

INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE – CAMPUS ARACAJU
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSIELTON DA SILVA SANTOS

**CORRELAÇÃO ENTRE SEVERIDADE DE SECA DO MAPA DO MONITOR
DE SECAS DO BRASIL E A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO
ESTADO DE SERGIPE**

ARACAJU

2021

JOSIELTON DA SILVA SANTOS

**CORRELAÇÃO ENTRE SEVERIDADE DE SECA DO MAPA DO MONITOR
DE SECAS DO BRASIL E A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO
ESTADO DE SERGIPE**

Trabalho de conclusão de curso para obtenção de
graduação pelo Instituto Federal de Sergipe no
curso de Engenharia Civil.

Área de Concentração: Gestão de Recursos
Hídricos.

Orientadora: Prof. Dra. Tatiana Máximo
Almeida Albuquerque

ARACAJU

2021

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santos, Josielton da Silva

S237c Correlação entre severidade de seca do Mapa do Monitor de Secas
do Brasil e a Evapotranspiração de Referência no estado de Sergipe. /
Josielton da Silva Santos. - Aracaju, 2021.

75 f. : il.

Orientadora: Prof. Dra. Tatiana Máximo Almeida Albuquerque.
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil.) -
Instituto Federal de Sergipe, 2021.

1. Seca. 2. Monitoramento da seca. 2. Evapotranspiração de
Referência - ETo. 3. Gestão de Riscos. I. Albuquerque, Tatiana
Máximo Almeida. II. Título.

CDU 62

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SERGIPECAMPUS ARACAJU
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia N° 186

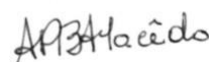
**CORRELAÇÃO ENTRE SEVERIDADE DE SECA DO MONITOR DA ANA E A
EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO ESTADO DE SERGIPE**

JOSIELTON DA SILVA SANTOS

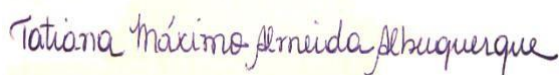
Esta monografia foi apresentada às 19:00h do dia 09 de abril de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.



Prof^a. M.Sc. Kelly Marina Silva Santos



Prof^a. M.Sc. Ana Paula Barbosa Ávila
Macedo



Prof^a. Dr. Tatiana Máximo Almeida
Albuquerque
(IFS – Campus Aracaju)
Orientador



Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados durante todos os meus anos de estudos, sob a proteção do Nosso Senhor Jesus Cristo e da Nossa Senhora Imaculada Conceição que me concederam força e saúde para persistir.

Aos meus pais Josué Alves dos Santos e Thereza da Silva Santos, que acreditaram em mim, me forneceram todo apoio necessário e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste curso.

A minha esposa Larissa Melo dos Santos, por estar sempre presente me motivando e sendo meu abrigo não importa qual sejam os momentos, sempre com amor.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período em que me dediquei a este trabalho.

A professora Tatiana Máximo Almeida Albuquerque, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade, exercendo um papel muito além das atividades de uma professora, mostrou-me o porquê de estudar, foi conselheira, motivadora e inspiradora.

Ao professor Fernando Silva Albuquerque por todo auxílio na parte estatística.

Aos professores da Coordenação de Engenharia Civil (COEC) do IFS campus Aracaju, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Aos demais professores do IFS, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

A todos os membros da Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente de Sergipe (SERHMA-SE) pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para a realização deste trabalho, em especial ao Superintendente Dr. Ailton Francisco da Rocha e o Meteorologista Overland Amaral Costa por confiarem em meu trabalho e permitirem a aplicação dos conhecimentos adquiridos no curso em ferramentas de uso comum da sociedade em relação a recursos hídricos.

Aos colegas do grupo de pesquisa, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

RESUMO

A seca é um fenômeno climático de consolidação lenta e gradual, porém com impactos significativos para o meio ambiente e a sociedade. No estado de Sergipe este fenômeno é recorrente na região semiárida a qual está incluída no polígono das secas. As medidas adotadas para redução dos danos causados pela seca, em sua maioria, são de maneira reativa, no entanto sabe-se que uma gestão de secas baseada em atividades de preparação da população seria mais eficiente, na medida em que fossem instalados sistemas de monitoramento e alerta precoce, reduzindo assim custos, prejuízos e a vulnerabilidade da população. No âmbito do monitoramento, em 2014, entrou em operação no país um importante produto para auxílio a tomada de decisão, principalmente em políticas públicas de gestão de recursos hídricos: o Monitor de Secas Do Brasil (MSB). O Monitor consiste na representação das condições de seca através de um mapa, que apresenta intensidade de seca e tipos de impactos. O mapa é elaborado mensalmente em um processo colaborativo e participativo, onde cada estado contido no mapa possui uma equipe de validação para confirmar as informações de seca antes da sua publicação oficial. Os validadores de Sergipe contam atualmente com produtos de apoio intrínsecos baseados apenas em variáveis de precipitação, índice de vegetação (NDVI) e informações de impactos de seca da rede de observadores locais. Este trabalho teve por objetivo avaliar a utilização da Evapotranspiração de Referência (ET_o) como uma variável auxiliar para classificação da seca pelos validadores locais de Sergipe. Para isto, adotou-se o método de Hargreaves & Samani para o cálculo da ET_o. Os valores de ET_o foram calculados de forma mensal, trimestral e semestral e em seguida foram comparados com as intensidades de seca apresentadas pelo MSB mês a mês no período de 2018 até 2020 através de correlações lineares. De todas as correlações propostas 72,2% foram correlações aceitáveis. Logo, o uso dos dados de ET_o podem vir a tornarem-se insumos de utilidade considerável para a criação de produtos de apoio para equipe de validação estadual.

Palavras Chave: Monitoramento da Seca, Evapotranspiração de Referência, Gestão de Riscos.

ABSTRACT

Drought is a climatic phenomenon with slow and gradual consolidation, but with significant impacts on the environment and society. In the state of Sergipe, this phenomenon is recurrent in the semiarid region, which is included in the drought polygon. The measures adopted against damage caused by drought, in its majority, is presented in a reactive way, however it is known that a drought management based on instructing activities to the population would be more efficient, insofar as monitoring and early warning systems were installed, thus reducing costs, losses and the vulnerability of the population. In the scope of monitoring, in 2014, an important product came into operation in the country to aid decision making, mainly in public water resource management policies: the Brazil's Monitor of Droughts (MSB). The Monitor consists of the representation of drought conditions through a map, which presents drought intensity and types of impacts. The map is drawn up monthly in a collaborative and participatory process, where each state contained in the map has a validation team to confirm drought information before its official publication. Sergipe's validators currently rely on intrinsic support products based only on variables such as rainfall, vegetation index (NDVI) and information on drought impacts from the network of local observers. This work aimed to evaluate the use of Reference evapotranspiration (ET_o) as an auxiliary variable for classification of drought by local validators of Sergipe. For this, the Hargreaves & Samani method was used to calculate the ET_o. The ET_o values were calculated on a monthly, quarterly and half-yearly basis and then were compared with the drought intensities presented by the MSB month by month in the period from 2018 to 2020 through linear correlations. Of all the proposed correlations, 72.2% were acceptable correlations. Therefore, the use of ET_o data may become inputs of considerable utility for the creation of support products for the state validation team.

Keywords: Drought Monitoring, Reference Evapotranspiration, Risk Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de secas e seus impactos	7
Figura 2 – Ciclo Hidro-ilógico	9
Figura 3 – Planejamento da seca nas visões de gerenciamento de risco e de crise.	10
Figura 4 - Mapa do Monitor de Secas do Brasil referente ao mês de outubro de 2020.	13
Figura 5 – Arranjo operacional do Monitor de Secas.....	17
Figura 6 – Adequação das etapas de elaboração do mapa do Monitor de Secas.....	19
Figura 7 –Mesorregiões do estado de Sergipe.....	30
Figura 8 - Isoietas de precipitação pluviométrica anual do Estado de Sergipe.	31
Figura 9 – Comportamento da temperatura média do ar para o estado deSergipe, durante os meses de janeiro a junho.....	33
Figura 10 – Comportamento da temperatura média do ar para o estado de Sergipe, durante os meses de julho a dezembro.....	34
Figura 11 – Divisão climática do Estado de Sergipe.....	35
Figura 12 –Localização das estações meteorológicas utilizadas	38
Figura 14 -Sobreposição do mapa de Sergipe ao mapa do MSB.	41
Figura 15 – Médias mensais da ETo e Intensidade de seca.....	53
Figura 16 – Coeficientes de correlação: mensal, trimestral e semestral.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Radiação solar extraterrestre para latitudes do hemisfério Sul.....	27
Tabela 2 – Estimativa dos valores médios mensais de temperatura das mesorregiões do estado de	32
Tabela 3 - Descrição de localização das estações meteorológicas.	37
Tabela 4 - Kr utilizado para estação meteorológica correspondente.....	39
Tabela 5 - Radiação solar extraterrestre (Ra):	40
Tabela 6 – Classificação numérica para intensidade de seca.	41
Tabela 7 - Temperaturas diárias (°C) para o mês de dezembro de 2020 da estação A409 – Aracaju.....	45
Tabela 8 – ETo(mm) para o mês de dezembro de 2020 da estação A409 – Aracaju.....	46
Tabela 9 – Evapotranspiração de Referência (mm) mensal.	48
Tabela 10 – Evapotranspiração de Referência (mm) Trimestral.	49
Tabela 11 – Evapotranspiração de Referência (mm) Semestral.....	50
Tabela 12 – intensidade de seca conforme MSB.....	52
Tabela 13 – Agrupamento de dados por mês (janeiro).....	55
Tabela 14 - Classificação dos Coeficientes de Correlação Linear de Pearson (r) (%).....	56
Tabela 15 - Coeficientes de Correlação Linear de Pearson (r) (%).....	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS:.....	4
2.1. Objetivos Gerais:	4
2.2. Objetivos Específicos:	4
3.1. Definição de Seca	5
3.1.1. Secas e Aridez	6
3.1.2. Secas e outros fenômenos socioeconômicos	6
3.1.3. Secas e superexploração de recursos hídricos	6
3.2. Gestão de Secas	8
3.3. O monitor de Secas do Brasil	11
3.3.1. Processo do Monitor de Secas	14
3.3.2. Instituições Envolvidas.....	15
3.3.3. Etapas de elaboração	16
3.3.4. Indicadores de Seca	19
3.3.4.1. Indicador padronizado de precipitação SPI.....	19
3.3.4.2. Indicador padronizado de precipitação-evapotranspiração (SPEI)	20
3.3.4.3. Indicador Padronizado de Escoamento (SRI)	21
3.3.5. Produtos de Apoio	21
3.4. Evapotranspiração.....	23
3.4.1. Método de Hargreaves-Samani	26
3.4.1.1. Experiências com o método	27
3.5. Correlação Linear	28
3.5.1. Coeficiente de Correlação Linear	28
4. METODOLOGIA.....	30
4.1. Área de estudo	30
4.3. Evapotranspiração de Referência (ETo)	38
4.3.1. Determinação do Coeficiente de Ajuste (Kr):	39
4.3.2. Determinação da radiação solar extraterrestre (Ra):	40
4.4. Intensidade de Seca.....	40
4.5. Correlação entre as variáveis (ETo x SECA)	42
4.5.1. Determinação das Correlações: coeficiente de correlação linear de Pearson (r)	43
4.6. Análise dos Resultados	43
5. RESULTADOS	44
5.1. Evapotranspiração de Referência (ETo)	44
5.2. Intensidade de Seca.....	51
5.3. Correlações	53

6. CONCLUSÃO.....	59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno climático que ocorre em uma região quando a precipitação, para determinado período, apresenta valores muito abaixo da normal climatológica. Embora não exista uma definição universal para a seca, esse fenômeno está sempre associado à deficiência hídrica, podendo ser avaliada em termos de sua duração, intensidade e variação espacial (BARRA et. al., 2002).

Os impactos socioeconômicos e ambientais da seca estão associados ao efeito conjunto dos impactos naturais e sociais que resultam numa falta de água, devido ao desequilíbrio entre a oferta e a procura do recurso água. De uma forma mais específica, é correspondente ao decréscimo acentuado das disponibilidades hídricas com consequências negativas nas pessoas e nas atividades econômicas, ou seja, na sociedade em geral (Santos e Portela, 2010. apud APA, 2017).

Historicamente, regiões com episódios de seca recorrentes costumam combatê-la através de medidas emergenciais, buscando alívio para a população por meio do fornecimento de água, alimento e ração para o gado. Além disso, em períodos secos é comum o desenvolvimento de projetos de infraestrutura hídrica, com o objetivo de aumentar a disponibilidade de água. Contudo, esse tipo de ações, característico de gestão de crise, apenas ameniza os efeitos já consolidados da seca, não contribuindo para o aumento de resiliência da população visando a ocorrências futuras (SANTOS, 2019).

Na tentativa de priorizar a gestão de riscos em vez de gestão de crises, alguns países a exemplo dos Estados Unidos, Austrália e Portugal, têm desenvolvido sistemas de monitoramento e alerta precoce, para monitorar e prevenir esses eventos, reduzindo assim custos, prejuízos e a vulnerabilidade da população. O monitor de secas é a ferramenta utilizada para este monitoramento, na qual são traçados mapas com informações sobre a categoria de seca e os tipos de impacto existentes espacialmente no território representado (BARRA et. al., 2002).

O Monitor de Secas do Brasil (MSB) consiste na representação das condições de seca de todos os estados da região nordeste (com adição dos estados de Minas Gerais, em 2018; Espírito Santo e Tocantins, em 2019; Rio de Janeiro, Goiás, Mato Grosso do Sul e São Paulo em 2020) através de um mapa elaborado mensalmente em um processo colaborativo e participativo. Para produção do mapa, são reunidas informações locais, dados e indicadores de diversas instituições envolvidas, visando a melhor compreensão da severidade, permanência ou

alívio de um período seco. É importante destacar que o mapa não consiste em uma previsão, mas em uma análise do estado da seca observado no último mês (SANTOS, 2019).

Um dos maiores diferenciais do Monitor em relação a outros produtos de monitoramento é a chamada fase de validação, em que o mapa é enviado aos estados participantes para confirmar ou refutar, com base em dados hidrometeorológicos estaduais e na vivência da realidade local, as definições de seca apresentadas. Assim, o processo de criação do Monitor torna-se participativo. (Adaptado de SANTOS, 2019).

Até o presente momento, o Monitor de Secas está fundamentado em três indicadores de secas, sendo dois deles meteorológicos que contemplam curto e longo prazos (o indicador padronizado de precipitação – SPI – e o indicador padronizado de precipitação-evapotranspiração – SPEI) e um hidrológico, de curto prazo (indicador padronizado de escoamento, SRI). São também empregados 12 produtos de apoio, a maior parte incluindo registros históricos em sua formulação, a exemplo do que ocorre com os indicadores, e buscam atender a demanda de informação para os diferentes setores que possuem alguma relação com a temática da seca. Os produtos de apoio são especialmente importantes em regiões com pouca densidade de informação ou sem nenhuma informação (BANCO MUNDIAL, 2015).

O estado de Sergipe possui atualmente apenas três estações meteorológicas na rede nacional com banco de dados de período acima de trinta anos, sendo que nenhuma delas encontra-se na região semiárida, o que caracteriza uma baixa densidade de informação histórica. Por outro lado, dispõe de sete estações automáticas em seu território e mais duas que fazem divisa com o estado de Alagoas que são de uso conveniente. Essas estações automáticas fornecem dados horários de variáveis como: temperatura, umidade, ponto de orvalho, pressão, vento, radiação e chuva.

A Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SERHMA), integrante da estrutura da Secretaria do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade (SEDURBS), fornece, mensalmente, um mapa estadual de índice de vegetação (NDVI), boletins de níveis dos reservatórios monitorados e registros de precipitação nos postos pluviométricos do Estado para 30 municípios de um total de 75. Entretanto, somente essa quantidade de dados, majoritariamente relacionados a precipitação, por vezes, não é suficiente para caracterização fiel da seca em Sergipe, o que dificulta o papel dos validadores em refutar a situação proposta inicialmente pelas instituições autoras do MSB. Diante disso, para um monitoramento mais eficiente, vê-se a necessidade da utilização de um índice de seca, além dos

relacionados à precipitação. Assim, com os dados das estações automáticas disponíveis, optou-se por estudar a evapotranspiração.

A evapotranspiração pode ser definida como a quantidade de água evaporada e transpirada por uma superfície vegetal durante determinado período, incluindo a evaporação da água do solo, a evaporação da água depositada na superfície das folhas e a própria transpiração do vegetal (MANTOVANI et. al, 2009).

Thornthwaite, (1946), considera a evapotranspiração como sendo um elemento climatológico fundamental que corresponde ao processo oposto da chuva. Um desequilíbrio climatológico com quantidades de evapotranspiração maiores que as quantidades de chuva em um determinado local por um longo período pode vir a desencadear problemas de utilização de recursos hídricos e até mesmo o surgimento de secas (adaptado de KOBAYAMA E VESTENA, 2006).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais:

Diante da importância do Monitor de Secas como instrumento de suporte à aplicação de políticas públicas, esta pesquisa tem como objetivo geral, estudar a evapotranspiração local e avaliar a possibilidade de sua utilização como ferramenta de apoio nas validações do mapa do Monitor no Estado, a fim de garantir uma melhor eficiência do monitoramento de secas em Sergipe.

2.2. Objetivos Específicos:

São objetivos específicos:

- Definir os postos que poderão ser utilizados como base de cálculo da evapotranspiração do estado de Sergipe;
- Definir qual o método de cálculo de evapotranspiração que melhor representa a realidade do Estado;
- Identificar o nível de correlação entre os valores de Evapotranspiração de Referência e as severidades de seca apontadas pelo mapa do Monitor de Secas no estado de Sergipe;
- Identificar quais escalas de tempo de dados de Evapotranspiração (mensais, trimestrais ou semestrais) têm maior correlação com as intensidades de seca apresentadas pelo Monitor.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Definição de Seca

A seca pode ser entendida como um evento temporário, recorrente, originado de precipitações abaixo do normal, e uma característica típica de qualquer localidade. As secas são, assim, eventos meteorológicos inevitáveis, e não há tecnologia disponível capaz de evitar sua ocorrência. Além disso, qualquer região, desde que exista a possibilidade de precipitações inferiores ao normal, é suscetível à ocorrência das secas (SMAKHTIN E SCHIPPER, 2008. apud SANTOS, 2016).

A definição de seca está interligada a sensibilidade de quem a vivencia, pois, no caso de agricultores, a seca pode ser notada através da ausência de chuva e redução da umidade do solo, enquanto companhias de abastecimento observam mais atentamente os níveis dos reservatórios. Uma vez que as regiões áridas e semiáridas do mundo diferem em características físicas, climáticas e socioeconômicas, não há um conceito universal para a seca (CIRILO, 2011).

