

CAIO SÉRGIO PEREIRA DE ARAÚJO

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO VIA REANÁLISE ERA5-LAND NO ESTADO
DE PERNAMBUCO

RECIFE - PE

2022

CAIO SÉRGIO PEREIRA DE ARAÚJO

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO VIA REANÁLISE ERA5-LAND NO ESTADO
DE PERNAMBUCO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

RECIFE - PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A663b Araújo, Caio Sérgio Pereira de
 Balanço hídrico climatológico via reanálise ERA5-Land no estado de Pernambuco / Caio Sérgio Pereira de Araújo. -
 2022.
 85 f. : il.
- Orientadora: Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida.
 Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
 Agrícola, Recife, 2022.
1. Variáveis hidrológicas. 2. Dados Climatológicos. 3. Evapotranspiração. 4. Precipitação. I. Almeida, Ceres Duarte
 Guedes Cabral de, orient. II. Título

CAIO SÉRGIO PEREIRA DE ARAÚJO

**BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO VIA REANÁLISE ERA5-LAND NO
ESTADO DE PERNAMBUCO**

Dissertação defendida e aprovada em 17 de fevereiro de 2022 pela banca examinadora:

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida (CODAI/UFRPE)

Comissão examinadora:

Pabício Marcos Oliveira Lopes (DEPA/UFRPE)

Werônica Meira de Souza (UFAPE/UFRPE)

RECIFE - PE

2022

Ao meu avô, Raimundo Francisco (*in memoriam*), pelos ensinamentos, conselhos, amor, dedicação e pelo exemplo de homem honesto.

Ofereço.

À minha mãe, Francisca das Chagas Pereira de Araújo (Dona Neném), por todo o esforço e dedicação que teve por mim, me ajudando a manter-me firme nessa trajetória. À minha irmã, Carla Sabrina Pereira de Araújo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me conceder sabedoria, paciência nas horas difíceis e por me livrar dos maus caminhos que surgiram durante toda a vida.

Ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, por acreditar no meu potencial me concedendo a vaga no mestrado, e a todos os professores do programa pelos ensinamentos passados de forma impecável apesar das dificuldades da pandemia e das aulas remotas.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo as pesquisas, pelo apoio financeiro e institucional.

A professora Dr^a. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida, pela orientação, amizade, ensinamentos, conselhos e dedicação na condução deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Pabício Marcos Oliveira Lopes e Prof^a. Dr^a. Werônica Meira de Souza pelas valiosas contribuições.

A minha mãe, Francisca das Chagas Pereira de Araújo e minha irmã, Carla Sabrina Pereira de Araújo pela paciência, apoio, amor, carinho e dedicação em todas as etapas da vida, não medindo esforços para que eu conseguisse alcançar meus objetivos.

A minha namorada, Laryssa Dionara, por todo o amor, carinho e confiança passada a mim nessa jornada, estando sempre na torcida pelos bons resultados e me apoiando sempre nas minhas decisões.

Ao meu amigo Ivis Andrei por muitos anos de amizade, pelo incentivo a participar da seleção deste programa e pela parceria durante essa pesquisa, me apoiando e incentivando nas horas difíceis.

Ao amigo Matteo Ippolito pela paciência nos ensinamentos das metodologias a serem utilizadas nessa pesquisa, mesmo com a minha dificuldade em entender o idioma italiano, você se mostrou ser uma pessoa que se preocupa com o próximo e com o futuro das pesquisas pelo mundo.

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I	xii
Considerações Iniciais	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. HIPÓTESES	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 Geral	16
3.2 Específicos.....	16
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 Balanço Hídrico Climatológico	17
4.1.1 Método de Thornthwaite e Mather	17
4.1.1.1 Variáveis de entrada no cálculo do Balanço Hídrico Climatológico	17
4.1.2 Método de Penman-Monteith	18
4.1.3 Método de Hargreaves-Samani	19
4.2 Dados meteorológicos de superfície.....	20
4.3 Modelos Atmosféricos Globais	21
4.3.1 Global Precipitation Climatology Centre – GPCC	21
4.3.2 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)	22
4.3.3 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)	23
4.3.4 Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP)	23
4.3.5 Dados do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
CAPÍTULO II.....	35
VALIDAÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO TOTAL OBTIDOS DA REANÁLISE ERA5 LAND	35
INTRODUÇÃO	38
MATERIAL E MÉTODOS	41
RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

