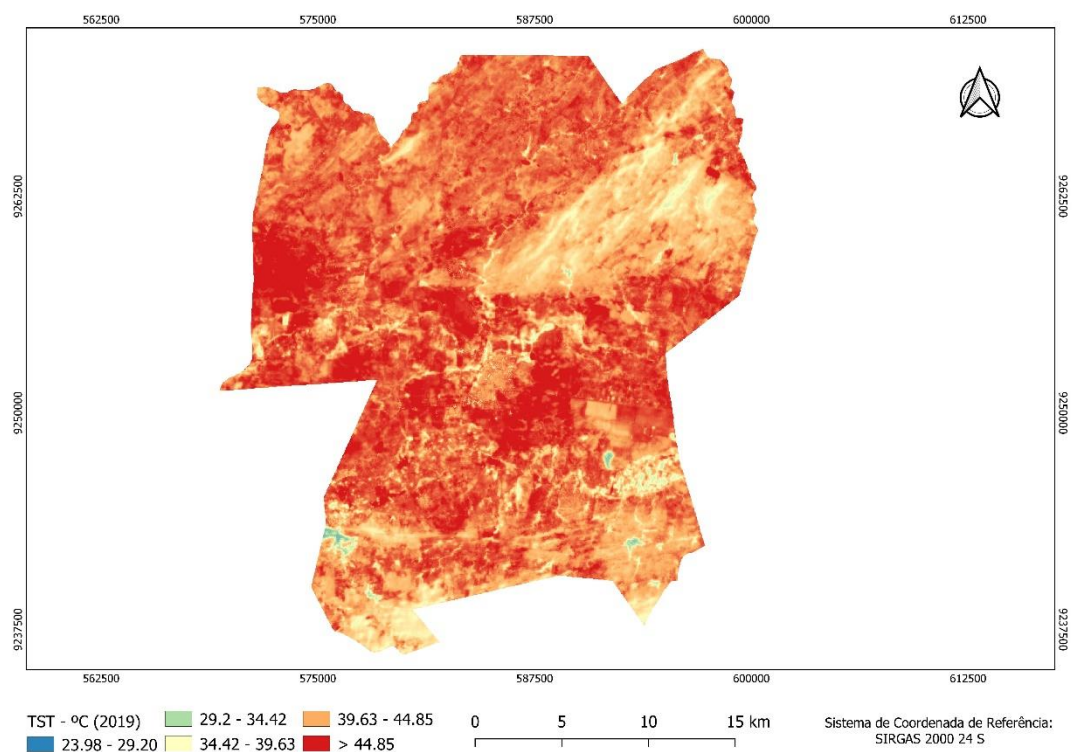
Figura 18. Mapa de TST do município de Sousa-PB em 2018



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2018 e IGBE 2015.

Sem precipitações atenuadoras das temperaturas da superfície segue na Figura 19 o mapa de TST do ano de 2019. Neste ano é incontestável a forma que as temperaturas se distribuíram no terreno, a qual a maioria das áreas possuía temperaturas superiores a 44,85°C. Dos corpos hídricos remanescentes do período pós-seca se tem as menores temperaturas de 23,98°C, já os cursos dos rios também apresentam temperaturas mais elevadas na faixa de 34,42 a 39,63°C, tal efeito pode ser justificado pela ausência de água nos cursos d'água devido aos rios não serem perenes.