Smakhtin e Schipper (2008), apud Santos (2016), aprofundam a abordagem das secas apontando para a vulnerabilidade como um conceito relativo. Eles adotam tal ideia num contexto social em que diversos fatores (nível de desenvolvimento, densidade, características, crescimento e distribuição populacionais, demanda por água e outros recursos naturais, políticas governamentais, mudança tecnológica, sistema político) determinam a vulnerabilidade de certo grupo social a um evento de seca. A fim de reduzir a vulnerabilidade às secas, ações preparatórias e preventivas devem ser enfatizadas. Essa é a mesma ênfase dada pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil no Brasil, quando em seu artigo 4º, indica como uma de suas diretrizes, a prioridade às ações preventivas relacionadas à minimização de desastres.

Fazer distinção clara entre o que é seca e em que medida ela se distancia dos desastres dela decorrentes consiste num passo fundamental. Falhando nessa fase, será mais fácil incorrer em um grave erro: associar as secas à culpa por problemas que não foram causados por ela, mas sim associados a outras questões, como, por exemplo, problemas na gestão de recursos hídricos, problemas econômicos, de infraestrutura etc. (SANTOS, 2016).

Santos (2016) distingue as secas de outros fenômenos conforme os itens a seguir:

3.1.1. Secas e Aridez

Pelo conceito que se joga mais apropriado, secas são desvios negativos da condição de normalidade das precipitações. Ao contrário, aridez é uma condição permanente de precipitações reduzidas. Nesse sentido secas são fenômenos suscetíveis de ocorrência em qualquer região, diferentemente de aridez, que é uma feição específica de uma determinada localidade geográfica.

Essa confusão é bastante recorrente, pois é constatado que é comum os locais mais áridos do planeta normalmente serem aqueles em que os desvios da condição de normalidade também são mais frequentes. Além de mais frequentes, pequenos desvios da condição de normalidade, já colocam essas regiões em condição de alerta. Em outras palavras, essas regiões são em geral mais vulneráveis às secas, o que pode até mesmo causar dificuldades de desenvolvimento econômico, em virtude das restrições impostas por uma oferta restrita de água.

3.1.2. Secas e outros fenômenos socioeconômicos

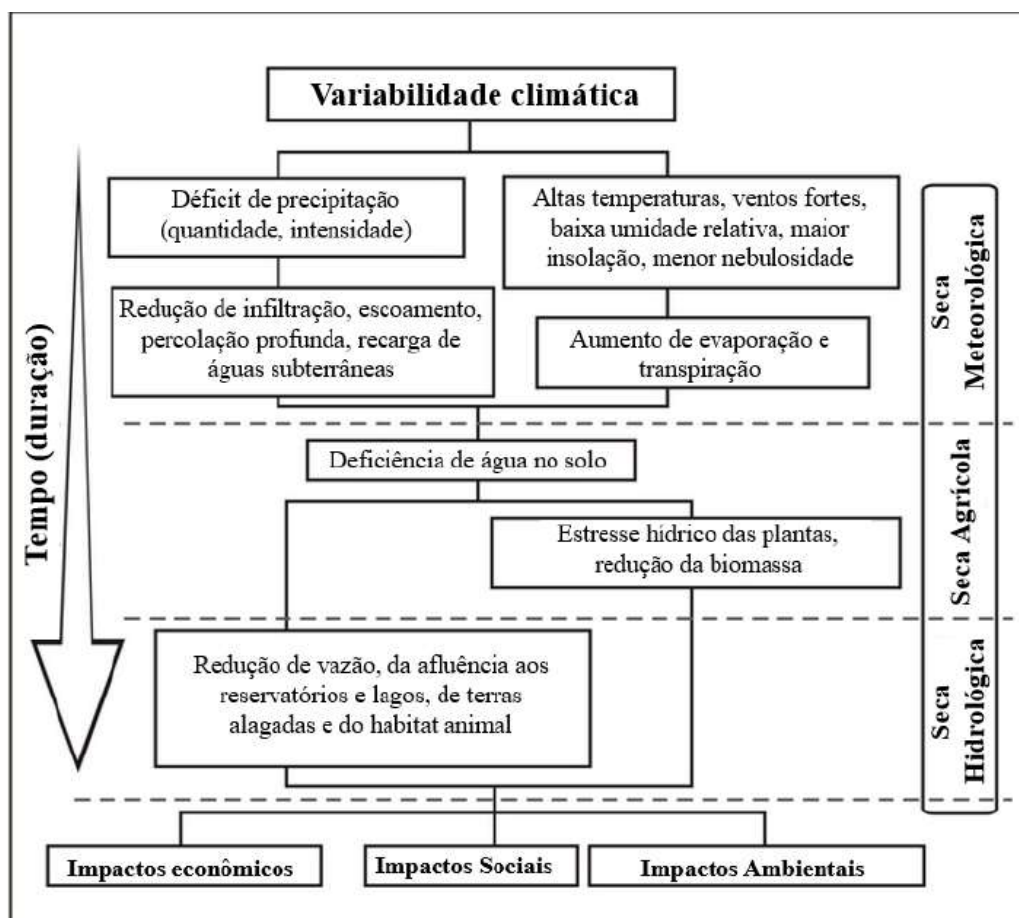
As secas podem ser muitas vezes o estopim de tragédias de grandes proporções, porém a causa maior por detrás dessas tragédias não é natural, mas sim, política e social. Na maioria dos casos, há condição social de grande vulnerabilidade, e, assim, ações assistenciais e humanitárias muitas vezes são mais eficazes para combater as grandes perdas humanas observadas nesses eventos. Outras políticas públicas que objetivam de maneira específica a gestão de secas, tais como implantação de medidas estruturais ou sistemas de alerta, embora de grande relevância, não vão surtir o efeito esperado caso aquelas primeiras também não sejam abordadas de modo contundente.

3.1.3. Secas e superexploração de recursos hídricos

A depleção contínua de reservatórios subterrâneos e vazões em rios costuma ser confundida com a seca, ainda que seja sabido que essa depleção muitas vezes ocorre em virtude de pressões crescentes sobre recursos naturais em decorrência do crescimento populacional. No oeste da Índia, por exemplo, é normal o uso impróprio do termo seca subterrânea para designar o esgotamento de aquíferos por conta de sua superexploração.

Na Figura 1 é apresentado o processo de evolução da seca e sua classificação em três categorias.

Figura 1 – Tipos de secas e seus impactos



Fonte: (Santos; 2019).

As três primeiras tratam a seca como um fenômeno físico, já a última lida com os efeitos da seca em termos de oferta e demanda.

O NDMC aborda os tipos de seca do seguinte modo:

- Seca meteorológica: para caracterizar esse tipo de seca, comparam-se valores de precipitação com a média (normal climatológica). Por isso, a seca meteorológica deve ser determinada com base em especificidades regionais;
- Seca agrícola: está voltada aos impactos agrícolas e à suscetibilidade das culturas à deficiência na umidade do solo, provocando um estresse hídrico para a vegetação;
- Seca hidrológica: está associada aos efeitos de baixas precipitações no abastecimento superficial ou subsuperficial. A seca hidrológica é percebida, principalmente, ao afetar os sistemas de armazenamento;

- Seca socioeconômica: ocorre quando a demanda por um bem excede a oferta, sendo consequência de um déficit no abastecimento de água. Desse modo, essa modalidade está relacionada aos demais tipos de seca e suas consequências socioeconômicas.

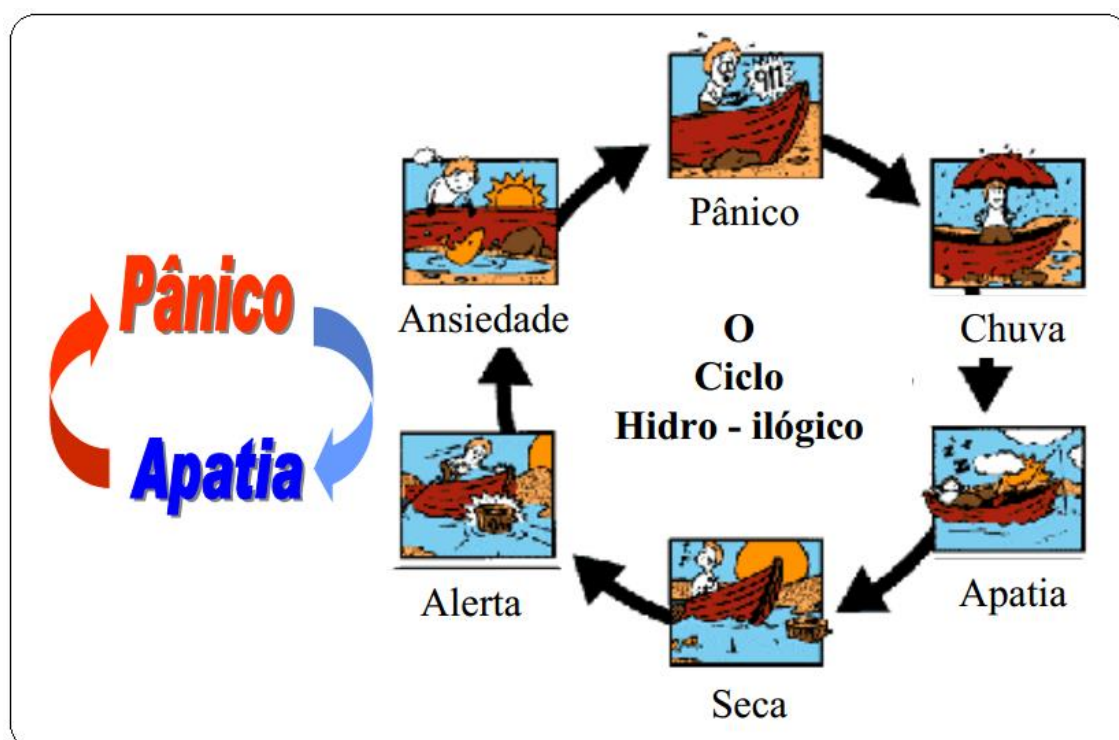
Para que seja desenvolvido um adequado planejamento para preparação e mitigação de impactos da seca, é primordial haver uma definição do estado de seca baseada na realidade climática e socioeconômica do local em questão. Desse modo, as políticas públicas podem ser planejadas e aplicadas de maneira mais objetiva e eficaz (SANTOS, 2019).

3.2. Gestão de Secas

A gestão da seca no seu sentido mais amplo deve integrar o planejamento dos sistemas hídricos com ações, no intuito de garantir o equilíbrio entre a disponibilidade e a demanda em horizontes futuros, além de regras de operação desses sistemas para as condições atuais e regras para cenários futuros de seca, e ainda estratégias de gestão e resolução de cenários operacionais para mitigar as condições de seca (González e Morcillo, 2007. apud SANTOS, 2019).

Historicamente, as ações associadas a seca somente acontecem em período de ocorrência da mesma, caracterizando o que pode ser chamado de ciclo “Hidro-ilógico” (Figura 2), em que a apatia é a primeira etapa desse ciclo, em que há água suficiente para assegurar todos os usos. Em seguida vem a falta de chuva, que no primeiro momento passa despercebida, mas com o prolongamento da escassez hídrica, a população vai ficando ansiosa e começam as campanhas reativas de restrições de usos. Com o agravamento da seca, a sociedade começa a entrar em pânico, mas com a chegada da chuva, vem o alívio e com isso, nem os cidadãos nem os tomadores de decisões, sentem ou vêm a necessidade de se preparar para a próxima seca, porém, quando essas retornam, despertam mais uma vez preocupação e medo ao enfrentá-la (WILHITE et al., 2005. apud ARAÚJO, 2018).

Figura 2 – Ciclo Hidro-ilógico



Fonte: (Wilhite; 2005. apud ARAÚJO, 2018).

Um dos instrumentos capazes de fazer esse ciclo vicioso se romper é o planejamento que, conceitualmente, é um mecanismo capaz de conduzir a reflexões antecipadas e sistemáticas, fazendo-se necessário como um processo contínuo e integrado dentro de uma visão de gerenciamento de riscos de secas (Figura 3).

A gestão de riscos de seca tem como principal característica uma abordagem proativa das ações de curto e longo prazo, que devem ser tomadas, associadas à seca. Essa abordagem, em geral, considera de maneira integrada diferentes aspectos de riscos de modo a propiciar alguns benefícios, tais como geração de uma base robusta e confiável para o planejamento e tomada de decisão, melhoria na identificação das ameaças e oportunidades, alocação e uso mais efetivo dos recursos e melhoria na conformidade com a legislação vigente (WILHITE et al., 2000; MARCELINO, 2008. apud ARAÚJO, 2018).

Figura 3 – Planejamento da seca nas visões de gerenciamento de risco e de crise.



Fonte: (Wilhite; 2000. Apud ARAÚJO, 2018)

A gestão de secas no Brasil tem focado em respostas paliativas e não nas vulnerabilidades diante de tal fenômeno, sendo basicamente uma resposta à crise já instalada, ou seja, uma Gestão Reativa às secas. Existe a necessidade de uma mudança de paradigma, passando desta Gestão de Crises para uma Gestão de Riscos diante da possibilidade de ocorrência de uma seca. A Gestão de Riscos, ou, em outras palavras, uma gestão proativa da seca, significa tratar as vulnerabilidades, e não os sintomas, a partir de mecanismos para melhor monitorar e antecipar eventos de seca, o que deve orientar as medidas de preparação e alívio aos efeitos da seca (BANCO MUNDIAL, 2015).

Observa-se que a transição da gestão de crises para gestão de riscos é um processo lento e que exige vontade política. Para a mudança de paradigma no Brasil, o Banco Mundial definiu três pilares de preparação para a seca, a saber:

a) Monitoramento e previsão/alerta precoce: são os fundamentos para a elaboração de um plano de seca. Eles envolvem a utilização de índices e indicadores de seca como gatilhos para ação e servem de ferramenta de suporte à decisão;

b) Vulnerabilidade/resiliência e avaliação de impactos: desse modo, identifica-se quem, o que e por que está em risco. Requer monitoramento dos impactos para melhor caracterizar as secas;

c) Mitigação e planejamento de respostas e medidas: diz respeito a programas pré-seca, ações de curto e longo prazo para redução de riscos, programas de resposta para o início da seca e programas de pesquisa.

A partir desses três aspectos da preparação para a seca, busca-se superar as limitações existentes nas políticas públicas brasileiras, a exemplo de: (BANCO MUNDIAL, 2015):

- Ações emergenciais coordenadas por comitês de seca temporários (em períodos de seca) e não por instituições permanentes;
- Fragilidades institucionais nos estados, ficando sujeitos aos programas propostos pela União;
- Atuação independente das instituições de monitoramento e previsão meteorológica, com consequente discordância entre estados e União sobre a severidade da seca;
- Pouca utilização das informações úteis produzidas pela diversidade de instituições;
- Pequena compreensão das vulnerabilidades do Semiárido.

Dentre os principais desafios brasileiros em relação às respostas do governo às secas é o planejamento e a integração entre as instituições. Mas, esforços conjuntos têm sido empregados nos últimos anos para garantir o monitoramento e preparação para a seca, isso sugere uma mudança de abordagem para a gestão de riscos. Exemplo disso é a consolidação do Monitor de Secas, ferramenta de acompanhamento das condições de seca no Nordeste e, mais recentemente, nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Tocantins, Rio de Janeiro, Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (SANTOS, 2019).

3.3. O monitor de Secas do Brasil

O atual Monitor de Secas do Brasil (MSB), que é baseado no Monitor de Secas dos Estados Unidos (USDM, United States Drought Monitor), consiste na representação das

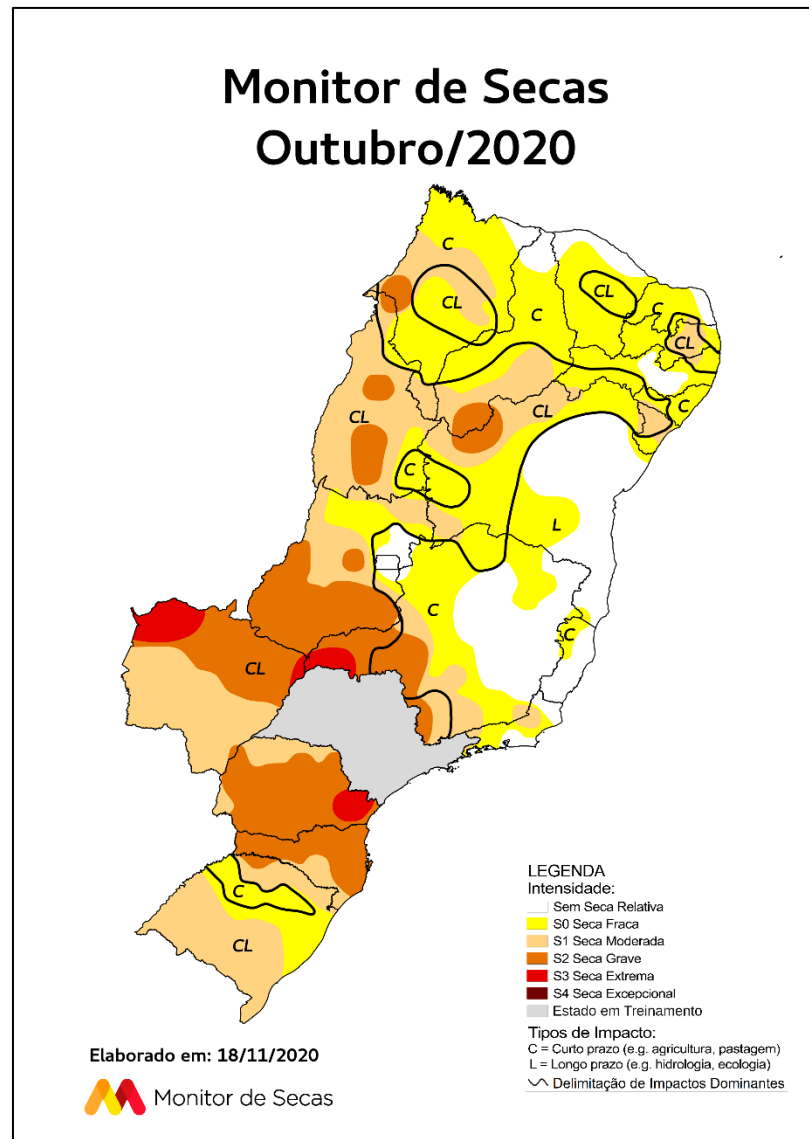
condições de seca através de um mapa elaborado mensalmente em um processo colaborativo e participativo. Para a produção do mapa, são reunidas informações locais, dados e indicadores de diversas instituições envolvidas, visando a melhor compreensão da severidade, permanência ou alívio de um período seco. É importante destacar que o mapa não consiste em uma previsão, mas em uma análise do estado da seca observado no último mês (SANTOS, 2019).