CAPÍTULO III	61
BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO VIA REANÁLISE ERA5-LAND NO ESTADO DE PERNAMBUCO	61
INTRODUÇÃO	64
MATERIAL E MÉTODOS	67
RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do estado de Pernambuco no nordeste do Brasil (A); Distribuição espacial das estações meteorológicas automáticas de superfície pertencentes à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no estado de Pernambuco, identificadas pela cidade e respectivo código da Organização Meteorológica Mundial – OMM (B); Elevação (Weber et al., 2004) das estações em metros (m) (C).	41
Figura 2. Erros médios de precipitação total (mm) estimados pelo ERA5-Land subdivididos por mesorregiões climáticas de Pernambuco: (A) Sertão, (B) Agreste e Zona da Mata/Litoral. ...	45
Figura 3 Médias mensais da precipitação total aferida por estações meteorológicas automáticas de superfície (observada) e a estimada pelo ERA5-Land em municípios do estado de Pernambuco, no período de 1990 a 2020.	49
Figura 4. Erros médios da temperatura mensal (°C) estimada pelo ERA5-Land subdivididos por mesorregiões climáticas de Pernambuco: (A) Sertão, (B) Agreste e Zona da Mata/Litoral. ...	51
Figura 5. Médias mensais da temperatura do ar aferida por estações meteorológicas automáticas de superfície (observada) e a estimada pelo ERA5-Land em municípios do estado de Pernambuco, no período de 1990 a 2020.	53
Figura 6. Erros dos valores estimados do ERA5-land sobre os valores observados pelas EMA dos últimos três anos para o município de Caruaru.	55
Figura 7 Balanço hídrico climatológico para o estado de Pernambuco via reanálise ERA5-Land, para os municípios de: Petrolina (a), Arcoverde (b), Cabrobó (c), Salgueiro (d), Ibimirim (e), Serra Talhada (f), Floresta (g), Ouricuri (h), Garanhuns (i), Surubim (j), Caruaru (k), Recife (l), Palmares (m). DEF: Deficiência hídrica; EXC: Excedente hídrico; ETP: Evapotranspiração potencial; ETR: Evapotranspiração Real; ARM: Armazenamento.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características geográficas dos locais onde as estações meteorológicas automáticas estão inseridas.....	42
Tabela 2. Classificações do coeficiente de correlação de Pearson (r) e do coeficiente de desempenho de Camargo e Sentelhas (c) (1997).....	44
Tabela 3. Índices estatísticos de desempenho da reanálise do ERA5-Land na estimativa dos dados de precipitação total (mm) em comparação com os dados aferidos por estações meteorológicas automáticas de superfície no estado de Pernambuco.	46
Tabela 4. Índices estatísticos de desempenho da reanálise do ERA5-Land na estimativa dos dados de temperatura do ar em comparação com os dados aferidos por estações meteorológicas automáticas de superfície no estado de Pernambuco.....	51
Tabela 5. Resumo dos valores máximos e mínimos das variáveis do balanço hídrico climatológico no período de 31 anos para cada município do estado de Pernambuco.	77