Figura 19. Mapa de TST do município de Sousa-PB em 2019



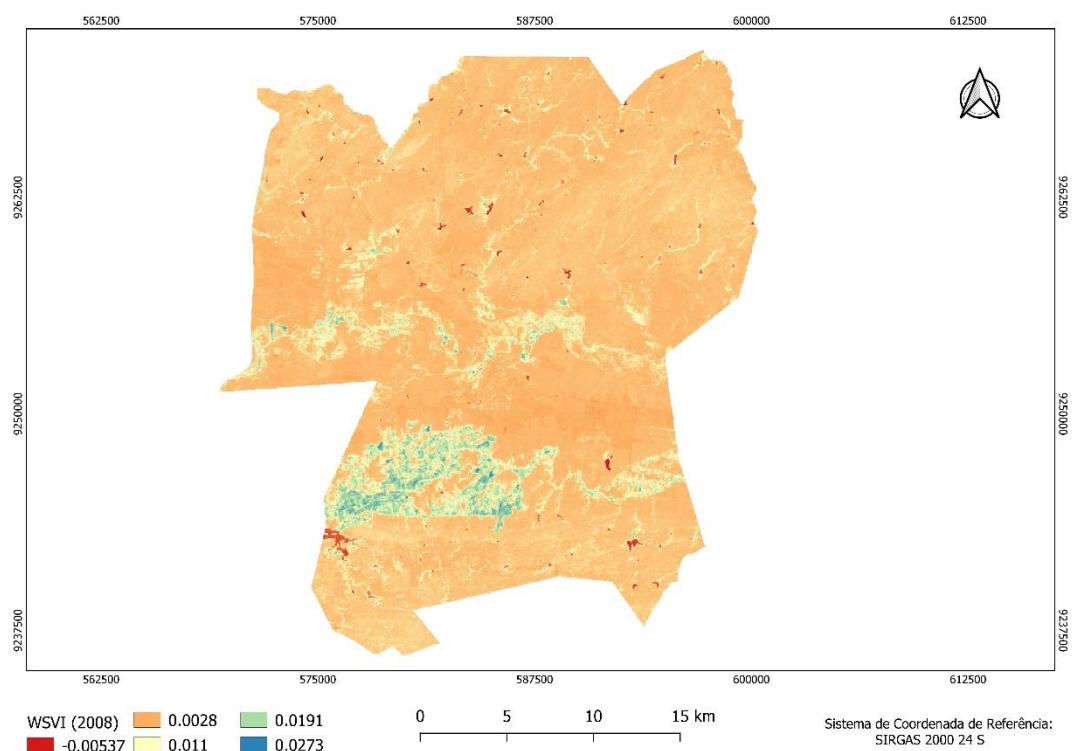
Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2019 e IGBE 2015.

Na Figura 20 o WSVI aponta a variabilidade de umidades em vegetações dentro da área analisada, a qual de forma nítida as zonas irrigadas e ciliares se encontram com maior umidade em suas vegetações por isso os valores superiores a 0,0273.

Os recursos hídricos apresentam valores -0,00537 destacados pela cor vermelha e a maior parte do território possuindo valores 0,0028 a 0,011 expressos pela cor laranja, que ressalta a vegetação seca da Caatinga.

Já a maior parte do território se encontra com a coloração laranja referente ao valor de 0,0028 evidenciando uma grande parcela de flora com umidades inferiores ao perímetro irrigado de São Gonçalo e demais áreas ciliares.