Para a elaboração do mapa são considerados índices e indicadores de seca e dados de climatologia local, que refletem a intensidade da seca em fraca, moderada, grave, extrema e excepcional. De acordo com as categorias são classificadas em S0 (Seca Fraca), cujos impactos são: quando entrando em seca, veranico de curto prazo diminuindo plantio, crescimento de culturas ou pastagem e quando saindo de seca, alguns déficits hídricos prolongados, pastagens ou culturas não completamente recuperadas; S1 (Seca Moderada), cujos impactos são: alguns danos às culturas, pastagens; córregos, reservatórios ou poços com níveis baixos, algumas faltas de água em desenvolvimento ou iminentes; restrições voluntárias de uso de água solicitadas; S2 (Seca Grave), cujos impactos são: perdas de cultura ou pastagens prováveis, escassez de água comum, restrições de água impostas; S3 (Seca Extrema), cujos impactos são: grandes perdas de culturas, pastagem, escassez de água generalizada ou restrições; S4 (Seca Excepcional), cujos impactos são: perdas de cultura e pastagem excepcionais e generalizadas, escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência (BANCO MUNDIAL, 2015).

Além das cores relacionadas às categorias de seca, existem delineamentos que indicam os tipos de impactos existentes na área delimitada, representadas pelas letras “C”, “L” ou “CL”, que significam: “C”: seca de curto prazo, por volta de três e quatro meses, com impactos na agricultura e pastagens; “L”: seca de longo prazo, a partir de 12 meses, com impactos hidrológicos e ecológicos; “CL”: combinação de impactos de curto e longo prazo (ANA, 2018).

As informações de severidade de seca e seus respectivos impactos são representadas no mapa do Monitor, cujo exemplo é apresentado na Figura 4, que é o mapa referente ao mês de outubro de 2020.

Figura 4 - Mapa do Monitor de Secas do Brasil referente ao mês de outubro de 2020.



Fonte: (MONITOR DE SECAS; 2020).

Através da Figura 4 pode-se observar que no mês de outubro de 2020 no estado de Sergipe, a porção sul do Estado e parte da região do Baixo São Francisco se encontravam em Seca Fraca e o resto do Estado em Seca Moderada. Na porção noroeste os impactos são de curto e longo prazo e no restante do Estado de curto prazo.

3.3.1. Processo do Monitor de Secas

Para adequada interpretação das informações fornecidas pelo Monitor, faz-se necessário, primeiramente, compreender alguns conceitos definidos na sua fase experimental de desenvolvimento. Tais definições fundamentam o Monitor de Secas do Brasil (BANCO MUNDIAL, 2015; MARTINS et al., 2016b. apud SANTOS, 2019):

- Seca relativa: para o cálculo dos indicadores do Monitor, é considerada a série histórica dos dados de cada estação. Desse modo, é possível comparar localidades distintas de modo espacialmente consistente. Isso significa que o que está sendo avaliado é a situação de determinado local em relação ao seu histórico, e não à sensação subjetiva de seca;
- Seca natural ou física: a informação apresentada pelo Monitor está relacionada às condições naturais intrínsecas ao fenômeno físico da seca. De modo semelhante ao Monitor de outros países, busca-se evitar conflitos de interesse provenientes de sistemas sujeitos ao gerenciamento humano. A seca “operacional” ou “gerenciável” deve, portanto, ser considerada em planos de preparação para a seca;
- Caráter regional do Monitor: o Monitor é, inicialmente, uma visão macro da seca, ou seja, trata da região como um todo, evitando o uso de divisões políticas. Devido à variação da densidade da rede de dados observados entre estados e municípios, o delineamento da seca não é perfeito, mas deve ser a melhor representação consensual da seca possível;
- Impactos da seca: as características de curto e longo prazo consideradas nos mapas estão ligadas aos impactos provocados em diferentes setores. A seca de curto prazo afeta a agricultura e a pecuária, enquanto a de longo prazo atinge a hidrologia e a ecologia, por exemplo.

Além das definições anteriores é importante reconhecer que o Monitor de Secas é um processo colaborativo e não apenas um mapa gerado automaticamente a partir de dados ou índices. A maioria dos produtos de monitoramento tradicionais focam na quantidade de precipitação observada, o que não reflete, necessariamente, as condições de seca existentes. Por exemplo, precipitação abaixo da média em determinado mês pode resultar em safras acima da média devido à distribuição temporal da precipitação. Por isso, a dimensão meteorológica da seca não deve ser a única observada (BANCO MUNDIAL, 2015).

Outras diferenças entre o Monitor e outros tipos de monitoramento são a combinação de dados e indicadores de diversas instituições, a interpretação das informações de seca pelos autores do mapa e a validação do mesmo com base em impactos percebidos por agentes que

vivenciam a seca localmente. Desse modo, consideram-se outras dimensões da seca, como a agrícola e a hidrológica.

3.3.2. Instituições Envolvidas

A elaboração mensal do Monitor e sua consolidação requerem articulação e colaboração intensas entre as instituições federais e estaduais envolvidas no processo. Durante a atualização do mapa, as atividades necessárias à sua produção encontram-se divididas entre os seguintes grupos responsáveis: instituições provedoras de dados, instituição central, autores, validadores e observadores.

As instituições provedoras de dados são entidades e órgãos estaduais, federais ou internacionais que fornecem informações pertinentes para o Monitor na forma de dados observados, que são usados no cálculo de indicadores de seca ou produtos de apoio (BANCO MUNDIAL, 2015).

A Instituição Central (IC), representada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) desde 2015, é a responsável por coordenar o processo de atualização do Monitor. Algumas de suas funções operacionais são: a) preparar os dados; b) calcular os indicadores de seca utilizados; c) preparar o projeto em um programa de Sistema de Informações Geográficas (SIG); d) dar suporte aos autores e validadores; e) publicar o mapa no *site* do Monitor; f) emitir relatório anual do Monitor; g) treinar autores e validadores e h) fortalecer o processo (BANCO MUNDIAL, 2015).

Antes de a ANA assumir como IC em 2015, cabia à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) desempenhar as responsabilidades do cargo. Na prática, essa instituição ainda executa atividades importantes, como o recebimento e tratamento dos dados e cálculo dos índices, além de auxiliar a ANA no treinamento de novos validadores.

Os autores são as entidades que se alternam mensalmente para representar a situação da seca. Desse modo, são responsáveis por utilizar os dados, indicadores e produtos de apoio para elaboração do mapa, além de coordenar o processo de validação. Atualmente, os autores são a FUNCEME, a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e o Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA) (MARTINS et al., 2016).

Os validadores, também chamados de pontos focais, são as instituições com competência estadual para confirmar a situação de seca apresentada pelos autores ou sugerir alterações para adequar o mapa à realidade local. Dentro do conceito de validação, existe

também a figura dos observadores, que são profissionais de setores ligados aos recursos hídricos com maior capacidade de percepção dos impactos de seca observados nos estados.

Em Sergipe, a Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SERHMA), integrante da estrutura da Secretaria do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade (SEDURBS), é responsável pela validação, tendo auxílio de um comitê técnico-científico formado por docentes e discentes da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e do Instituto Federal de Sergipe (IFS). Quanto aos observadores, tem-se técnicos da Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO), representantes das prefeituras municipais e da Defesa Civil.

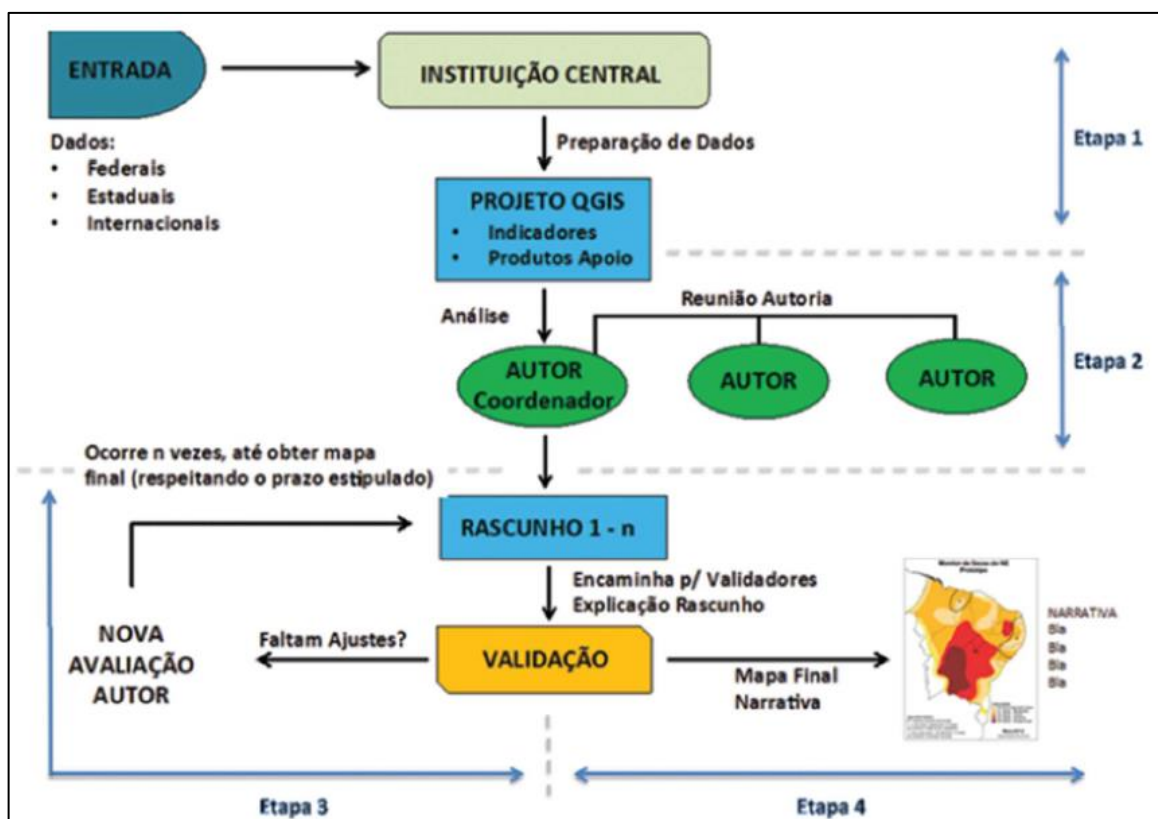
Após a publicação do mapa no *site* do Monitor (<http://monitordesecas.ana.gov.br/>), a sociedade em geral e entidades interessadas podem fazer uso do produto final no auxílio à tomada de decisão. Em Sergipe, por exemplo, informações obtidas através do Monitor já costumam aparecer em jornais e outros meios de comunicação.

3.3.3. Etapas de elaboração

O processo de atualização mensal dos mapas do MSB divide-se em quatro etapas: (1) preparação dos dados; (2) traçado do mapa; (3) validação do Monitor; (4) publicação do mapa.

A Figura 5 apresenta o esquema operacional do Monitor de Secas.

Figura 5 – Arranjo operacional do Monitor de Secas.



Fonte: (Banco Mundial, 2015).

A primeira etapa é realizada pela Instituição Central, que reúne e trata os dados das diversas instituições para o cálculo dos índices de seca (Seção 3.3), bem como recebe os produtos de apoio necessários para confirmar e convergir as informações. Os índices, mapas associados e produtos de apoio são preparados até o oitavo dia do mês e enviados para os autores em um programa SIG (MARTINS et al., 2016).

Os autores são responsáveis pelo desenho do mapa (segunda etapa), que deve representar as condições de seca da região Nordeste e dos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Tocantins. Para dar início à produção, eles se baseiam no mapa do mês anterior, em conjunto com os indicadores de seca e os produtos de apoio do mês em questão. Desse modo, prepara-se a primeira versão do mapa, chamada de Rascunho Zero ou R0, acompanhada de uma descrição textual dos principais elementos que levaram ao traçado proposto. O R0 é apresentado aos demais autores e discutido na chamada reunião de autoria (autores com a IC), realizada por videoconferência. Após a discussão, são feitos os ajustes necessários e um novo Rascunho, R1, é enviado aos validadores, que também recebem os índices de seca, produtos de apoio, texto descritivo do R1 e formulários de validação (BANCO MUNDIAL, 2015).

É interessante ressaltar que o traçado do mapa é feito de modo manual, e não automático. Inicialmente, os autores recebem da IC os indicadores e produtos de apoio, bem como o mapa do mês anterior, em forma de camadas de um arquivo do programa QGIS, um *software* livre de SIG. Por meio da observação dos índices de curto e longo prazo, das características climáticas observadas e do seu próprio conhecimento, os autores identificam as áreas em que houve aumento ou diminuição de categoria de severidade, bem como as regiões que estão sofrendo impactos de curto, longo ou curto e longo prazos. Assim, partindo-se do mapa do mês anterior, são feitas as alterações necessárias. Após a reunião de autoria e envio do R1, tem-se a etapa de validação, que é o maior diferencial do Monitor de Secas em relação aos métodos tradicionais de monitoramento. Nessa etapa, o R1 é analisado pelos validadores através de informações locais, a exemplo de relatórios climáticos. Adicionalmente, a cada mês, os observadores de cada estado preenchem os chamados Formulários Mínimo Padrão, com perguntas voltadas aos impactos locais da seca, e encaminham aos validadores. Essas informações auxiliam na verificação da severidade da seca indicada no mapa pelos autores. Após análise do R1, o validador preenche um formulário de validação, concordando ou não com as condições de seca sugeridas pelo autor. Em caso de discordância, as sugestões de alteração no mapa devem ser justificadas com base em argumentos pertinentes (SANTOS, 2019).

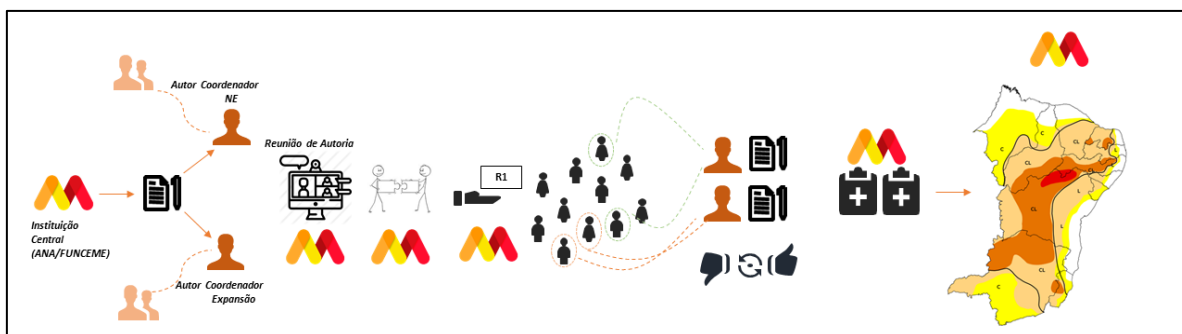
Contudo, devido à responsabilidade do autor pelo mapa publicado, pode-se acatar ou não as propostas dos validadores (BANCO MUNDIAL, 2015).

Depois de analisar as recomendações de cada estado, um novo mapa, revisado, é enviado novamente pelos autores para validação. Esse processo pode ser repetido “n” vezes até atingir uma opinião consensual entre autores e validadores, devendo durar até cerca de três dias úteis (MARTINS et al., 2016).

Por fim, na etapa 4, o autor disponibiliza para a IC o produto final a ser publicado, composto pelo Mapa Final e a Narrativa, que consiste em um texto com a descrição das condições climáticas da região, a síntese do traçado e comentários das condições de seca para cada estado. No *site* do Monitor, a IC disponibiliza outras informações: mapa de alterações mensais de categoria de seca; comparações entre mapas passados; dados tabulares acerca da evolução percentual da seca entre as categorias e o histórico dos mapas do Monitor (ANA, 2018).

É importante ressaltar que com a expansão do Monitor de Secas foi realizada uma adequação no processo de elaboração, esquematizado na Figura 6.

Figura 6 – Adequação das etapas de elaboração do mapa do Monitor de Secas.



Fonte: (ANA, 2019).

Devido a expansão do Monitor de Secas, tem-se duas instituições autoras, uma para os estados do Nordeste (FUNCEME-CE, APAC-PE ou INEMA-BA) e outra para os estados das demais regiões (IGAM-MG ou INCAPER-ES). Estas instituições realizam uma reunião de autoria onde discutem seus procedimentos e unem seus mapas para serem entregues em um único R1, com isso, na etapa de validação, as análises dos formulários também são divididas entre estados do Nordeste e os das demais regiões e assim o mapa final, único, tem duas instituições autoras.

As instituições autoras, por sua vez, conduzem o traçado do mapa com base em indicadores de seca e produtos de apoio que serão comentados a seguir.

3.3.4. Indicadores de Seca

A compreensão mais eficaz para investigar a seca e seus impactos, incluindo seu começo e o seu fim, está na utilização de índices criados por vários pesquisadores para medir a severidade da seca. Os índices de seca assimilam vários anos de variáveis meteorológicas como: precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração, escoamento superficial (*runoff*), umidade do solo, entre outras variáveis, e assim as combinam a fim de identificar o início de um período de seca-(FERNANDES et al., 2009).

No desenvolvimento do mapa do Monitor de Secas do Brasil, de acordo com o Banco Mundial (2015) são considerados os seguintes indicadores:

3.3.4.1. Indicador Padronizado de Precipitação (SPI)

O Indicador Padronizado de Precipitação ou SPI (Standardized Precipitation Index) é considerado um indicador de fácil obtenção, pois utiliza somente precipitação como dado de

entrada. A partir dos dados observados de todas as estações pluviométricas (automáticas e convencionais), é possível acumular o SPI de cada estação para intervalos relativos a três e quatro meses com o intuito de identificar possíveis secas de curto prazo, assim como para intervalos de doze, dezoito e vinte e quatro meses visando identificar secas de longo prazo. Também é calculado para o intervalo de seis meses para verificar a transição entre curto e longo prazos.

Entre as vantagens deste indicador pode-se citar: (i) flexibilidade de uso em diferentes escalas de tempo, que refletem a influência da seca em diferentes fontes hídricas, e, conseqüentemente, indicando o impacto em curto, médio e longo prazos; (ii) o SPI possui valor único e com natureza probabilística (conceito de seca relativa), indicando a situação do período analisado em relação à natureza histórica dos dados registrados; e (iii) espacialmente consistente, permitindo a comparação entre diferentes localidades.

Em termos de desvantagens, podemos listar as seguintes: (i) a precipitação é o único parâmetro de entrada, assim a seca é avaliada levando-se em consideração somente o acumulado dessa grandeza; (ii) não possui componente de balanço de água; e (iii) os valores se modificam com a atualização da série de dados.