RESUMO

Os dados observados de estações meteorológicas de superfície constituem um aparato importante para as pesquisas, estudos hidrológicos e climatológicos mundiais. Porém, devido as falhas nos dados finais decorrentes de erros de leitura humana (estações convencionais) e de falhas em equipamentos e sensores (estações automáticas), surgiu a necessidade de identificar alternativas que possam substituir ou completar os dados de estações meteorológicas, como por exemplo, dados climatológicos estimados por modelos atmosféricos globais. O balanço hídrico climatológico se consolidou como uma ferramenta de extrema importância para obter respostas sobre as variáveis intrínsecas do planejamento agrícola. A utilização de dados estimados de reanálise no cálculo do balanço hídrico climatológico é uma realidade mundial devido a consistência e disponibilidade desses dados. Portanto, essa pesquisa visou estimar o balanço hídrico climatológico (BHC) e a deficiência hídrica a partir dos dados mensais de temperatura média do ar e precipitação pluvial estimados pela reanálise ERA5-Land do *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), validados com base nos dados meteorológicos de superfície, no estado de Pernambuco no período de 31 anos (01/01/1990 – 31/12/2020). Os dados de temperatura do ar e precipitação foram estratificados por mesorregiões do Estado (Zona da Mata/Litoral, Agreste e Sertão), e a validação dos dados da reanálise ERA5-Land foi realizada mediante cálculo de índices estatísticos que avaliaram a precisão e exatidão na estimativa do modelo. O cálculo do BHC foi obtido segundo a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) através do programa BHnorm e adotado o valor de 100 mm para a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD). A reanálise do ERA5-Land obteve precisão superior a 52% para a variável precipitação total e superior a 90% para temperatura do ar em quase todo o estado. De um modo geral, os dados de precipitação total e temperatura do ar gerados pelo ERA5-Land e comparados com os de superfície por meio do erro sistemático MBE foram subestimados. A deficiência hídrica na mesorregião do Sertão foi superior à precipitação pluviométrica em todos os meses, com os maiores valores observados em Cabrobó no mês de novembro (-170 mm) e em Floresta no mês de dezembro (-172 mm) durante toda a estação seca. Na mesorregião Agreste, foram registrados os maiores valores de déficit hídrico no mês de dezembro nos municípios de Surubim (-96 mm) e Caruaru (-84 mm), por outro lado, o município de Garanhuns apresentou valor máximo de -76 mm em dezembro e 0 mm nos meses de junho e julho, onde houve leve armazenamento de água no solo sem a presença de excedente hídrico. Na Zona da Mata/Litoral houve déficit hídrico de janeiro a abril e de setembro a dezembro, com os maiores valores observados no mês de dezembro em Recife (-87 mm) e Palmares (-72 mm). O excedente hídrico totalizou 71 mm, distribuído em junho e julho (44,13 mm e 0,37 mm, respectivamente) em Recife e em Palmares (14,5 mm e 12 mm, respectivamente). Portanto, com os resultados obtidos na validação dos dados da reanálise do ERA5-Land, pode-se assegurar que a reanálise estimou bem a precipitação total e a temperatura média do ar para o estado de Pernambuco, necessitando de grandes melhorias na variável precipitação e de pequenas na variável temperatura do ar. Com base no balanço hídrico climatológico, é aconselhável o uso de irrigação suplementar para culturas que demandem suplementação hídrica acima de cinco meses ao longo do ano na região do Sertão, visto que esta mesorregião apresentou período seco por sete meses resultando em maior deficiência hídrica. Os resultados deste estudo fornecem suporte para o planejamento das atividades agrícolas e classificação climática para o estado de Pernambuco.

PALAVRAS CHAVES: Variáveis hidrológicas, Dados Climatológicos, Evapotranspiração, Precipitação.