Figura 20. WSVI do município de Sousa-PB em 2008

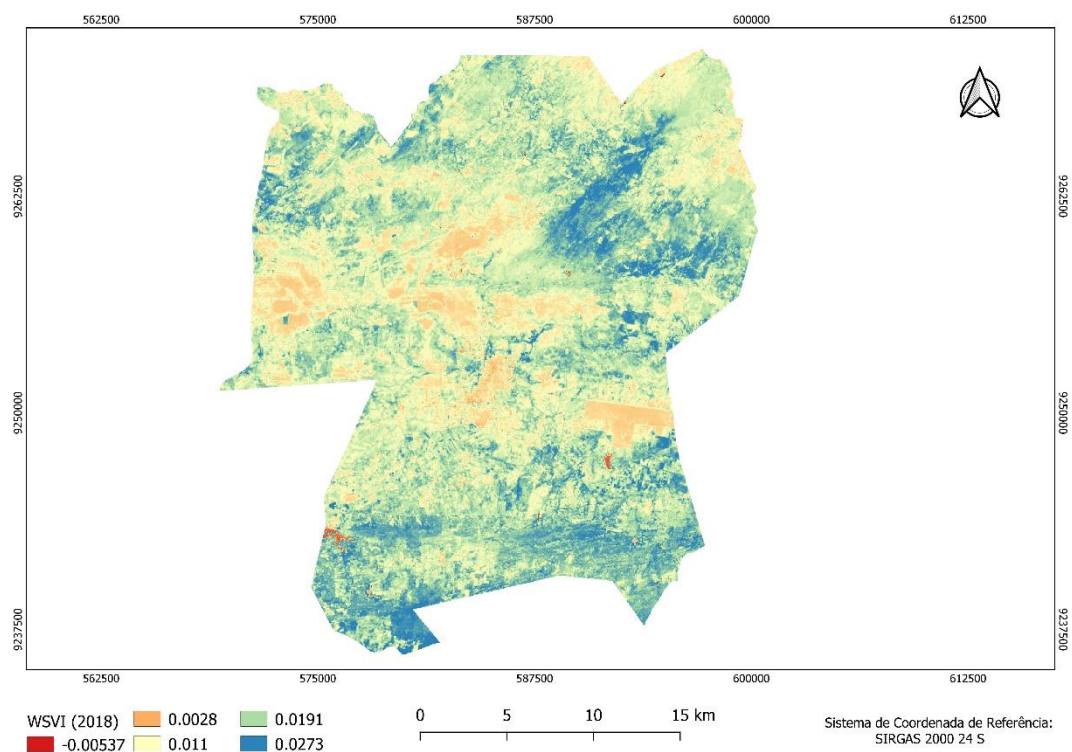


Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2008 e IGBE 2015.

No ano de 2018 o índice demonstrou, observado na Figura 21, há umidade na vegetação especializada no mapa. Após as chuvas registradas de 128,4mm do dia 1 ao dia 14 de dezembro e considerando a data da imagem de 15 de dezembro de 2018, terreno e todos os constituintes presentes nele obtiveram uma umidade onde as vegetações em sua grande maioria detiveram valores maiores que 0,0191 com tom verde claro e azul, que tomou grande parte da área analisada. Já as áreas de solo exposto e de vegetações de pequeno porte que tiveram uma pequeno ou ausente armazenamento de umidade nas plantas os valores de WSVI foram inferiores a 0,0028.

Na ausência de umidade a zona urbana se tornou mais visível e terrenos de grandes produtores agrícolas além do perímetro irrigado foram expostos, nas cores verde claro e azul, de valores (0,0191 e 0,0273) respectivamente.

Figura 21. WSVI do município de Sousa-PB em 2018

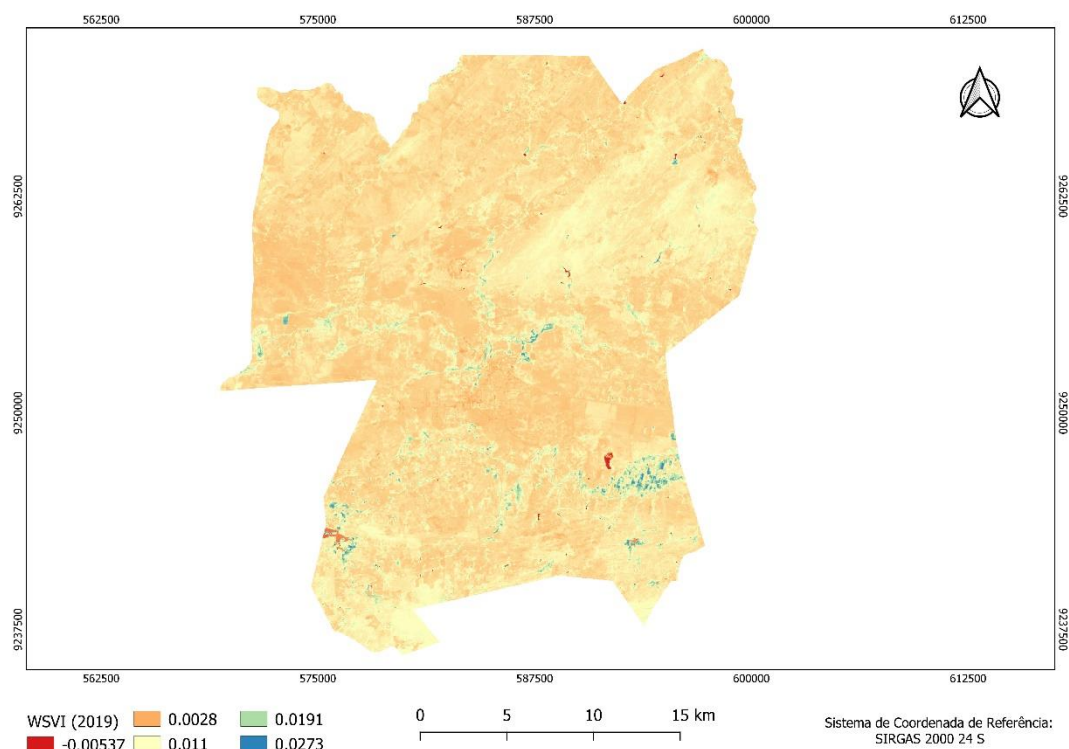


Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2018 e IGBE 2015.