3.3.4.2. Indicador Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração (SPEI)

O Indicador Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração ou SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) é calculado com os dados de estações meteorológicas que possuem medições de precipitação e temperatura. É um indicador semelhante ao SPI, que calcula um balanço hídrico simplificado ponderando informações de precipitação e evapotranspiração. Esse indicador inclui efeitos da variabilidade da temperatura na avaliação da seca. Baseia-se em uma simples metodologia de balanço de água para obter as diferenças mensais entre a precipitação e a Evapotranspiração de Referência (ET_o). Essa última pode ser calculada a partir da fórmula de Hargreaves ou Thornthwaite com base na temperatura e em outras informações básicas da estação. Entre as vantagens desse indicador, além das mencionadas para o indicador SPI, pode-se citar (i) utiliza dados de precipitação, e também dados de temperatura, permitindo o cálculo da evapotranspiração (ET_o); e (ii) possui componente de balanço de água no solo.

Em termos de desvantagens, podemos listar as seguintes: (i) valores modificam com a atualização da série de dados; (ii) existe uma dificuldade grande de conseguir longas séries de temperatura e precipitação para uma mesma localidade; e (iii) sensível ao método de cálculo da Evapotranspiração.

3.3.4.3. Indicador Padronizado de Escoamento (SRI)

A necessidade da inclusão de um indicador hidrológico no Monitor levou à análise de algumas opções, as quais consistem desde a utilização de séries de redes de monitoramento hidrológico (níveis de reservatórios, vazões, etc.) até a utilização de características do processo de precipitação mais relacionadas ao escoamento. Buscou-se um indicador que apresentasse as seguintes características: (i) indicador simples; (ii) consistente com o processo de escoamento; (iii) que evitasse o uso dos dados diretos de vazão e nível devido a problemas como influência de reservatórios, inconsistência nas séries, ausência ou problemas na informação de liberações dos reservatórios na maioria dos estados; (iv) fizesse uso das características da distribuição temporal da precipitação diária que estão relacionadas com o escoamento superficial; (v) possa ser calculado para cada estação pluviométrica, facilitando assim o desenho do Mapa do Monitor; e (vi) normalizado para as categorias do Monitor, facilitando sua interpretação.

Entre as vantagens do SRI, além das já mencionadas para o indicador SPI: (i) simples; (ii) evita-se o uso dos dados diretos de vazão e nível devido aos problemas já conhecidos; e (iii) faz uso das características da distribuição temporal da precipitação diária que estão relacionadas ao escoamento superficial.

As desvantagens do SRI são, por sua vez, devido às dificuldades de monitoramento no passado e no presente, a saber: (i) necessita de longa série de dados observados diários de precipitação para melhor ajuste e cálculo dos parâmetros para cada posto; (ii) necessita de dados diários observados de vazão para validação; e (iii) necessita de uma rede densa de postos observados para uma melhor representação a partir da interpolação dos dados.

3.3.5. Produtos de Apoio

De acordo com Santos (2019), os produtos de apoio são informações fornecidas por instituições nacionais e internacionais, de modo a complementar os índices de seca calculados. Na construção do Monitor de Secas, esses produtos são de fundamental importância, especialmente para as regiões com poucos dados.

Os produtos atualmente utilizados são (MARTINS et al., 2016):

- Informações de precipitação acumulada, climatologia e anomalias;
- Dados de umidade do solo;
- Índice de saúde da vegetação;
- Modelo digital de elevação;
- Produtos combinados de curto e longo prazo;
- Camadas do mês anterior.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) fornece mapas baseados na sua rede de estações de monitoramento, a exemplo de mapas de precipitação acumulada de 30 e 90 dias, precipitação acumulada do Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO), mapas climatológicos da precipitação mensal, desvios de precipitação mensal e trimestral, precipitação acumulada disponibilizada na forma de quantis e índice padronizado de precipitação do INMET (diferente do SPI, pois considera apenas estações do INMET) (BANCO MUNDIAL, 2015).

De modo semelhante, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) contribui com mapas de precipitação acumulada, climatologia e anomalia. Para auxiliar na elaboração do Monitor, são utilizados mapas de um mês (para os últimos quatro meses), do último trimestre e do último ano (BANCO MUNDIAL, 2015).

Para iniciar o traçado do mapa, os autores costumam analisar os produtos do INMET e do CPTEC para identificar áreas com anomalias negativas de precipitação, indicando, portanto, existência de seca. Adicionalmente, a precipitação acumulada dos últimos mês e trimestre pode sugerir reduções de impactos de curto prazo devido a ocorrência de chuvas. Já a ausência de chuvas indica agravamento da seca e possível aumento de categoria (SANTOS, 2019).

O Centro de Previsão Climática da Administração Oceânica e Atmosférica dos EUA (CPC/NOAA, Climate Prediction Center/Nacional Oceanic and Atmospheric Administration) provê um mapa de anomalias de umidade do solo em percentis, calculados com base em dados de precipitação e temperatura (BANCO MUNDIAL, 2015). Esse mapa, relativo à América do Sul, indica as condições de umidade do solo no último mês, sendo útil na identificação de efeitos de curto prazo da seca.

Outro produto utilizado é o Índice de Saúde da Vegetação (VHI, Vegetation Health Index), proveniente do Centro de Aplicações de Satélite e Pesquisa, do Serviço de Satélite e Informação da NOAA. Para o Monitor, são utilizados mapas da semana atual e variação em

relação à semana anterior, ao último mês e ao último ano. Com o VHI, tem-se informações sobre as condições de cultura e produção (BANCO MUNDIAL, 2015).

Para diferenciação orográfica de estações próximas, o que pode interferir nos dados observados e valores calculados, utiliza-se o Modelo Digital de Elevação (MDE). O MDE representa de modo matemático e computacional, a topografia do terreno (BANCO MUNDIAL, 2015).

Os Indicadores Combinados de Curto (ICC) e Longo Prazo (ICL) combinam as dimensões meteorológica e agrícola da seca, através do SPI e do SPEI de curto (3 e 4 meses) e longo (12, 18 e 24 meses) prazos, respectivamente, considerando-se os valores mais negativos de cada índice (BANCO MUNDIAL, 2015).

Finalmente, após analisar as informações fornecidas pelos indicadores e produtos de apoio, os autores fazem as alterações necessárias à atualização mensal do Monitor a partir do mapa do mês anterior, uma vez que a seca é um fenômeno gradativo.

3.4. Evapotranspiração

A diferença fundamental entre o Monitor de Secas e sistemas convencionais é a ênfase dada ao processo participativo que gera criação de seu produto-chave (o mapa mensal da seca), em oposição a uma geração automática com base em cálculos numéricos e indicadores de seca que não refletem, necessariamente, a intensidade e/ ou a natureza da seca vivenciada em determinada localidade. Na verdade, a maioria dos produtos tradicionais de monitoramento da seca se concentra apenas nas dimensões meteorológicas das secas. No entanto, precipitações abaixo da média em determinado período, por exemplo, podem gerar colheitas acima da média e em descargas-médias em reservatórios também acima da média, dependendo de sua distribuição temporal. Logo, do ponto de vista da formulação de políticas públicas, monitorar as secas apenas com o olhar meteorológico é insuficiente (BANCO MUNDIAL, 2015).

É perceptível que a variável predominante na maioria dos indicadores de seca e produtos de apoio é a precipitação, porém de acordo com APA (2017), a ausência prolongada de precipitação não determina obrigatoriamente a ocorrência de um fenômeno de seca. Se a situação antecedente de humidade no solo for suficiente para não esgotar a capacidade de suporte dos ecossistemas agrícolas, ou se existirem estruturas com capacidade de

armazenamento superficial ou subterrâneo suficiente para colmatar as necessidades de água indispensáveis às atividades socioeconômicas, não se considera estar perante uma seca.

Assim, de modo a possibilitar a gestão das situações de seca de forma mais eficaz, com a adoção de medidas apropriadas a cada fase de agravamento, há a necessidade de definição e avaliação de indicadores que permitam fixar as condições para declarar níveis de alerta com base em critérios técnico-científicos. Porém, na análise de situações de seca no passado recente, verificaram-se algumas divergências nas repercussões que estas tiveram no país (APA, 2017).

É possível que, num determinado período temporal em que se verifique um desvio de precipitação acentuado face à média, não haja repercussões nas reservas hídricas superficiais, mas provoque perdas acentuadas na agricultura, principalmente agricultura de sequeiro e pecuária extensiva. O contrário também poderá ocorrer quando, após uma seca plurianual, ocorra um ano de precipitação normal, com rápida recuperação da agricultura, podendo esta já ter um ano produtivo normal, mas ainda serem necessárias medidas de contingência no consumo de água, uma vez que as reservas hídricas poderem ainda estar a recuperar os níveis médios normais (APA, 2017).

Daí, surge a necessidade de estudo de outra variável independente de precipitação para ser incorporada ao processo do Monitor de Secas, dentre elas, a que melhor representa um balanço de entradas e saídas é a evapotranspiração.

O termo evaporação é usado para designar a transferência de água para a atmosfera, sob a forma de vapor, decorrente, tanto da evaporação que se verifica no solo úmido sem vegetação, nos oceanos, lagos, rios e em outras superfícies hídricas naturais, como da sublimação que se processa nas superfícies de gelo (geleiras, campos de neve etc.). O termo evapotranspiração é empregado para exprimir a transferência de vapor d'água para a atmosfera, proveniente de superfícies vegetadas. A evapotranspiração engloba duas contribuições: a evaporação da umidade existente no substrato (solo ou água) e a transpiração resultante da atividade biológica dos seres vivos que o habitam (SILVA, 2006).

A evaporação e a evapotranspiração são indicadas nas mesmas unidades da precipitação, utilizando-se a altura da lâmina de água, expressa em milímetros. Um milímetro de evaporação, ou de evapotranspiração, equivale à transferência, para a atmosfera, de um litro de água para cada metro quadrado da projeção horizontal da superfície-fonte (SILVA, 2006).

A evapotranspiração pode ser classificada em dois tipos: a real (ETR) e a potencial (ou de referência) (ET_o). A primeira é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação, nas condições reais de fatores atmosféricos e umidade do solo (TUCCI e

BELTRAME, 2001). A segunda é a quantidade de água transferida à atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo de uma superfície extensa e completamente coberta por vegetação de porte baixo e bem suprida de água, ou seja, considerando condições ideais para a mesma (PENMAN, 1956. apud TUCCI, 2001).

Em regiões áridas e semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é fator limitante da produção agrícola e, em situações menos favoráveis, que chega mesmo a pôr em risco a sobrevivência de populações inteiras, o conhecimento da distribuição espacial e temporal da transferência de vapor d'água para a atmosfera facilita bastante o estabelecimento de políticas visando ao uso racional da água. Estudos dessa natureza possibilitam a aquisição de conhecimentos que proporcionem melhor controle do aproveitamento de grandes reservatórios, racionalizando a demanda de água para fins industriais, domésticos e agrícolas. Também torna possível quantificar melhor as lâminas de água usadas na irrigação e os turnos de rega, minimizando os desperdícios e mantendo o solo em uma faixa de umidade adequada às plantas (SILVA, 2006).

De acordo com Pereira et. al. (1997), a medida direta da evapotranspiração é extremamente difícil e onerosa. Difícil porque exige instalações e equipamentos especiais; e onerosa porque tais estruturas são de alto custo, justificando-se apenas em condições experimentais.

São vários os métodos para a obtenção da evapotranspiração por medições indiretas. No Brasil é muito utilizado o método de Thorntwaite, devido o mesmo necessitar apenas da variável temperatura para seu cálculo, entretanto esse método é indicado para uso em regiões de climas temperados. Por ser aplicável ao clima semiárido, que é realidade de grande parte do território sergipano, e ter metodologia de cálculo simplificada em relação a maioria dos métodos disponíveis, uma vez que utiliza apenas dados de temperatura, optou-se neste estudo o Método de Hargreaves e Samani, o qual é detalhado a seguir.

Ressalta-se que através do método de Hargreaves e Samani determina-se a evapotranspiração de referência (ET_o), que segundo Allen et. al. (1998), apud Oliveira (2016), expressa o poder de evaporação da atmosfera em um local e hora específicos sem levar em consideração as características da cultura e os fatores do solo.

3.4.1. Método de Hargreaves-Samani

De acordo com Shahidian et. al. (2011), Hargreaves analisou oito anos de dados de evapotranspiração de relva com um lisímetro de precisão oriundos de Davis, na Califórnia, e observou, através de regressões, que para um passo de cálculo de cinco dias, 94% da variabilidade na ET_o , medida podia ser explicado através da temperatura média T , e da radiação solar extraterrestre R_s . Assim, em 1975 publicou uma equação para a previsão da ET_o baseada em apenas estes dois parâmetros:

$$ET_o = 0,0135 R_s (T + 17,8) \quad (1)$$

onde R_s está em unidades de evaporação de água, mm dia⁻¹, e T em °C.

A diferença entre as temperaturas máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) está relacionada com o grau de cobertura de nuvens em um determinado local. Desta maneira, para o cálculo da radiação solar utiliza-se a Equação (2), proposta por Hargreaves e Samani (1985), que estima a radiação solar global pela diferença das temperaturas máximas e mínimas diárias do ar. A forma ajustada e validada para várias estações em diferentes condições climáticas resultou em:

$$R_s = K_r R_a \sqrt{(T_{max} - T_{min})} \quad (2)$$

em que R_a é a radiação solar extraterrestre em mm.d⁻¹ e K_r é o coeficiente de ajuste °C^{-0,5}.

Ao coeficiente de ajuste K_r , foi inicialmente atribuído o valor de 0,170 para Salt Lake City e outras regiões semi-áridas. Mais tarde Hargreaves recomendou a utilização do valor 0,162 para regiões interiores, onde predominam massas terrestres, e 0,190 para regiões costeiras, onde as massas de ar são influenciadas pelas massas de água. Logo o coeficiente de ajuste K_r varia de 0,162 a 0,190, sendo que o valor de 0,162 é utilizado para as regiões de interior e 0,190 para as regiões costeiras.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de radiação solar extraterrestre (R_a) em milímetros de evaporação equivalente (mm.d⁻¹) para latitudes referentes ao Hemisfério Sul, no dia 15 de cada mês.

Tabela 1— Radiação solar extraterrestre para latitudes do hemisfério Sul, em mm/dia.

LATTUDE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
8	15,6	15,6	15,0	14,0	12,7	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,4
10	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
12	16,1	15,8	14,9	13,5	12,0	11,2	11,5	12,7	14,2	15,3	15,8	16,0

Fonte: (PEREYRA et. al.; 1997).

Baseado nas Equações (1) e (2), Hargreaves e Samani (1985) desenvolveram uma equação simples que necessita apenas da temperatura do ar, e coeficientes dependentes da latitude do local e época do ano. Esta equação, conhecida como a equação de Hargreaves Samani, pode ser expressa da seguinte forma:

$$ETP = 0,0135 Ra Kr (T + 17,8)(Tmax - Tmin)^{0,5} \quad (3)$$

Adicionalmente, a equação pode ser utilizada com Ra em MJm⁻² dia⁻¹, bastando para isso multiplicar a parcela direita da equação por 0,408.

3.4.1.1.Experiências com o método

De acordo com Silva et al. (2015), quando se dispõem apenas de dados de temperatura do ar recomenda-se o método de Hargreaves e Samani (1985) para a estimativa da evapotranspiração de referência em substituição ao método padrão Penman-Monteith FAO-56. Estes autores aplicaram tal método às localidades de Crateús, Iguatu, Jaguaruana, Morada Nova, Quixeramobim e Sobral, localizadas no estado do Ceará, que se constituem em municípios inseridos nas regiões semiáridas cearenses. Nas localidades situadas em regiões litorâneas (Acará e Fortaleza) e serranas (Guaramiranga), este método é recomendado para a estimativa da evapotranspiração de referência.

Alves et al. (2016), ao observar o efeito das mudanças climáticas na evapotranspiração, a estimou, através do método proposto por Hargreaves e Samani (1985), em duas bacias hidrográficas, uma representativa do sertão pernambucano (Brígida), localizada no território de clima semiárido, e outra localizada no agreste deste mesmo Estado (Ipojuca) em território de clima semiárido e seco subúmido. Entre suas conclusões, destacam que o uso do método de Hargreaves e Samani (1985) pode ser uma técnica viável quando não se tem todas as variáveis necessárias para o cálculo da ETo, no entanto, para ambas as regiões estudadas, esse método não apresentou uma precisão adequada.

Nestes estudos, o método de Hargreaves e Samani (1985) apresentou bom desempenho nas regiões de clima semiárido, o que se justifica pois, originalmente, o método foi desenvolvido para este tipo climático. Nestes trabalhos nota-se que a equação utilizada não sofreu nenhum ajuste em seus coeficientes empíricos, pois como normalmente Kr assume o valor de 0,170, muitas vezes substitui-se a parcela $0.0135K_r$ por 0.0023 (SHAHIDIAN et al., 2011).

Silva et. al. (2015) concluíram que, considerando as variações significativas no desempenho do método de Hargreaves e Samani (1985) no estado do Ceará, visando melhor desempenho desse método, o ideal seria, em trabalhos futuros, ajustar os coeficientes empíricos da equação para a região de estudo.

3.5. Correlação Linear

De acordo com Correa (2003), correlação linear é uma correlação entre duas variáveis, cujo gráfico aproxima-se de uma linha. É uma linha de tendência, porque procura acompanhar a tendência da distribuição de pontos, que pode corresponder a uma reta ou a uma curva. Por outro lado, é, também, uma linha média, porque procura deixar a mesma quantidade de pontos abaixo e acima dela.

Para definir se a correlação entre as variáveis corresponde a uma linha reta ou a uma curva, pode-se utilizar modos qualitativos ou quantitativos. No modo qualitativo, vai imperar o “bom senso” do pesquisador para verificar qual o grau de intensidade na correlação entre as variáveis; isso significa o estabelecimento de uma relação numérica que medirá o nível da correlação (CORREA, 2003).

3.5.1. Coeficiente de Correlação Linear

O coeficiente de correlação linear pode ser apresentado como uma medida de correlação, pois tem como objetivo indicar o nível de intensidade que ocorre na correlação entre as variáveis. Uma das formas de medir o coeficiente de correlação linear foi desenvolvido por Pearson e recebe o nome de coeficiente de correlação de Pearson. Este coeficiente mede o grau de ajustamento dos valores em torno de uma reta e é dado por (CORREA, 2003):

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \times [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (4)$$

onde:

r = coeficiente de Pearson

n = número de observações

x_i = variável independente

y_i = variável dependente

A análise correlacional indica a relação entre duas variáveis lineares e os valores sempre serão entre +1 e -1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa, e o tamanho da variável indica a força da correlação (MUKAKA, 2012).

No Quadro 1 é apresentado uma interpretação do Coeficiente de Correlação de Pearson (r), segundo Mukaka (2012).

Quadro 1 – Interpretação do Coeficiente de Correlação de Pearson (r).

r	Interpretação
0.9 positivo ou negativo	uma correlação muito forte;
0.7 a 0.9 positivo ou negativo	correlação forte;
0.5 a 0.7 positivo ou negativo	correlação moderada;
0.3 a 0.5 positivo ou negativo	correlação fraca
0 a 0.3 positivo ou negativo	correlação desprezível

Fonte: (MUKAKA, 2012).