ABSTRACT

The observed data from surface weather stations are an important option for research, hydrological and climatological studies worldwide. However, due to the failures in the final data resulting from errors of human reading (conventional stations) and failures in equipment and sensors (automatic stations), it generated a search for alternatives that can replace or complete the data of meteorological stations, such as the estimated climatological data from global atmospheric models. The climatological water balance was consolidated as an extremely important tool to obtain answers about the intrinsic variables of agricultural planning. The use of estimated reanalysis data in the calculation of climatological water balance is already a global reality due to the consistency and availability of these data. Therefore, this research aimed to estimate the climatological water balance (BHC) and water deficiency from the monthly data of average air temperature and Rainfall estimated by the ERA5-Land reanalysis data from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), validated based on surface weather data, in the state of Pernambuco in the period of 31 years (01/01/1990 – 31/12/2020). The air temperature and precipitation data were stratified by state mesoregions (forest zone, agrest and semiarid), and the validation of ERA5-Land reanalysis data was performed by calculating statistical indices that evaluated accuracy and accuracy at the model estimating. The BHC calculation was obtained according to Thorthwaite and Mather (1955) methodology through the BHnorm program and adopted the value of 100 mm for storage soil available water capacity (CAD). The reanalysis of ERA5-Land obtained accuracy greater than 52% for the variable total precipitation and higher than 90% for air temperature in almost all over the state. In general, the total precipitation and air temperature data generated by ERA5-Land and compared with surface data through systematic MBE error were underestimated. Water deficiency of the semiarid mesoregion was higher than rainfall in all months, with the highest values observed in Cabrobó in November (-170 mm) and in Forest in December (-172 mm) throughout the dry season. In the Agreste mesoregion, the highest values of water deficit in December were recorded in the municipalities of Surubim (-96 mm) and Caruaru (-84 mm), on the other hand, the municipality of Garanhuns presented a maximum value of -76 mm in December and 0 mm in June and July, where there was a slight storage of water in the soil without the presence of water surplus. In the Zona da Mata/Litoral there was a water deficit from January to April and from September to December, with the highest values observed in December in Recife (-87 mm) and Palmares (-72 mm). The water surplus totaled 71 mm, distributed in June and July (44.13 mm and 0.37 mm, respectively) in Recife and Palmares (14.5 mm and 12 mm, respectively). Therefore, with the results obtained in the validation of era5-land reanalysis data, it can be ensured that the reanalysis safely estimated the total precipitation and the average air temperature for the state of Pernambuco, requiring major improvements in the variable precipitation and small in the variable air temperature. Based on the climatological water balance, it is recommendable to use supplementary irrigation for crops that require water supplementation above five months a long of year in the Sertão mesoregion, since this mesoregion presented a dry period by seven months resulting higher water deficiency. The results of this study provide support for the planning of agricultural activities and climate classification for the state of Pernambuco.

KEYWORDS: Hydrological Variables, Climatological Data, Evapotranspiration, Precipitation.

CAPÍTULO I

Considerações Iniciais

1. INTRODUÇÃO GERAL

Durante as últimas décadas, a atmosfera vem apresentando aumento no aquecimento global com acréscimo acentuado a partir da década de 80 (Silva; Montenegro; Souza, 2017; Angelocci; Sentelhas, 2010). Até o final do século XXI o Brasil ficará bastante vulnerável devido ao aumento da temperatura do ar entre 2,0°C e 4,8°C, conforme estimativa dos modelos climáticos globais (MCG) (Cirino *et al.*, 2014). O território brasileiro possui diferentes tipos de climas (equatorial, tropical, tropical de altitude, tropical úmido, semiárido e subtropical) que sofrem alterações diretas devido a esse aquecimento. As estações meteorológicas de superfície são aparatos importantes nesse contexto. No entanto, o Brasil não possui estações meteorológicas de superfície em quantidade suficiente para a demanda agrícola (Aparecido *et al.*, 2019). Como vantagem, as estações possuem medições em tempo real, e como desvantagem têm-se as falhas nos dados das séries temporais provenientes de erros de calibração dos instrumentos de medida nas estações, o que dificulta a utilização das informações (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2002).

As variáveis climáticas são eficientes ferramentas quando são medidas corretamente, onde podem ser utilizadas em modelos de simulação de crescimento e em cartas de zoneamento agrícola (Rahimi; Ebrahimpour; Khalili, 2013). As séries históricas de dados atmosféricos de superfície são de suma importância para a realização de pesquisas, porém as falhas devidas as perdas de calibração dos sensores, baixa densidade das estações e erros de medidas, geram valores não confiáveis (Moraes *et al.*, 2012). Couto *et al.* (2015) afirmaram que uma das alternativas para esses dados de superfície são os modelos atmosféricos globais como *European Center for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF), cujo sistema une informações meteorológicas do planeta Terra, oriundas de radares e satélites. Os dados desse sistema são encontrados em um banco meteorológico do JRC (*Joint Research Centre*), fornecendo dados de precipitação (mm), temperatura do ar (°C), radiação solar (MJ m^{-2}) e evapotranspiração (mm) pelo método de Penman-Monteith-FAO (Moraes; Rocha; Lamparelli, 2014). A reanálise do ERA5-Land é uma versão aperfeiçoada do ERA5 que foi criado forçando o componente terrestre da reanálise do ERA5, abrangendo o mesmo período. Essa reanálise entrega ao usuário uma série de variáveis estimadas através do modelo do ECMWF juntamente com o *Scheme for Surface Exchanges over Land with a revised land surface hydrology* (HTESSEL) (Hersbach *et al.*, 2018).