Em 2019 as mutabilidades territoriais da unidade apontaram as seguintes informações observadas na figura 22. A umidade na maioria das áreas vegetadas se encontrava muito baixa, esta espacialidade observada possui valores entre 0,011 a 0,0273 que vão das cores amarela a laranja.

Poucos são os pontos no mapa que detêm vegetações umidades superiores a 0,0191 (Figura 22).

Figura 22. WSVI do município de Sousa-PB em 2019



Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo USGS 2019 e IGBE 2015.

Na tabela 6 se encontra-se a ET_p (Evapotranspiração potencial) obtida por dois métodos: Hargreaves e Samani e Penman Monteith. O método de Hargreaves e Samani é um modelo indicado para regiões de clima seco e o modelo de Penman Monteith é um dos métodos mais utilizados e considerado um dos mais completos.

A ET_p para o 2008 obtida pelo Hargreaves e Samani foi semelhante ao de Penman Monteith, no entanto percebe-se que no período úmido o primeiro método a ET_p foi um pouco maior que no segundo método. Já no período seco os valores de ET_p foram menores pelo método de Hargreaves e Samani, indicando ser um bom estimador da evapotranspiração. Para os anos menos chuvosos que 2008, os anos de 2018 e 2019, nos meses de junho a dezembro, período seco, os valores de ET_p por Hargreaves e Samani foi sempre um pouco menor que os obtidos pelo método de Penman Monteith. No período úmido chama a atenção os meses de janeiro a maio de 2018 o qual a ET_p não foi superestimada pelo método de Hargreaves e Samani.

Tabela 6. Evapotranspirações potenciais mensais médias de Sousa-PB

EVAPOTRANSPIRAÇÃO						
MÉTODOS						
	Hagrevaves e Samani			Penman Monteith		
Meses	2008	2018	2019	2008	2018	2019
Janeiro	5,8	5,7	5,9	5,1	5,8	5,5
Fevereiro	5,3	5,1	4,8	4,9	5,9	4,6
Março	4,8	4,7	3,6	4,2	5,9	3,6
Abril	4,2	3,9	2,4	3,8	3,8	2,7
Mai	3,9	4,1	1,9	3,7	4,1	1,8
Junho	4,2	4,5	1,9	3,7	4,5	2,1
Julho	4,5	4,9	2,3	4,2	5,2	2,8
Agosto	5,4	5,5	3,6	5,5	6,1	4,8
Setembro	-	6,2	5,1	-	6,9	5,9
Outubro	6,4	6,1	6,5	6,9	6,6	7,1
Novembro	6,4	6,1	7,1	6,5	6,8	7,1
Dezembro	6,1	5,4	7,3	5,7	5,5	7,3

Fonte: Elaborado pelo autor com dados fornecidos pelo INMET.

A tabela 7 aponta os valores médios de ETp do município de Sousa calculados por Francisco et al (2018), que utilizou o método de Thomthwaite.

Tais valores se comparados a tabela 6 demonstram como os valores mensais médios de ETp são inferiores ao do presente estudo.

Tabela 7. Evapotranspirações potenciais mensais de Sousa-PB

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
ETP	4,4	4,4	4,2	3,9	3,5	3,1	2,9	3,2	3,7	4,2	4,5	4,6

Fonte: Adaptada de Francisco et al, 2018. Adaptado pelo autor (2018).

6. CONCLUSÃO

Com base nos objetivos propostos as transformações espaciais do município de Sousa apontaram significativos impactos no uso e ocupação do solo quando comparado com o ano de referência, 2008. O ano de 2008 foi um ano substancialmente chuvoso e ficou nítida como a disponibilidade de recursos foi afetada pela seca ocorrida antes de 2018. Observou-se que os corpos hídricos nos anos pós-seca estavam com volume reduzido quando comparado há 10 anos, isso resultou em declínio de produções agrícolas no perímetro irrigado de São Gonçalo. Em outra perspectiva, se tem os incêndios florestais que impactaram negativamente na fauna, flora e qualidade do ar.