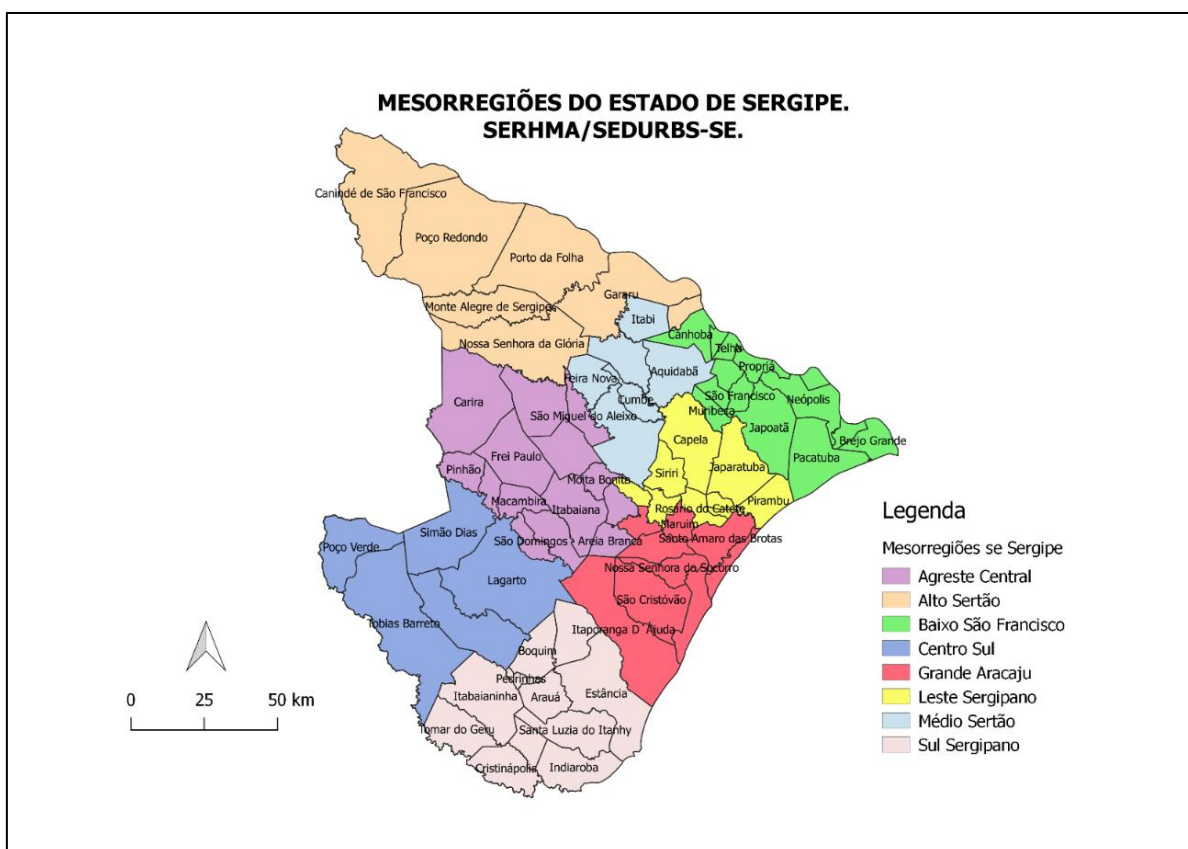
4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

Esta pesquisa tem como área de estudo o estado de Sergipe, que está situado na região Nordeste do Brasil, entre os paralelos 9°31'S e 11°33'S e os meridianos 36°25'W e 38°14'W. Conhecido por ser o menor estado da Federação Brasileira, possui extensão territorial de 21.918,44 km² e população estimada de 2.288.116 habitantes (SEPLAG, 2014). Cerca de 71% dos sergipanos ocupam as zonas urbanas dos 75 municípios do estado. O setor de serviços representa 72,2% do Produto Interno Bruto (PIB) estadual, seguido pela indústria (22,75%) e agropecuária (5%) (SEPLAG, 2014 e SUDENE/SE, 2014).

O Estado encontra-se dividido em oito mesorregiões, apresentados na Figura 7.

Figura 7 –Mesorregiões do estado de Sergipe.

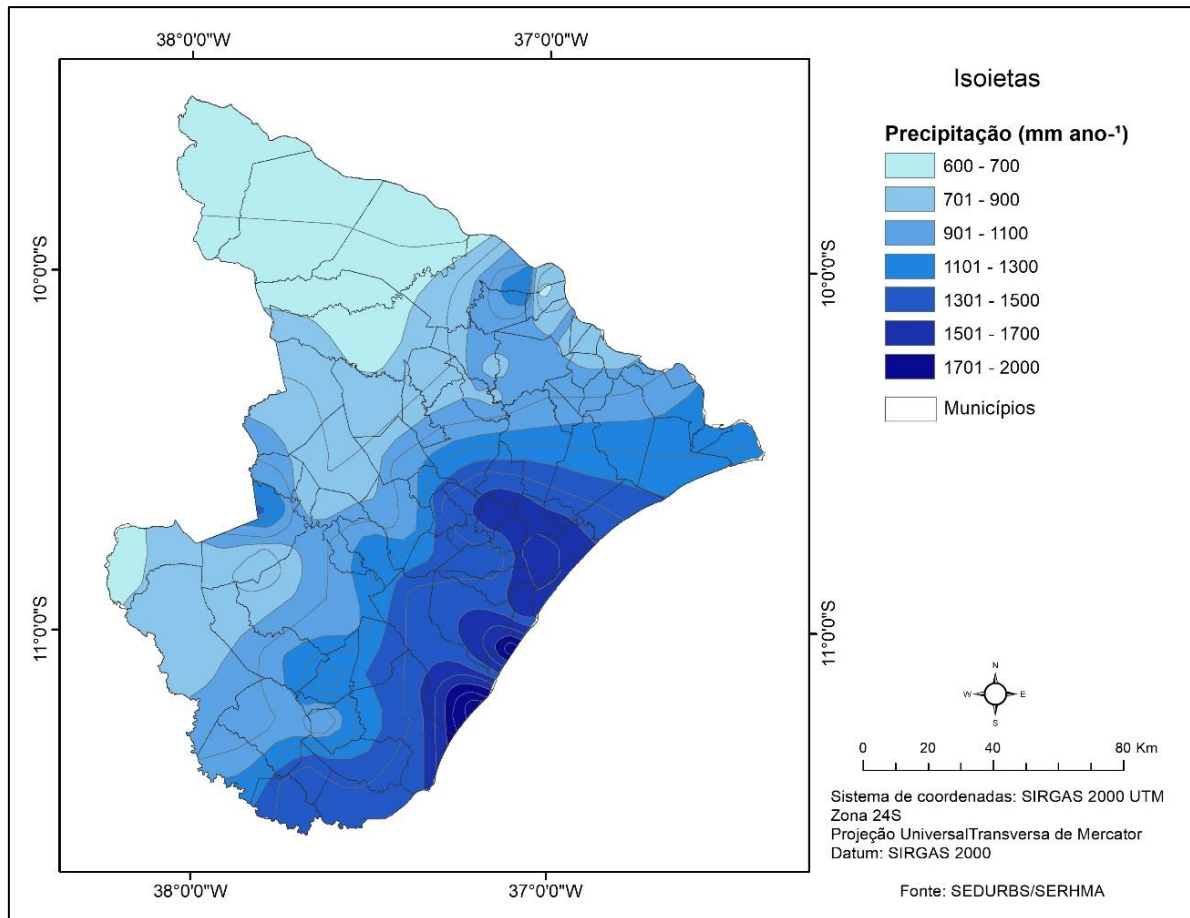


Fonte: (SEDURBS;2020).

O clima de Sergipe é determinado pelo conjunto de fatores relacionados à interação dos sistemas atmosféricos atuantes no leste do Nordeste do Brasil

A Figura 8 mostra a distribuição da precipitação anual no Estado de Sergipe.

Figura 8 - Isoietas de precipitação pluviométrica anual do Estado de Sergipe.



Fonte: (SEDURBS/2020).

O principal problema climático do estado de Sergipe é a irregularidade espacial da precipitação pluviométrica, decrescente do litoral em direção ao sertão semiárido. De acordo com a climatologia observada na Figura 8, a região litorânea do Estado apresenta isoietas superiores a 1301 mm/ano, enquanto que na região agreste e semiárida, a precipitação pluviométrica anual é inferior a 901 mm/ano e 701 mm/ano, respectivamente. O período chuvoso do Estado corresponde aos meses de abril a agosto, com máximo de chuvas concentradas nos meses de maio, junho e julho, enquanto o período seco se estabelece nos meses de setembro até fevereiro (Adaptado de SANTOS, 2012).

Os valores médios mensais de temperatura para as mesorregiões Centro-Sul, Médio Sertão, Alto Sertão, Leste Sergipano, Sul Sergipano, Baixo São Francisco, Agreste Central e Grande Aracaju variam entre 21 e 26°C; 22 e 26°C; 22 e 27°C; 23 e 26°C; 22 e 26°C; 23 e 26°C; 21 e 26°C; 23 e 27°C; respectivamente, conforme mostra a Tabela 2 (SANTOS, 2012).

Tabela 2 – Estimativa dos valores médios mensais de temperatura das mesorregiões do estado de Sergipe.

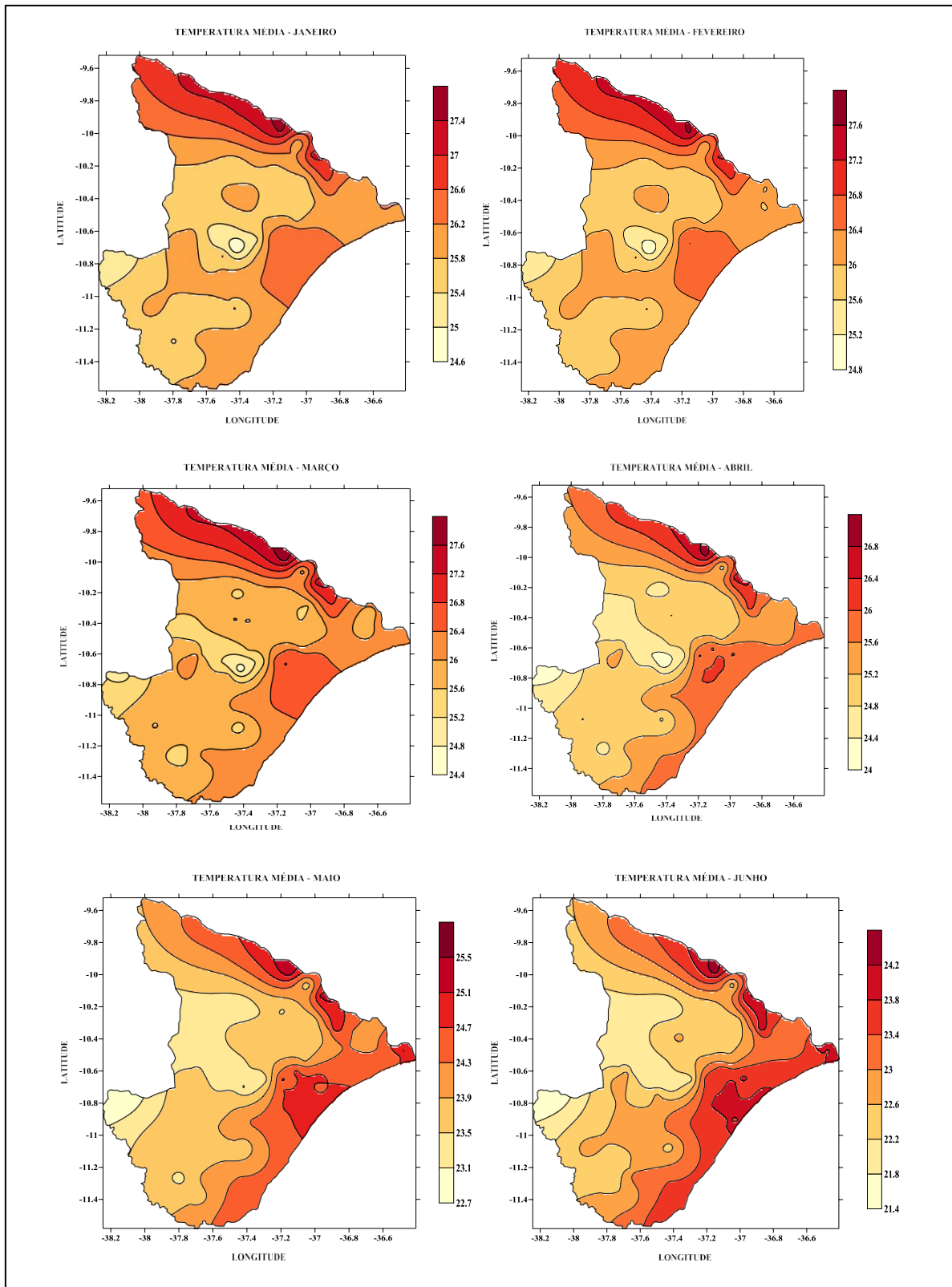
Médias Mensais de Temperatura (°C)								
Mesorregiões								
Mês	Centro Sul	Médio Sertão	Alto Sertão	Leste	Sul	Baixo São Francisco	Agreste Central	Grande Aracaju
Janeiro	26	26	27	26	26	26	26	26
Fevereiro	26	26	27	26	26	26	26	27
Março	26	26	27	26	26	26	26	27
Abril	25	25	26	26	25	26	25	26
Maio	24	24	24	25	24	25	24	25
Junho	22	22	23	24	23	24	22	24
Julho	22	22	22	23	22	23	21	23
Agosto	21	22	22	23	22	23	21	23
Setembro	23	22	23	23	23	24	22	24
Outubro	24	24	25	25	24	25	24	25
Novembro	25	25	26	26	25	26	25	26
Dezembro	25	26	26	26	25	26	25	26
Média Anual	24	24	25	25	24	25	24	25

Fonte: (SANTOS, 2012)

Pode-se observar que para todas as mesorregiões, os menores valores médios mensais de temperatura foram registrados nos meses de junho, julho e agosto (inverno) e os maiores valores nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (verão) (SANTOS, 2012).

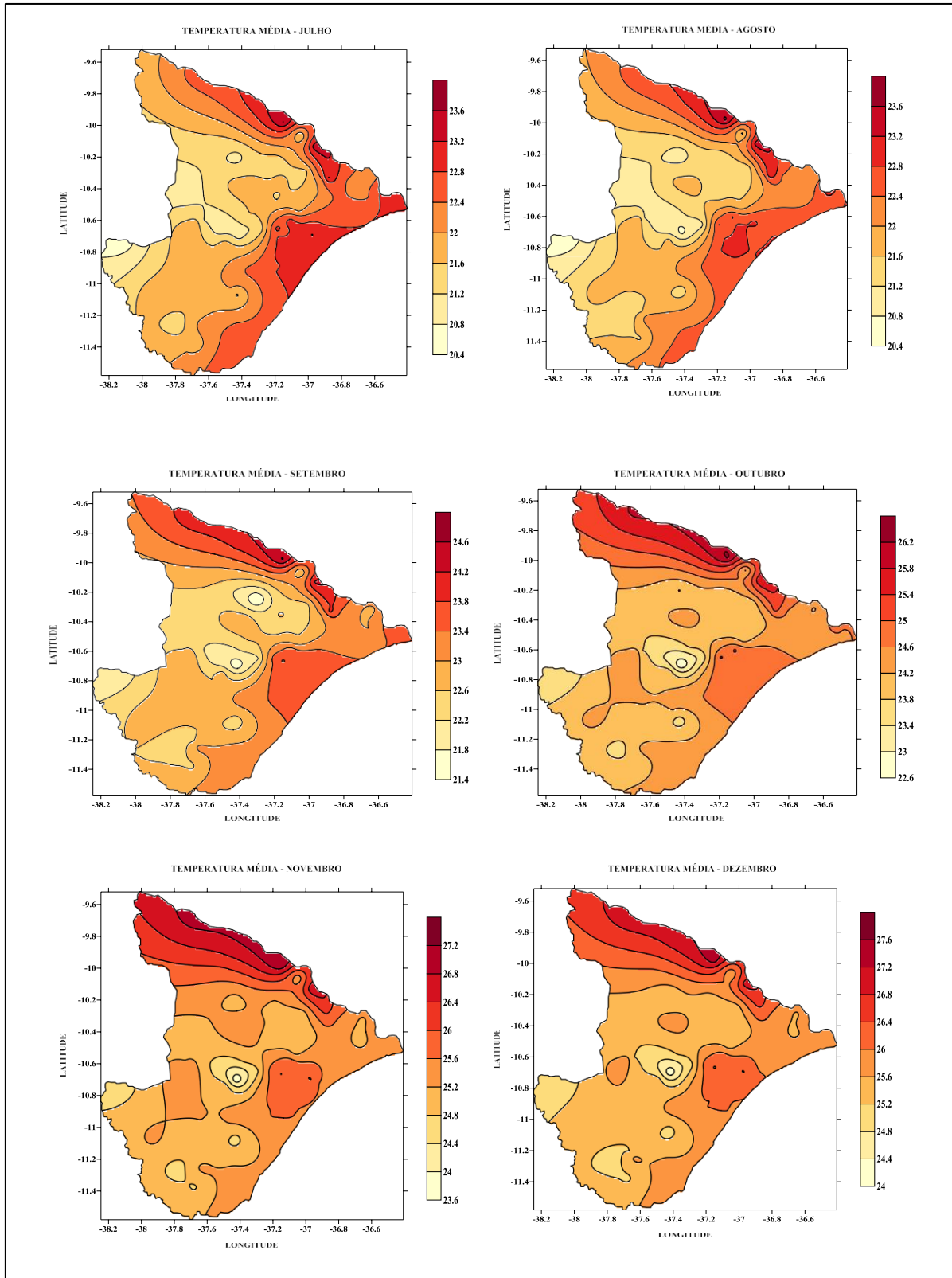
As Figuras 9 e 10 apresentam o comportamento da temperatura média mensal no estado de Sergipe.

Figura 9 – Comportamento da temperatura média do ar para o estado de Sergipe, durante os meses de janeiro a junho.



Fonte: (SANTOS, 2012)

Figura 10 – Comportamento da temperatura média do ar para o estado de Sergipe, durante os meses de julho a dezembro.



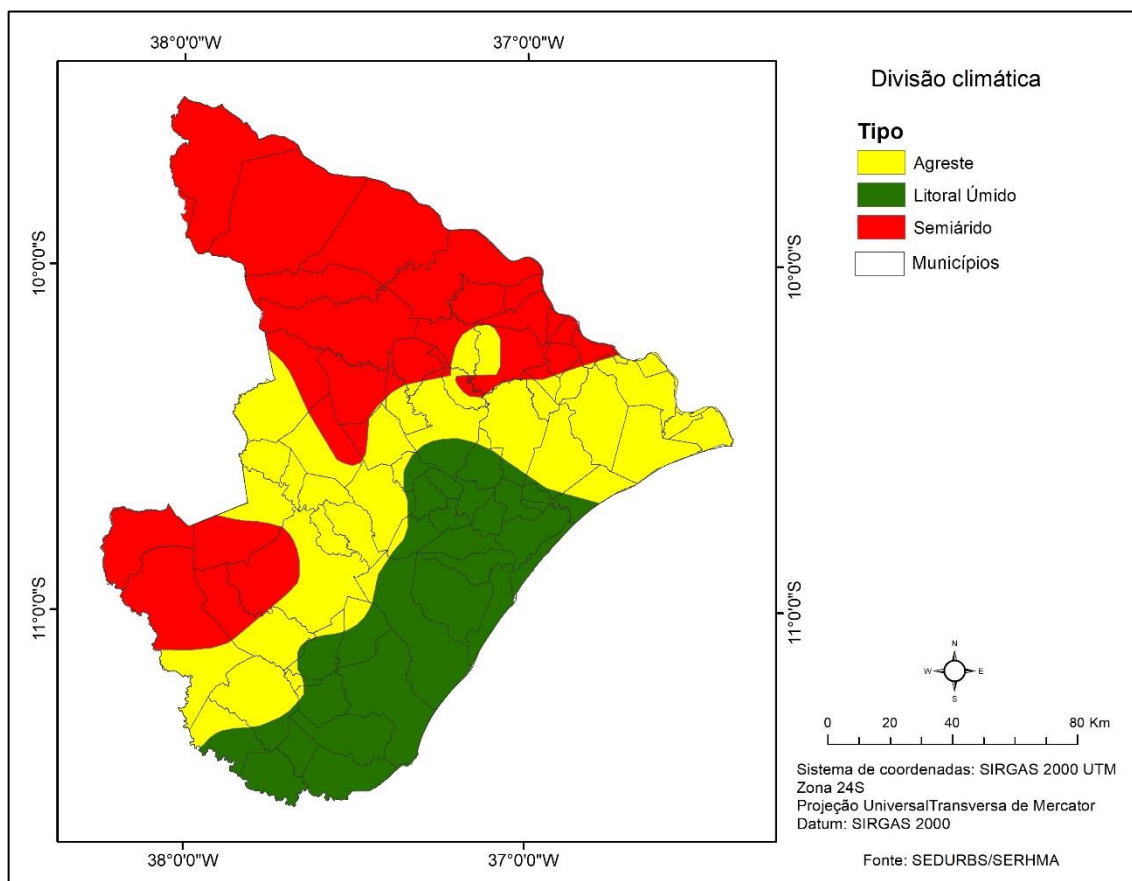
Fonte: (SANTOS, 2012)

Com base nas Figuras 9 e 10 observa-se que os maiores valores da temperatura média do ar referem-se à estação do verão (dezembro a fevereiro), para a região semiárida foram encontrados valores entre 25 e 28°C, para a região litorânea e agreste, valores entre 25 e 27°C e 24 e 27°C, respectivamente. Os menores valores da temperatura média do ar, entre 21 e 24°C, foram registrados durante a estação de inverno em todas as regiões (litoral, agreste e semiárido) (SANTOS, 2012).

A irregularidade das precipitações em intensidade, distribuição espacial e temporal divide o espaço geográfico de Sergipe em três diferentes zonas climáticas: Litoral Megatérmico Úmido, Centro Agreste Megatérmico Subúmido a Seco, e Semiárido Megatérmico. (SEDURBS, 2020).

A Figura 11 apresenta a divisão climática do Estado de Sergipe.

Figura 11 – Divisão climática do Estado de Sergipe.



Fonte: (SEDURBS,2020).

Nas mesorregiões da Grande Aracaju, Leste e Sul Sergipanos predominam o clima litoral megatérmico úmido, na parte leste das mesorregiões do Centro Sul e Baixo São

Francisco, bem como no sul do Médio Sertão e Agreste Central, predominam o clima de Agreste Megatérmico Subúmido a Seco, ambos com temperatura média anual em torno de 25°C, média mínima anual em torno de 20°C e uma média máxima anual de 29°C. As mesorregiões do Alto e Médio Sertão, norte do Agreste Central e oeste do Baixo São Francisco e Centro Sul Sergipanos pertencem ao clima Semiárido Megatérmico com temperatura média anual de 26°C, sendo a temperatura mínima média em torno de 20°C e máxima média de 32°C (SEDURBS, 2020).

4.2. Estações Meteorológicas Seleccionadas

Para subsidiar os cálculos da ETo por meio da equação de Hargreaves e Samani (1985) foram utilizados dados de temperaturas máxima, mínima e média de 10 (dez) estações meteorológicas pertencentes a rede nacional de observações meteorológicas de superfície, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pois os produtos de apoio para validação do Monitor de Secas são desenvolvidos pela FUNCEME com base em dados de estações desta rede. Foram utilizados dados diários de temperatura referentes ao período de 01/01/2018 até 31/12/2020, visto que esse período coincide com o processo de validação do Monitor de Secas no estado de Sergipe, o qual, conforme já descrito anteriormente, baseia-se em, além dos dados climáticos, nas observações inseridas nos Formulários Mínimo Padrão (FMP's) com observações de impactos locais, preenchidos por uma rede de observadores distribuídos em diversos municípios do Estado. Os dados de temperatura foram obtidos diretamente no *site* da instituição.

Como critério de descarte foi utilizada a regra dos 3/5, a qual estabelece que se mais de 3 (três) valores diários consecutivos estiverem faltando ou se os dados faltantes ultrapassarem a 5 (cinco), dentro de um mesmo mês, o valor mensal não será calculado (REBOITA et al., 2018).

Na Tabela 3 está apresentada a localização das estações meteorológicas utilizadas nesta pesquisa.

Tabela 3 - Localização das estações meteorológicas.

Ítem	Código da Estação	Nome da Estação	Estado	Latitude (DD)	Longitude (DD)	Altitude (m)
1	A409	Aracaju	SE	-10,95	-37,05	3,68
2	A421	Brejo Grande	SE	-10,47	-36,48	6,11
3	A420	Carira	SE	-10,4	-37,75	289,92
4	A451	Itabaiana	SE	-10,67	-37,47	213,00
5	A417	Itabaianinha	SE	-11,27	-37,79	205,59
6	A453	Nossa Senhora da Glória	SE	-10,21	-37,43	271,00
7	A323	Pão de Açúcar	AL	-9,75	-37,43	20,86
8	A371	Piranhas	AL	-9,62	-37,77	187,00
9	A419	Poço Verde	SE	-10,74	-38,11	367,01
10	83097	Propriá	SE	-10,21	-36,84	18,46

Fonte: (INMET, 2021).

As estações de “Pão de Açúcar” e “Piranhas” foram selecionadas mesmo estando no estado de Alagoas, porque encontram-se ao longo do Rio São Francisco, na divisa com os municípios sergipanos de Canindé do São Francisco e Porto da Folha, respectivamente, portanto possuem dados significativos para esses municípios e áreas adjacentes.

A Figura 12 apresenta a localização espacial das estações utilizadas.

Figura 12 –Localização das estações meteorológicas utilizadas.



Fonte: (INMET, 2021).

Tem-se 3 (três) estações localizadas no Alto Sertão Sergipano (Piranhas, Pão de Açúcar, Nossa Senhora da Glória); 2 (duas) no Baixo São Francisco (Propriá e Brejo Grande); 2 (duas) no Agreste Central (Carira e Itabaianinha); 1 (uma) na Grande Aracaju (Aracaju); 1 (uma) no Centro Sul Sergipano (Poço Verde) e 1 (uma) no Sul Sergipano. Destas, 4 (quatro) estão em regiões semiáridas, são elas: Poço Verde, Piranhas, Pão de Açúcar e Nossa Senhora da Glória.

4.3. Evapotranspiração de Referência (ET_o)

Para a estimativa da Evapotranspiração de Referência utilizou-se a equação de Hargreaves e Samani (1985) (Equação 3). As determinações do coeficiente de ajuste e da radiação solar estão descritas nos itens a seguir.

4.3.1. Determinação do Coeficiente de Ajuste (Kr)

Seguindo as recomendações de Hargreaves e Samani (1985), tem-se que para regiões semiáridas, costeiras e interiores os valores de Kr são respectivamente 0,170, 0,190 e 0,162.

Na Tabela 4 pode-se observar os valores de Kr utilizados para o cálculo de ETo atribuído a cada estação meteorológica.

Tabela 4 - Kr atribuídos às estações meteorológicas

Ítem	Código da Estação	Nome da Estação	Kr
1	A409	Aracaju	0,190
2	A421	Brejo Grande	0,170
3	A420	Carira	0,170
4	A451	Itabaiana	0,162
5	A417	Itabaianinha	0,162
6	A453	Nossa Senhora da Glória	0,170
7	A323	Pão de Açúcar	0,170
8	A371	Piranhas	0,170
9	A419	Poço Verde	0,170
10	83097	Propriá	0,170

Fonte: (Autor; 2021)

A estação “A409 – Aracaju” encontra-se numa localização costeira, à beira mar, na mesorregião da Grande Aracaju com o clima Litoral Megatérmico Úmido predominante, por isso optou-se pelo Kr de 0,190. As estações “A417 – Itabaianinha e A451 - Itabaiana” estão localizadas em uma região de interior, no Sul Sergipano e no Agreste Central com climas de Litoral Megatérmico Úmido e de Centro Agreste Megatérmico Subúmido a Seco, então optou-se por Kr de 0,162. As demais estações estão localizadas nas mesorregiões do Alto Sertão, Agreste Central e Centro Sul Sergipano, mesorregiões com características climáticas de Semiárido Megatérmico e devido a isso utilizou-se Kr de 0,170 para elas. A estação “A421 - Brejo Grande” apesar de se encontrar em uma posição relativamente próxima ao oceano está inserida na mesorregião do Baixo São Francisco Sergipano, a qual possui, em parte, características de clima semiárido, logo optou-se por Kr de 0,170 nesta estação também.

4.3.2. Determinação da radiação solar extraterrestre (Ra)

Conhecendo-se a latitude das estações meteorológicas e com o auxílio dos dados da Tabela 1, foi possível determinar os valores mensais da radiação solar correspondentes utilizando interpolações lineares, os quais são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Radiação solar extraterrestre (Ra).

ESTAÇÃO MÊS:	A409	A421	A420	A451	A417	A453	A419	83097	A323	A371
JAN	15,995	15,947	15,944	15,967	16,027	15,921	15,974	15,921	15,863	15,843
FEV	15,748	15,724	15,722	15,734	15,764	15,711	15,737	15,711	15,688	15,681
MAR	14,953	14,977	14,978	14,967	14,937	14,990	14,963	14,990	15,000	15,000
ABR	13,658	13,730	13,734	13,700	13,610	13,769	13,689	13,769	13,825	13,838
MAI	12,210	12,306	12,312	12,266	12,146	12,358	12,252	12,358	12,438	12,457
JUN	11,410	11,506	11,512	11,466	11,346	11,558	11,452	11,558	11,650	11,676
JUL	11,710	11,806	11,812	11,766	11,646	11,858	11,752	11,858	11,938	11,957
AGO	12,858	12,930	12,934	12,900	12,810	12,969	12,889	12,969	13,025	13,038
SET	14,305	14,353	14,356	14,333	14,273	14,379	14,326	14,379	14,413	14,419
OUT	15,300	15,300	15,300	15,300	15,300	15,300	15,300	15,300	15,288	15,281
NOV	15,748	15,724	15,722	15,734	15,764	15,711	15,737	15,711	15,663	15,643
DEZ	15,843	15,771	15,766	15,801	15,891	15,732	15,811	15,732	15,663	15,643

Fonte: (Autor, 2021)

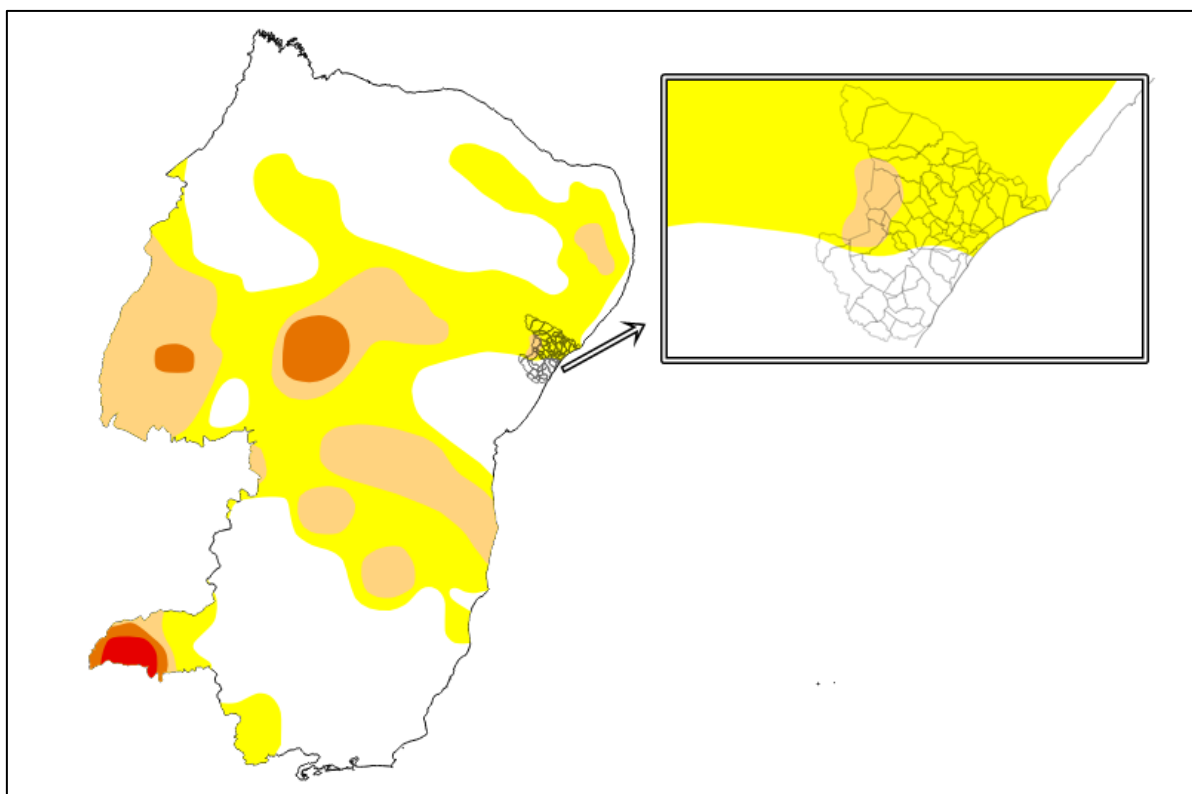
4.4. Intensidade de Seca

Os dados de intensidade de seca foram coletados a partir do mapa do Monitor de Secas do Brasil referente aos municípios onde as estações meteorológicas utilizadas estão localizadas, conforme a Tabela 2. Selecionou-se as intensidades de seca para cada mês dos anos de 2018 a 2020 em que se obteve valores válidos de ETo.

Para realizar essa coleta por município, utilizou-se do *software* de geoprocessamento QGIS e realizou-se a sobreposição do mapa de Sergipe no mapa original do Monitor de Secas, para gerar um mapa em escala local com visualização municipal.

Na Figura 14 observa-se, por exemplo, como foi feita a sobreposição em cada mapa analisado.

Figura 14 -Sobreposição do mapa de Sergipe ao mapa do MSB.



Fonte: (ANA, 2018)

Em situações em que no município analisado havia duas ou mais intensidades de seca atuando em sua área optou-se por escolher aquela mais severa, pois acredita-se que as políticas públicas e ações assistencialistas de mitigação de impactos de seca devem atender com eficiência toda população e principalmente aquela mais afetada.

Para atribuir um valor numérico às intensidades de seca apresentadas pelo mapa do MSB, utilizou-se a seguinte classificação conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação numérica para intensidade de seca.

Legenda		
0	Sem Seca	SS
1	Seca Fraca	S0
2	Seca Moderada	S1
3	Seca Grave	S2
4	Seca Extrema	S3
5	Seca Excepcional	S4

Fonte: (Autor; 2021)

Os valores numéricos foram atribuídos de forma crescente seguindo o nível de severidade das categorias de seca apresentadas pelo Monitor de Secas, em uma escala de 0 a 5, onde 0 é a situação mais branda (Sem Seca) e 5 é a situação mais severa (Seca Excepcional).

4.5. Correlação entre as variáveis ETo x SECA

Após a estimativa da ETo e a identificação da intensidade de seca para todas as estações e meses, os dados foram agrupados por mês a fim de responder ao seguinte questionamento: “No mês J ($J = [1, 12]$) do ano K ($K=[2018, 2020]$) qual foi intensidade de seca apresentada pelo mapa do MSB e qual o valor da ETo calculada para cada estação observada?”. Esses dados foram organizados e agrupados em Tabelas.

Para identificar qual tipo de escala temporal mais teve correspondência com as intensidades de seca apresentadas pelo MSB, o agrupamento foi feito de 3 (três) maneiras diferentes:

- Mensal:

A ETo com valores mensais foram comparados aos valores de intensidade de seca apresentados pelo MSB no mês em análise;

- Trimestral:

A ETo com valores acumulados trimestrais, ou seja, o somatório da ETo do mês em análise com os 2 (dois) meses anteriores, foram comparados aos valores de intensidade de seca apresentados pelo MSB no mês em análise;

- Semestral:

A ETo com valores acumulados semestrais, ou seja, o somatório da ETo do mês em análise com os 5 (cinco) meses anteriores, foram comparados aos valores de intensidade de seca apresentados pelo MSB no mês em análise.

Com o procedimento descrito obteve-se 36 (trinta e seis) agrupamentos.

4.5.1. Determinação do coeficiente de correlação linear de Pearson (r)

Para a determinação das correlações entre as intensidades de seca e Evapotranspiração de Referência considerou-se cada agrupamento, tendo-se assim 12 (doze) correlações mensais; 12 (doze) correlações trimestrais e 12 (doze) correlações semestrais.

Para a realização do cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson (r), utilizou-se da ferramenta de análise de dados disponível no programa Microsoft Office Excel.

4.6. Análise dos Resultados

Como o mapa do Monitor de Secas do Brasil é elaborado e publicado mensalmente, a análise dos resultados foi conduzida de forma única e exclusivamente mensal, com observações do comportamento da Evapotranspiração de Referência e da intensidade de seca do MSB isoladas por mês a fim de identificar semelhanças e tendências, ou seja, para cada mês, observou-se como os valores de ETo e de intensidade de seca se comportaram dentro do período selecionado (2018 a 2020) e das estações estudadas.