A mutabilidade da localidade ficou bastante visível quando se analisou os índices. Com o NDVI observou-se a diminuição das áreas vegetadas, resultantes de intervenções antrópicas e/ou naturais. Porém, foi percebido como precipitações são capazes de alterar as vegetações da Caatinga, onde essa vegetação responde rapidamente a precipitação ficando verde. O TST apontou que após a seca as temperaturas ainda se mantiveram altas principalmente em 2019. O índice WSVI, por ser mais sensível a condição de umidade na vegetação que o NDVI, comprovou que nos anos pós-seca as vegetações sofreram com a escassez hídrica de tal forma que o perfil agrícola produtivo municipal foi afetado negativamente.

Quanto às precipitações registradas nos anos pós-seca, estas por sua vez ficaram um pouco acima da média climatológica (de 1988 a 2012). No entanto, o impacto da seca nos recursos hídricos trouxe consequências para todo o município de modo que seus efeitos ainda persistem. De modo geral todas as informações culminam em uma acentuada perda de produtividade no perímetro irrigado de São Gonçalo e pequenos agricultores dentro do limite territorial. Este cenário afetou a economia e as produções tiveram um declínio significativo. Quanto à área urbana e a população que nela habita, são mais de 60 mil pessoas que sofrem com racionamentos de água, que afetam suas vivências causando inúmeros impactos sociais e econômicos.

As temperaturas máximas e mínimas nos anos de 2018 e 2019 ficaram acima da média climatológica (de 1988 a 2012). Como foi observada na TST, a temperatura do ar, que depende da TST, mostrou que os anos pós-seca foram mais quentes.

A evapotranspiração foi bem estimada pelo método de Hargreaves e Samani que é um modelo indicado para regiões de clima seco, os valores de ETp estiveram próximos aos valores obtidos pelo modelo de Penman Monteith que é um dos métodos mais utilizados e considerado um dos mais completos. Em geral percebe-se que os modelos foram semelhantes nos resultados e que a ETp foi mais elevada de agosto a janeiro, tendo o trimestre setembro/outubro/novembro com maior demanda evaporativa pela atmosfera, por se tratar também do trimestre mais seco e mais quente na região analisada.

Compreendo todos os pontos abordados, uma continuidade devida do estudo seria uma análise apenas do perímetro irrigado de São Gonçalo considerando os anos pós-seca até o presente, para assim tentar visualizar uma possível recuperação produtiva na área agricultável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, p. 301. 1998.

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o PADRÃO FAO), PARA MINAS GERAIS, NA AUSÊNCIA DE ALGUNS DADOS CLIMÁTICOS. p 41 - 50. 2015.

ALMEIDA, A. J. .P; JUNIOR, S. A. M. G.; ANDRADE, E. L.; NETO, J. V. F. Relação entre o Índice de Vegetação e a Temperatura de Superfície na estimativa e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió-AL. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil**, p. 3-4. v. 25, 2015.

ALSHAIKH, A.Y. Space applications for droughtassessment in Wadi-Dama (West Tabouk), KSA. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 18, n. 1, p. S43-S53, 2015

ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A.; SANTOS, A. E. COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO) PARA. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções. **IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas. ABRH, Foz do Iguaçu**, p. 8. 2001.

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M.; BRITO, L. T. L. Implicações das secas para agricultura de subsistência e a alternativa no semi-árido do Nordeste brasileiro. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 34., 1996, Aracaju. Anais... Brasília, DF: SOBER, p 294 – 309. 1996.

CLIMATE-DATA. Dados de Precipitações, Temperaturas médias máximas e mínimas. Disponível em:<<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/paraiba/sousa-42525/>>. Acesso em: Dez/2019.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 32-35, 2013.

3º COMANDO REGIONAL BOMBEIRO MILITAR - 6º BATALHÃO BOMBEIRO MILITAR DE SOUSA. Incêndios Florestais em set, out, nov e dez de 2019. 2020.

DNOCS SOUSA. Departamentos de Obras Contra a Seca. Precipitações registradas em 2018. 2020.

DNOCS SOUSA. Departamentos de Obras Contra a Seca. Precipitações registradas em 2019. 2020.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. 2nd ed. Roma: FAO, p. 179. 1977.