A semelhança entre as tendências para ambas as variáveis foi mensurada a partir de correlações, pois era esperado que quanto maiores fossem os valores absolutos de ETo, mais severas seriam as intensidades de seca no mês analisado, por consequência, quanto menores fossem os valores absolutos de ETo, menos severas seriam as intensidades de seca apresentadas pelo MSB em determinado mês.

Para identificar o nível entre as correlações, utilizou-se do cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson (r). Quanto mais forte esse coeficiente se mostrar, maior será a correspondência entre as variáveis estudadas.

Dentre as 36 (trinta e seis) correlações propostas, com dados de ETo mensal, trimestral e semestral, pretende-se identificar em quais meses cada uma delas foram mais fortes ou mais fracas expondo os possíveis motivos para o grau correspondente.

5. RESULTADOS

Após coletados os dados e realizados os cálculos detalhados no capítulo anterior, são apresentados a seguir os resultados.

5.1. Evapotranspiração de Referência (ET_o)

Os dados de temperatura foram baixados no formato .CSV e armazenados conforme exemplificado na Tabela 7 para a estação A409 – Aracaju.

Tabela 7 - Temperaturas diárias (°C) para o mês de dezembro de 2020 da estação A409 – Aracaju.

Dias do Mês	Temp. Máxima	Temp. Média Comp.	Temp. Mínima
1	31,1	27,2	24,9
2	31,1	27,7	25,8
3	31,1	27,7	25,1
4	31,1	27,9	26,3
5	31,2	27,8	26,2
6	30,2	27,2	25,6
7	31,1	27,5	25,8
8	31,4	27,4	24,7
9	30,9	27,5	24,8
10	30,7	27,5	24,9
11	31,2	27,5	25,8
12	32,0	27,6	25,3
13	31,9	27,8	25,2
14	31,5	27,4	24,4
15	33,1	27,3	24,0
16	30,6	27,1	24,7
17	29,6	27,1	24,3
18	30,7	28,0	26,5
19	30,6	27,5	24,9
20	30,0	27,6	26,3
21	30,4	27,5	26,1
22	29,9	27,3	25,9
23	29,6	27,1	25,9
24	31,0	27,3	25,5
25	30,0	27,2	25,9
26	30,5	27,2	24,6
27	29,3	26,7	25,8
28	31,0	27,2	24,3
29	30,4	26,9	24,0
30	30,4	27,1	25,0
31	30,7	27,4	25,6

Fonte: (INMET, 2021)

Este procedimento foi análogo para a obtenção dos dados de temperatura dos outros meses desta estação e de todas as estações meteorológicas estudadas.

A Tabela 8 apresenta os parâmetros usados na estimativa da evapotranspiração diária, bem como os valores encontrados, para o mês de dezembro de 2020 na estação A409 – Aracaju.

Tabela 8 – ETo (mm) para o mês de dezembro de 2020 da estação A409 – Aracaju

Dezembro /2020						
Dia	Temperatura (°C)			Ra (mm.d ⁻¹)	Kr	ETo(mm)
	Máxima	Média	Mínima			
1	31,1	27,2	24,9	15,843	0,190	4,553
2	31,1	27,7	25,8	15,843	0,190	4,257
3	31,1	27,7	25,1	15,843	0,190	4,529
4	31,1	27,9	26,3	15,843	0,190	4,069
5	31,2	27,8	26,2	15,843	0,190	4,143
6	30,2	27,2	25,6	15,843	0,190	3,922
7	31,1	27,5	25,8	15,843	0,190	4,238
8	31,4	27,4	24,7	15,843	0,190	4,754
9	30,9	27,5	24,8	15,843	0,190	4,546
10	30,7	27,5	24,9	15,843	0,190	4,433
11	31,2	27,5	25,8	15,843	0,190	4,278
12	32,0	27,6	25,3	15,843	0,190	4,775
13	31,9	27,8	25,2	15,843	0,190	4,796
14	31,5	27,4	24,4	15,843	0,190	4,894
15	33,1	27,3	24,0	15,843	0,190	5,529
16	30,6	27,1	24,7	15,843	0,190	4,432
17	29,6	27,1	24,3	15,843	0,190	4,200
18	30,7	28,0	26,5	15,843	0,190	3,814
19	30,6	27,5	24,9	15,843	0,190	4,395
20	30,0	27,6	26,3	15,843	0,190	3,549
21	30,4	27,5	26,1	15,843	0,190	3,817
22	29,9	27,3	25,9	15,843	0,190	3,665
23	29,6	27,1	25,9	15,843	0,190	3,510
24	31,0	27,3	25,5	15,843	0,190	4,298
25	30,0	27,2	25,9	15,843	0,190	3,703
26	30,5	27,2	24,6	15,843	0,190	4,442
27	29,3	26,7	25,8	15,843	0,190	3,383
28	31,0	27,2	24,3	15,843	0,190	4,733
29	30,4	26,9	24,0	15,843	0,190	4,595
30	30,4	27,1	25,0	15,843	0,190	4,240
31	30,7	27,4	25,6	15,843	0,190	4,148
					TOTAL	132,641

Fonte: (Autor, 2021)

Nota-se que os valores diários de ETo são tão maiores, quanto maior é a amplitude entre as temperaturas mínimas e máximas, esta característica é mais atuante nas mesorregiões localizadas no semiárido sergipano, onde esta diferença entre temperaturas máxima e mínima pode ser até de 12°C. O valor total é o somatório das ETo's diárias do mês correspondente, observando os critérios de descarte, constituindo-se na ETo mensal.

Este procedimento foi análogo para o cálculo da Evapotranspiração de Referência dos demais meses e de todas as estações meteorológicas estudadas. Os valores mensais, trimestrais e semestrais de ETo são apresentados nas Tabela 9, 10 e 11, respectivamente.

Tabela 9 – Evapotranspiração de Referência (mm) mensal.

Item	ESTAÇÃO	Mês/ Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	ARACAJU	2018	137,7	121,1	132,3	116,6	109,3	96,8	99,3	109,1	120,5	135,8	137,8	150,6
		2019	155,3	135,7	148,3	125,7	117,4	98,0	100,2	115,3	119,9	137,2	142,3	145,5
		2020	147,0	139,3	144,5	125,3	109,0	98,6	103,7	117,1	122,0	137,1	136,7	132,6
2	BREJO GRANDE	2018	147,2	130,2	145,0	125,8	111,0	97,2	98,8	116,6	121,7	138,7	135,6	154,0
		2019	156,9	136,5	149,4	125,8	119,1	95,5	100,2	110,5	123,4	142,2	147,8	152,6
		2020			142,3	122,0	100,4							
3	CARIRA	2018					116,5	98,4	100,3	130,9		170,8	162,5	163,4
		2019	173,2	158,5	150,1	131,5	124,3	86,6	87,8	107,4	131,4	169,3	179,1	186,8
		2020	180,2	159,9	149,0	122,3	100,5	87,1	95,1	111,9	139,8	180,0	167,6	188,2
4	ITABAIANINHA	2018	148,9	131,0	137,5	112,7	97,0	84,0	90,9	105,9	119,5	140,5	136,8	151,6
		2019	151,2	141,3	139,5	117,5	105,3					137,6		150,0
		2020	153,6	137,6	130,8	114,1	94,0							147,2
5	PÃO DE AÇÚCAR	2018	188,4	165,2	180,5		128,2	114,7				184,9	173,4	178,7
		2019		172,2	171,0	149,4	139,8			124,7			190,8	
		2020												
6	POÇO VERDE	2018	176,8	151,3	155,5	128,3	111,1	93,4	102,3	122,2	140,8	165,0	158,5	163,1
		2019	175,9	158,2	153,0	131,8	123,3	14,8		12,0	54,1	154,4	159,2	157,8
		2020	175,7						92,6	109,1	135,6	169,9	155,9	176,2
7	ITABAIANA	2018	163,7	135,1	143,5	118,5	100,8	84,9	88,6	111,4	128,8	152,2	145,5	151,2
		2019		142,8		121,6	110,8	83,4	86,5		118,2	146,1	154,9	
		2020												
8	PROPRIÁ	2018	170,9	146,3	156,7	129,8	113,7	99,9	102,6	126,8	135,8	160,5	154,2	
		2019	165,0	151,1	157,2	131,9	120,7	95,7		116,3	137,8		167,2	171,4
		2020	170,2	153,1	153,5	126,1								142,4
9	PIRANHAS	2018	182,5	161,9	168,6	136,8	121,5	107,1	112,9	138,4	151,2	179,5	170,5	169,3
		2019	177,5	168,5	165,9	143,9	134,7	100,3					185,0	190,2
		2020	182,7											
10	GLÓRIA	2018	171,9	147,7	159,8	130,1	112,0	96,5	97,6	125,4	139,9	168,3	155,9	169,6
		2019	187,3			132,3	121,8	89,1	91,7	107,3	129,0	168,0	181,4	185,1
		2020	177,6	158,1	156,5	125,1	102,0	88,5	95,3	110,8	131,7	173,1	161,4	179,8

Fonte: (Autor, 2021)

Tabela 10 – Evapotranspiração de Referência (mm) Trimestral.

Item	ESTAÇÃO	Mês/ Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	ARACAJU	2018			391,0	370,0	358,2	322,7	305,5	305,2	329,0	365,5	394,2	424,2
		2019	443,7	441,6	439,3	409,7	391,4	341,1	315,6	313,5	335,4	372,3	399,3	424,9
		2020	434,7	431,8	430,8	409,1	378,8	332,9	311,3	319,4	342,8	376,2	395,8	406,4
2	BREJO GRANDE	2018			422,4	401,0	381,7	333,9	306,9	312,5	337,1	376,9	396,0	428,3
		2019	446,6	447,4	442,8	411,6	394,2	340,3	314,8	306,2	334,1	376,2	413,4	442,6
		2020												
3	CARIRA	2018							315,1	329,5				496,6
		2019	499,1	495,2	481,9	440,1	405,9	342,4	298,7	281,8	326,7	408,2	479,8	535,1
		2020	546,0	526,8	489,0	431,1	371,8	309,9	282,7	294,0	346,8	431,7	487,4	535,8
4	ITABAIANINHA	2018			417,4	381,3	347,3	293,7	271,9	280,8	316,3	365,9	396,8	428,8
		2019	439,6	444,1	432,0	398,4	362,4							
		2020		441,1	421,9	382,5	338,9							
5	PÃO DE AÇÚCAR	2018			534,1									537,1
		2019				492,5	460,1							
		2020												
6	POÇO VERDE	2018			483,5	435,0	394,8	332,7	306,7	317,9	365,3	428,1	464,3	486,6
		2019	497,5	497,2	487,1	443,0	408,0	269,8	138,0	26,8	66,1	220,6	367,7	471,4
		2020	492,6							201,7	337,3	414,7	461,4	502,0
7	ITABAIANA	2018			442,2	397,0	362,8	304,2	274,3	284,9	328,9	392,4	426,6	448,9
		2019					232,3	315,7	280,7				419,2	
		2020												
8	PROPRIÁ	2018			473,9	432,8	400,2	343,5	316,2	329,4	365,3	423,1	450,6	
		2019			473,3	440,2	409,8	348,3						
		2020			476,9	432,8								
9	PIRANHAS	2018			513,0	467,3	426,8	365,3	341,4	358,4	402,5	469,1	501,2	519,2
		2019	517,3	515,3	511,9	478,4	444,5	379,0						
		2020	557,9											
10	GLÓRIA	2018			479,3	437,5	401,9	338,6	306,2	319,5	362,8	433,5	464,0	493,7
		2019	512,7					343,2	302,6	288,1	328,0	404,3	478,3	534,4
		2020	544,1	520,8	492,2	439,6	383,5	315,6	285,7	294,6	337,8	415,6	466,1	514,2

Fonte: (Autor, 2021)

Tabela 11 – Evapotranspiração de Referência (mm) Semestral.

Item	ESTAÇÃO	Mês/ Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	ARACAJU	2018						713,7	675,4	663,4	651,7	670,9	699,4	753,2
		2019	809,1	835,8	863,6	853,4	833,0	780,4	725,4	704,9	676,5	688,0	712,8	760,3
		2020	807,1	831,1	855,7	843,8	810,5	763,6	720,3	698,1	675,7	687,5	715,1	749,2
2	BREJO GRANDE	2018						756,3	707,9	694,2	671,0	683,9	708,5	765,4
		2019	823,5	843,4	871,1	858,2	841,6	783,1	726,4	700,4	674,4	690,9	719,6	776,7
		2020												
3	CARIRA	2018												
		2019			978,5	939,2	901,1	824,3	738,9	687,7	669,1	706,9	761,6	861,8
		2020	954,2	1006,6	1024,2	977,2	898,6	798,9	713,8	665,8	656,7	714,4	781,4	882,6
4	ITABAIANINHA	2018						711,1	653,1	628,0	610,0	637,7	677,5	745,2
		2019	805,5	840,9	860,9	838,0	806,5							
		2020					780,0							
5	PÃO DE AÇÚCAR	2018												
		2019												
		2020												
6	POÇO VERDE	2018						816,2	741,7	712,7	698,0	734,8	782,2	851,9
		2019	925,6	961,5	973,7	940,5	905,2	756,9						
		2020												839,4
7	ITABAIANA	2018						746,4	671,4	647,6	633,0	666,8	711,5	777,8
		2019												
		2020												
8	PROPRIÁ	2018						817,4	749,1	729,6	708,7	739,4	779,9	
		2019						821,5						
		2020												
9	PIRANHAS	2018						878,3	808,7	785,1	767,8	810,5	859,5	921,8
		2019	986,4	1016,5	1031,2	995,6	959,8	890,9						
		2020												
10	GLÓRIA	2018						817,9	743,7	721,4	701,5	739,7	783,5	856,6
		2019	946,3								671,2	706,9	766,4	862,4
		2020	948,4	999,1	1026,6	983,7	904,3	807,8	725,4	678,1	653,3	701,3	760,7	852,0

Fonte: (Autor, 2021)

Os maiores valores de ETo são apresentados nas estações que pertencem a região de clima semiárido (Tabela 11). Os meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro apresentam valores mais altos em relação aos demais.

Os campos vazios nas Tabelas 9 a 11 são resultantes do critério de descarte.

O método de Hargreaves e Samani (1985) com os devidos ajustes em seu coeficiente empírico atendeu as expectativas para determinação da Evapotranspiração de Referência no estado de Sergipe, pois a distribuição dos valores deu-se de forma semelhante à distribuição normal das temperaturas médias mostradas nas Figuras 09 e 10, com valores crescentes da região leste litorânea de clima tropical úmido até a região oeste de clima semiárido, apresentando valores maiores nos meses do período seco e menores nos meses do período chuvoso.

5.2.Intensidade de Seca

Após analisados os mapas mensais do Monitor de Secas da ANA, as informações das intensidades de seca de cada mapa foram colocadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Intensidade de seca conforme MSB.

Item	ESTAÇÃO	Ano/ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	ARACAJU	2018	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
		2019	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
		2020	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2	2
2	BREJO GRANDE	2018	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
		2019	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
		2020			1	1	1							
3	CARIRA	2018					2	3	3	3		4	4	3
		2019	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3
		2020	3	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
4	ITABAIANINHA	2018	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
		2019	2	3	2	1	1					1		1
		2020	1	1	1	0	0							1
5	PÃO DE AÇÚCAR	2018	1	1	2		3	3				4	4	4
		2019		4	3	3	3			2			3	
		2020												
6	POÇO VERDE	2018	2	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		2019	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3
		2020	3						1	1	2	2	2	3
7	ITABAIANA	2018	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2	2	2
		2019		3		2	2	1	1		1	1	1	
		2020												
8	PROPRIÁ	2018	0	0	1	1	1	1	1	1	2	3	3	
		2019	4	3	2	2	2	1		0	0		2	2
		2020	2	2	1	2								2
9	PIRANHAS	2018	3	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4
		2019	4	4	3	3	3	3					3	3
		2020	3											
10	GLÓRIA	2018	2	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4
		2019	4			3	3	3	2	2	2	2	3	3
		2020	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	2	3

Fonte: (Autor, 2021)

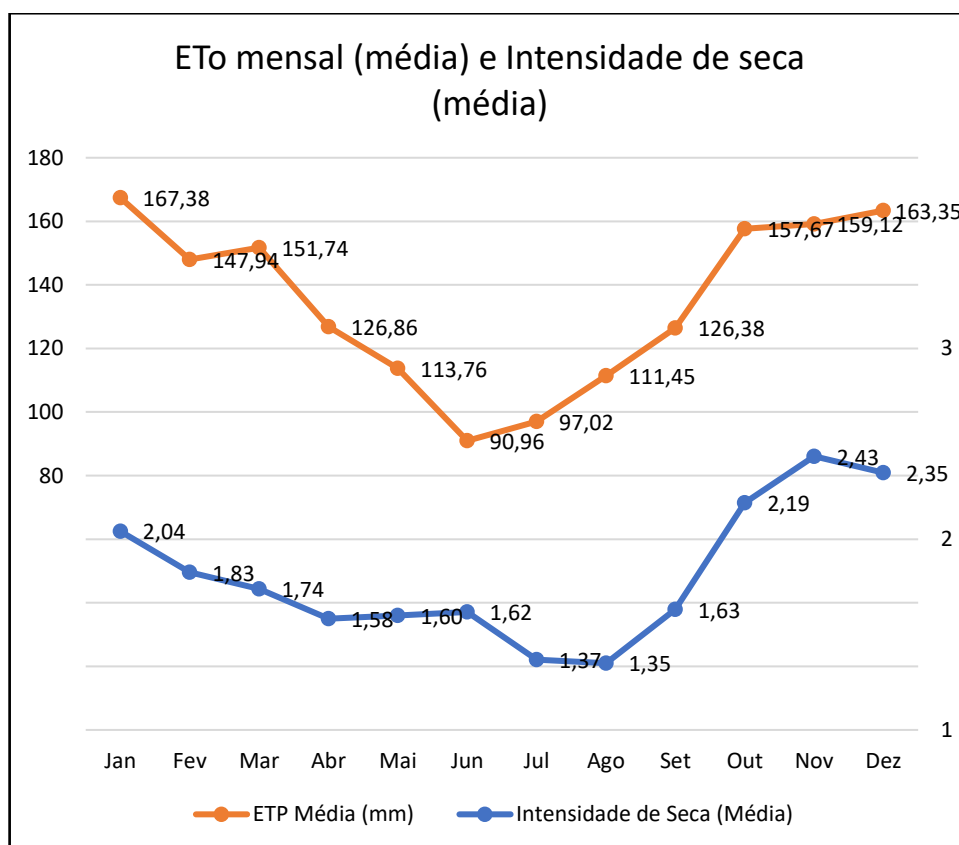
Embora a série de dados utilizadas seja curta, pode-se observar que o período mais severo de seca ocorreu em 2018 e 2019. Os municípios com valores que remetem a secas de intensidades mais severas são aqueles localizados na região semiárida do Estado, onde chegaram a passar por Seca Extrema em pelo menos um mês.