ELHAG, M. Sensitivity analysis assessment of remotely based vegetativon indicesto improve water resources management. **Environment, development and sustainability**, v. 16, n. 6, p. 1209-1222, 2014.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos, p. 5. 2018.

FLUMIGNAN, D. .L; FIGUEIREDO, L. H. S.; SILVA, J. A.; FIETZ, C. R; COMUNELLO, E. Evapotranspiração de referência (ET0) na região de Dourados, Mato Grosso do Sul. **Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2016.

FRANCISCO, P. R. M. Balanço Hídrico Climatológico para Capacidade de Campo de 100 mm – Estado da Paraíba. 1ª Edição. P 238. 2018.

GOOGLE EARTH PRO – Imagem Foco de Incêndio em nov de 2019. 2020.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. Reference crop evapotranspiration from temperature. Journal of Applied Engineering in Agriculture, St Joseph, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

IBGE. DADOS SHAPE FILE 2015. Disponível em:<<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>> Acesso em: dez de 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002, Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf>. Acesso em: Jan de 2020.

IBGE CIDADES. SOUSA. CENSO 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/sousa>> Acesso em dez 2019.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MELO, Josandra Araújo Barreto; PEREIRA, Ronildo Alcântara; NETO, José Dantas. Atuação do estado brasileiro no combate à seca no nordeste e ampliação das vulnerabilidades locais. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 8, n. 2, 2009

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, p. 520 – 533. 2011.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, p 24. 2012.

MENEZES, W. A.; MENDES, L. D. Mapeamento da temperatura de superfície e da cobertura e uso da terra com geotecnologias livres para uma análise preliminar da relação terra-atmosfera no município de Nova Iguaçu (RJ). **Revista Equador, Teresina-PI**, v. 4, p. 1160-1167. 2017.

NYS, E.; ENGLE, N, L.; MAGALHÃES, A. R. Secas no Brasil – Política e gestão proativa. P 1 – 296. 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, p. 478. 2002.

QGis. Software Livre. Disponível em:<https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>. Acesso em: Jan de 2020.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V. OLIVEIRA, L. A. CONSTRUÇÃO DE MODELO NO QGIS E UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO–AHP PARA MAPEAMENTO DE RISCOS À INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE PARACATU–MG. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 61, p. 01-18, 2017.

ROSALENA, I. R.; ROKHMAUTULOH.; HERNINA, R. WaterSupplyingVegetation Index (WSVI) Analysis for Drought Rate Mapping in Bogor Regency. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p.1. 2014.

SANTOS, R. F. (Org.) Vulnerabilidade Ambiental. Brasília: MMA, p. 92. 2007.

SIQUEIRA, E. C.; SEMIRAMES N. S.; LOPES, F. G.; AMDRADE, F. E.; FERREIRA, C. B.; DANTAS, M. C. A. M.. Efeitos da escassez hídrica na economia do perímetro irrigado de São Gonçalo, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 1, p. 132-137, 2017.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1218-1226, 2012.

SILVA, V. M. A.; PATRÍCIO, M. C. M.; RIBEIRO, V. H.A.; MEDEIROS, R. M. O desastre seca no Nordeste Brasileiro. **POLÊM! CA**, v. 12, n. 2, p. 284-293, 2013.

SUASSUNA, J. Semi-árido: proposta de convivência com a seca. **Cadernos de Estudos Sociais**, v. 23, p 3, 2007.

UNIVERSIDADE DE IDAHO – Ref-ET - Calculadora de Evapotranspiração de Referência. Disponível em: <<https://www.uidaho.edu/cals/kimberly-research-and-extension-center/research/water-resources/ref-et-software>>. Acesso em jan de 2020.

USGS. Serviço Geológico Norte Americano 2020. Aquisição de imagem digitais gratuitas do satélite LanSat 8. Data da passagem 16/11/2019. EUA. Acesso em: Dez/2019. Disponível em:<<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.

USGS. Serviço Geológico Norte Americano 2020. Aquisição de imagem digitais gratuitas do satélite LanSat 8. Data da passagem 15/12/2018. EUA. Acesso em: Dez/2019. Disponível em:<<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.

USGS. Serviço Geológico Norte Americano 2020. Aquisição de imagem digitais gratuitas do satélite LanSat 5. Data da passagem 17/11/2008. EUA. Acesso em: Dez/2019. Disponível em:<<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.