5.3. Correlações

Para obter-se uma visão geral do comportamento tanto da ETo, como da intensidade de seca no estado de Sergipe como um todo, calculou-se a média mensal para cada variável em questão. Por exemplo, para o mês de janeiro, somou-se os dados de todos os postos, durante os três anos e dividiu-se pelo número de dados.

Na Figura 15 pode-se observar os resultados obtidos com o procedimento acima citado. Ressalta-se que o cálculo dos valores mensais das intensidades de seca apresentadas pelo mapa do Monitor de Secas considerou os meses para os quais se obteve valores válidos de ETo.

Figura 15 – Médias mensais da ETo e Intensidade de seca.



Fonte: (Autor; 2021)

Nota-se que os valores médios de intensidade de seca variaram entre 1,35 e 2,43, nos meses de agosto e novembro, respectivamente, ou seja, a seca, em média, transita pelas categorias de Seca Leve à Seca Moderada e Seca Moderada à Seca Grave, durante o período analisado.

Os valores sugerem secas mais severas nos meses de outubro (2,19), novembro (2,43), dezembro (2,35) e janeiro (2,04), meses do período seco em Sergipe.

As médias de Evapotranspiração de Referência variaram entre os valores de 90,96 mm e 167,38 mm para o mês de junho e janeiro, respectivamente.

De acordo com os resultados da Figura 15, a evapotranspiração se comporta, em geral, de maneira crescente nos meses de junho a janeiro e decresce nos meses de janeiro a junho, com exceção do mês de março, que em relação a fevereiro apresenta um valor levemente maior, isso ocorre na medida em que na metodologia de cálculo utilizada o mês de fevereiro contabiliza valores de apenas 28 ou 29 dias, e março um total de 31 dias.

Observa-se que os maiores valores médios de ambas as variáveis ocorrem nos meses do período seco, enquanto os menores ocorrem no período chuvoso. Os valores mais altos de intensidade de seca apresentam-se nos meses em que as médias de ETo também são as mais altas (outubro, novembro, dezembro e janeiro), sugerindo uma correlação positiva entre as variáveis quando a análise for mensal.

Na Tabela 13, pode-se observar o agrupamento descrito no item 4.5. para a correlação mensal do mês de janeiro.

Tabela 13 – Agrupamento de dados por mês (janeiro).

Ítem	Estação	Mês	Janeiro	
		Ano	SECA	ETo (mm)
1	Aracaju	2018	0	137,672
		2019	1	155,284
		2020	1	146,997
2	Brejo Grande	2018	0	147,194
		2019	1	156,948
		2020		
3	Carira	2018		
		2019	4	173,239
		2020	3	180,199
4	Itabaianinha	2018	0	148,870
		2019	2	151,186
		2020	1	153,559
5	Pão de açúcar	2018	1	188,437
		2019		
		2020		
6	Poço verde	2018	2	176,772
		2019	4	175,929
		2020	3	175,651
7	Itabaiana	2018	1	163,669
		2019		
		2020		
8	Propriá	2018	0	170,949
		2019	4	164,980
		2020	2	170,208
9	Piranhas	2018	3	182,478
		2019	4	177,533
		2020	3	182,663
10	Nossa Senhora da Glória	2018	2	171,854
		2019	4	187,315
		2020	3	177,636

Fonte: (Autor; 2021)

Os campos vazios na Tabela são decorrentes do critério de descarte.

O procedimento foi análogo para os demais meses e a partir dos agrupamentos, apresentados no item 4.5, obteve-se os seguintes valores para as correlações, classificados na Tabela 14.

Tabela 14 - Classificação dos Coeficientes de Correlação Linear de Pearson (r) (%)

Legenda		
	$0 \leq r < 30\%$	Desprezível
	$30\% \leq r < 50\%$	Fraca
	$50\% \leq r < 70\%$	Moderada
	$70\% \leq r < 90\%$	Forte
	$90\% \leq r < 100\%$	Muito Forte

Fonte: (MUKAKA, 2012).

Após realizadas as médias mensais dos dados de ETo mensal, trimestral e semestral, esses valores foram correlacionados com as severidades das secas do Monitor. Os resultados dessas correlações são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Coeficientes de Correlação Linear de Pearson (r) (%)

Coeficientes de Correlação Linear de Pearson (r) (%)			
Mês	Mensal	Trimestral	Semestral
Janeiro	66,7%	71,1%	90,2%
Fevereiro	70,4%	67,6%	68,2%
Março	44,8%	54,8%	70,1%
Abril	66,4%	82,4%	83,6%
Maio	61,5%	69,3%	82,8%
Junho	-13,6%	17,5%	60,9%
Julho	24,4%	1,6%	63,8%
Agosto	10,0%	0,4%	55,9%
Setembro	22,8%	14,0%	55,6%
Outubro	74,0%	48,4%	76,7%
Novembro	60,6%	58,8%	79,9%
Dezembro	61,8%	74,8%	80,7%

Fonte: (Autor; 2021)

Observa-se que mesmo a amostra de dados sendo pequena (apenas 3 anos de dados), dos 36 (trinta e seis) r 's calculados, 8 (22,2%) foram classificados como correlações desprezíveis e 2 (5,5%) como correlações fracas. Nota-se que nos meses de junho, julho, agosto

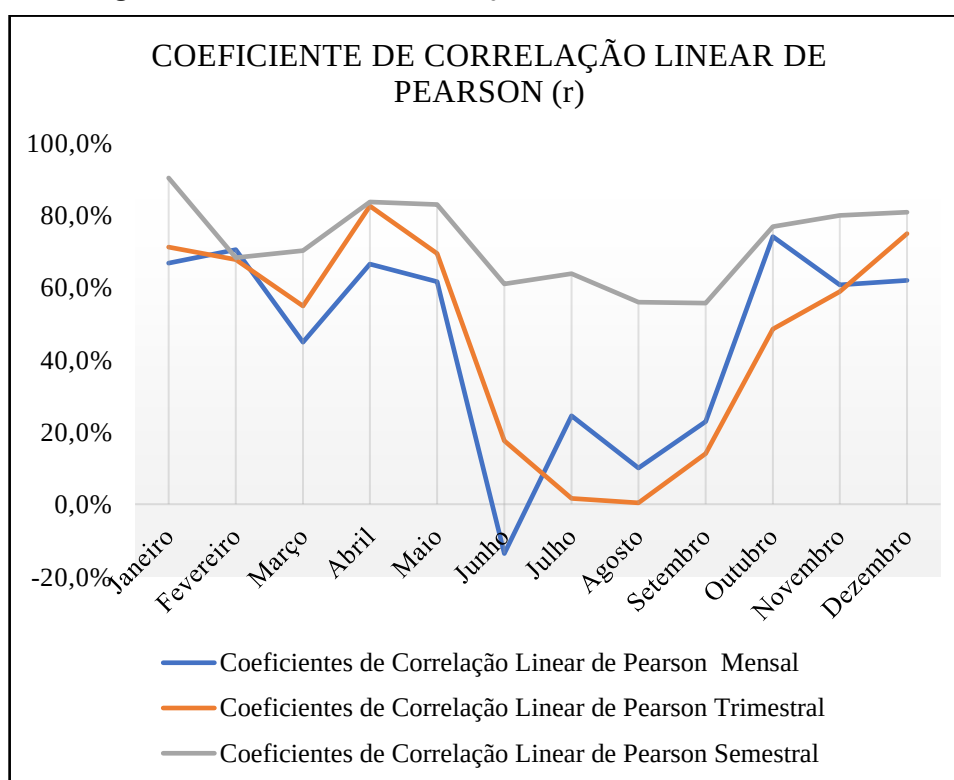
e setembro, os coeficientes r 's foram desprezíveis para as correlações mensais e trimestrais. Acredita-se que essas correlações sofrem os efeitos da estação do ano correspondente a estes meses, o inverno, onde a precipitação pode ser uma variável com mais peso para determinação da intensidade da seca, atuando com maior frequência e colaborando para que a evapotranspiração nestes meses assuma os menores valores médios, como visto no item 5.2.

No mês de outubro, o coeficiente r foi fraco para correlação trimestral, pois neste caso acumula-se os valores do mês analisado com os dois anteriores, os quais possuem correlações mensais desprezíveis, contribuindo para que o valor desta correlação não chagasse a 50%. O mesmo ocorreu com a correlação mensal de março, que foi fraca, na medida que no regime de chuvas do Estado, o mês de março apresenta valores significativos de precipitação, sendo essa a variável, provavelmente, com maior peso para determinação da intensidade de seca no mês.

Em contrapartida temos que 14 (38,8%) apresentaram correlação moderada, 11 (30,5%) mostrando correlações fortes e ainda 1 (2,8%) correlação muito forte, totalizando 26 (72,2%) correlações aceitáveis entre seca e evapotranspiração.

A partir da Figura 16 pode-se observar graficamente o comportamento das correlações.÷

Figura 16 – Coeficientes de correlação: mensal, trimestral e semestral.



Fonte: (Autor; 2021)

Através da Figura 16, nota-se que dentre as correlações calculadas, com exceção do mês de fevereiro, as de valores mais fortes são as semestrais, isto se dá, na medida em que para a confecção do mapa do Monitor de Secas levam-se em conta indicadores temporais de três, seis, doze e vinte quatro meses, pois a seca é um fenômeno natural que se consolida gradual e lentamente. Conclui-se que as correlações com maiores valores acumulados (acima de seis meses) tendem a apresentar um coeficiente r ainda mais forte.

Neste caso, a correlação semestral mostrou-se a mais satisfatória para o auxílio na determinação das intensidades de seca no Estado, com coeficientes r variando entre 55,6% e 90,2%, aceitáveis em todos os meses, com nível moderado em fevereiro, junho, julho, agosto e setembro; forte nos meses de outubro, novembro e dezembro; e ainda no mês de janeiro um nível muito forte de correlação.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de encontrar nos dados de Evapotranspiração de Referência uma variável auxiliar que pudesse ser relacionada com as condições de seca em Sergipe, pois sabe-se que a seca é um evento recorrente no Estado. O Monitor de Secas do Brasil é uma ferramenta que realiza um acompanhamento contínuo da intensidade desse fenômeno e vem sendo utilizada para auxílio na execução e planejamento de políticas públicas de combate e prevenção à seca, no entanto para que a representação local torne-se eficiente é preciso que as validações do Estado sejam eficientes e contem com diversidade de produtos de apoio à tomada de decisão.

Foram selecionadas para essa pesquisa, as estações meteorológicas monitoradas pelo INMET, já que o Monitor de Secas as utiliza para o traçado do mapa no estado de Sergipe, já a série temporal foi selecionada com base no período em que para as validações dos mapas do Monitor foram considerados os dados de impactos locais apresentados através dos FMP's pela rede de observadores locais.

Com o presente estudo, pôde-se observar que a Evapotranspiração de Referência (ET_o) calculada a partir do método de Hargreaves e Samani pode ser um indicador de intensidade para o mapa do Monitor de Secas do Brasil (MSB), pois mesmo utilizando-se uma série de dados pequena (três anos de dados), além das semelhanças de distribuição das médias de ambas as variáveis ao longo do ano, obteve-se 72,2% de correlações positivas e aceitáveis entre seca e evapotranspiração e ainda 100% (cem por cento) de correlações positivas e aceitáveis entre seca e ET_o semestral, ou seja, é possível associar valores baixos de ET_o com intensidades mais brandas de seca, bem como valores altos de ET_o com intensidades mais severas de seca de maneira crescente e linear.

Portanto, o uso dos dados de ET_o são importantes para a determinação da severidade de seca no estado de Sergipe e podem vir a tornarem-se insumos de utilidade considerável para a criação de produtos de apoio para equipe de validação estadual, seja como parâmetro tabelado, remetendo a uma intensidade de seca, ou através de mapas temáticos de distribuição de ET_o no território estadual. Com isso a equipe validadora terá a sua disposição mais produtos e critérios para uma avaliação mais consistente.

A utilização dos dados de Evapotranspiração de Referência contribuirá para que o mapa do Monitor de Secas do Brasil torne-se ainda mais fiel a realidade da seca no estado de Sergipe

e a partir daí, os gestores de recursos hídricos poderão tomar medidas ainda mais assertivas na distribuição, rateamento e regulação, bem como medidas preventivas para gestão de riscos no que diz respeito aos impactos causados pela seca. Assim, uma gestão mais eficiente nas condições de seca, desde o preparo à mitigação, trará diversos benefícios nos âmbitos agrícolas, hidrológicos, econômicos e sociais significativos para a sociedade sergipana.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. V. S.; et al. **Eficiência do método de Hargreaves e Samani para estimativa de evapotranspiração em Pernambuco.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Foz do Iguaçu, PR. 2016. Disponível em: <<https://www.confea.org.br/sites/default/files/uploads-imce/contecc2016/agronomia/efici%C3%Aancia%20do%20m%C3%A9todo%20de%20hargreaves%20e%20samani%20para%20estimativa%20de%20evapotranspira%C3%A7%C3%A3o%20em%20pernambuco.pdf>>. Acesso em: fevereiro de 2021.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil.** 2018. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: novembro de 2020.

APA – Agência portuguesa do Ambiente. **Plano de prevenção, monitorização e contingência para situações de seca.** 2017. Disponível em: <<https://apambiente.pt/>>, acesso em: novembro de 2020.

ARAÚJO, L. M. J. **Desenvolvimento de um sistema de informação e alerta precoce da seca e elaboração de estratégias de planejamento proativo de adaptação às secas urbanas.** Tese de Doutorado. Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018. Disponível em: <>. Acesso em: novembro de 2020.

BANCO MUNDIAL. **Monitor de Secas no Nordeste: em busca de um novo paradigma para a gestão de secas.** 1. ed. Brasília: Grupo Banco Mundial, 2015, 124 p.

BARRA, T. S.; et al. **Caracterização Climatológica da Severidade das Secas do Estado do Ceará – Brasil.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v.6, n.2, 2002. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>, acesso em: novembro de 2020.

CIRILO, J. A. **O semiárido brasileiro: políticas de água.** In: GALVÃO, C. de O. et al. (Org.). Recursos hídricos para a convivência com o semiárido: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina. Porto Alegre: ABRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011. p. 49-65.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística**. Belo Horizonte-MG: PUC Minas Virtual, 2003. Disponível em: <<https://www.ets.ufpb.br/pdf/2013/2%20METodos%20quantitat%20e%20qualitat%20-%20IFES/Material%20Prof.%20Paulo/Livro%20Probabilidade%20Estatistica%202A%20Ed.pdf>>. Acesso em: março de 2021.

FERNANDES, D. S.; et al. **Índices para a quantificação da seca**. Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2009. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/879913/1/doc263.pdf>>. Acesso em: novembro de 2020.

HARGREAVES, G.H., SAMANI, Z.A., (1985), **Reference crop evapotranspiration from temperature**. Transaction of ASAE 1(2):96-99.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Mapa das Estações**. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br>>. Acesso em: fevereiro de 2021.

KOBIYAMA, M.; VESTENA, L.R. **Aplicação do método de Penman modificado no cálculo da Evapotranspiração de Referência para quatro estações meteorológicas do Estado do Paraná**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Guarapuava, v.8, n.1, p.83-97, 2006. Disponível em: < <http://www.labhidro.ufsc.br/>>, acesso em: novembro de 2020.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. Ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.

REBOITA, M. S.; et al. **Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2010 para Rio Grande - RS**. Rev. bras. meteorol. [online]. 2018, vol.33, n.1, pp.165-179. ISSN 1982-4351. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/0102-7786331010>>, acesso em novembro de 2020.

SANTOS, G. B. **Estudo bioclimático do estado de Sergipe para a avicultura**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Sergipe. 2012. Disponível em: < <https://ri.ufs.br/>>. Acesso em: novembro de 2020.

SANTOS, K. M. S. **Avaliação da eficiência do monitor de secas para definição de secas em Sergipe**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe. Agosto de 2019. Disponível em: < <https://ri.ufs.br/>>. Acesso em: novembro de 2020.

SANTOS, M. S. **Secas no alto Rio São Francisco**. Curitiba-Pr: Appris, 2016.

SEDURBS - SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E SUSTENTABILIDADE. **Atlas digital sobre recursos hídricos de Sergipe**. Aracaju: SEDURBS, 2020. Disponível em: <[https:// sedurbs.se.gov.br/](https://sedurbs.se.gov.br/)>. Acesso em: Novembro de 2020.

SEPLAG - Secretaria de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Geografia de Sergipe**. SEPLAG, 2014. Disponível em: <<http://observatorio.se.gov.br/geografia-e-cartografia/publicacoes-de-geografia-e-cartografia/geografia-de-sergipe>>. Acesso em: novembro de 2020.

SHAHIDIAN, S. et al. **Utilização da equação de Hargreaves Samani para o cálculo da ETo em estufas**. VI congresso ibérico de agroingeniería. Portugal, 2011. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/>> , aceso em novembro de 2020.

SILVA, M. A. V. **Meteorologia e Climatologia**. Recife-PE, 2006. Disponível em: <https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2021.

SILVA, M. et al. **Estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de Hargreaves-Samani no estado do Ceará, Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2015v9n2p132-141>>. Acesso em: fevereiro de 2021.

SUDEN/SE - Subsecretaria de Estado dos Recursos Energéticos e Sustentáveis. **Panorama energético de Sergipe 2014: ano base 2012**. Aracaju. SUDEN/SE, 2014. Disponível em: <<http://observatorio.se.gov.br/geografia-e-cartografia/publicacoes-de-geografia-e-cartografia/geografia-de-sergipe>>. Acesso em: novembro de 2020.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. INPE/CRS, Santa Maria, 38 p., 2008.

MARTINS, E. S. et al. **Monitor de Secas no Nordeste - o processo** In: DE NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. (Org.). Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE; Banco Mundial, 2016. 292 p.

Monitor de Secas. Disponível em: <<http://monitordesecas.ana.gov.br/>>. Acesso em: fevereiro de 2021.

MUKAKA, M.M. **Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research**. Malawai Medical Journal. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3576830/>>. Acesso em: março de 2021.

OLIVEIRA, A. L. M. O. **Calibração da equação de Hargreaves-Samani e de um novo método para estimativa da evapotranspiração de referência na região mineira da bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. Dissertação de Mestrado do Programa de PósGraduação em Ciência Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei – Campus Sete Lagoas. 2016. Disponível em: < [https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgca/Dissertacao%20Aline_04_03_2016\(1\).pdf](https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgca/Dissertacao%20Aline_04_03_2016(1).pdf)> . Acesso em: abril de 2021.

TUCCI, C. E. M. e BELTRAME, L. F. S. **Evaporação e Evapotranspiração**. In: TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: 2001.p.253-287.