A precipitação pluviométrica é uma variável de extrema importância para o bom funcionamento dos ecossistemas, principalmente, em regiões tropicais sendo, portanto, necessário o monitoramento de eventos extremos de chuva que podem causar problemas socioeconômico e ambientais (Salton *et al.*, 2016). Por outro lado, dentre os elementos climáticos, a temperatura do ar é a que mais interfere na fisiologia das plantas agindo de forma direta. Portanto, é de suma importância possuir conhecimento prévio sobre essa variável que, a depender da intensidade pode ser benéfica ou maléfica para o funcionamento dos ecossistemas (Ramos *et al.*, 2017).

A evapotranspiração é definida como a perda de água para a atmosfera pelos processos naturais como evaporação da água do solo e transpiração das plantas (Neves *et al.*, 2018). Quando a perda de água ocorre sem restrição hídrica em superfície natural é denominada de evapotranspiração potencial (ETP), e quando acontece em qualquer condição de umidade e cobertura vegetal é denominada de evapotranspiração real (ETR) (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2007). Por outro lado, a quantidade de água disponível no solo é definida pela estimativa do balanço hídrico onde são contabilizadas as entradas e saídas, onde a precipitação pluvial é a principal componente de entrada e a evapotranspiração a de saída (Neves *et al.*, 2018)

As variáveis precipitação pluviométrica e temperatura do ar são medidas através de instrumentos de medições como termômetros e pluviômetros, que podem ser instalados *in loco* com outros tipos de sensores compondo uma estação meteorológica. Entretanto, as estimativas de temperatura e precipitação têm sido usadas não só para o entendimento de dados climáticos isolados, mas também como variáveis para determinar a disponibilidade hídrica por meio do balanço hídrico climatológico (BHC). Através deste método, pode-se estimar a quantidade de água armazenada no solo, bem como o escoamento e a evapotranspiração obtendo-se resultados sobre o regime hidrológico (Gois *et al.*, 2019). O BHC desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) tem como propósito estabelecer o fluxo hídrico de uma região sem que precise da utilização de medidas diretas e da condição do solo (Rolim *et al.*, 2007).

A deficiência hídrica é resultante da relação entre a evapotranspiração potencial e a real, expressando o quanto a vegetação deixou de evapotranspirar devido à baixa quantidade de água no solo (Aparecido; Rolim, 2018). Essa variável se torna importante por se relacionar diretamente com a produção de vários cultivos agrícolas (Martins *et al.*, 2015; Battisti; Sentelhas, 2015).

As principais variáveis do BHC, elaborado por Thornthwaite e Mather (1955), são a Precipitação (P), a Evapotranspiração Potencial (ETP), a Evapotranspiração Real (ETR), a deficiência hídrica (DEF), o excedente hídrico (EXC) e o armazenamento (ARM). Logo, A estimativa e o diagnóstico correto dessas variáveis são importantes para a realização e entendimento do BHC da área de estudo analisada (Aquino; Dias, 2020). Nesse contexto, as variáveis que integram o BHC facilitam o planejamento agropecuário, fornecendo informações importantes na identificação das fragilidades climáticas, se tornando uma ferramenta de tomada de decisão em optar ou não por suplementação hídrica para suprir a deficiência de água do solo (Aquino; Oliveira, 2013).

Portanto, percebe-se a importância de utilizar dados climáticos em grande escala no desenvolvimento de pesquisas mais aprofundadas. Dessa forma, estes estudos geram subsídios para o planejamento agrícola por meio de resultados obtidos com uma única variável (previsão de chuva, temperatura, radiação solar, entre outros) ou por meio da união de outras variáveis (balanço hídrico). Entretanto, o banco de dados climáticos proveniente de estações meteorológicas sofre perdas devido às falhas nos sensores ou humanas, gerando inconsistência nas séries históricas. Assim, torna-se imprescindível a busca por alternativas para a obtenção de dados mais precisos, independente da disponibilidade de estações meteorológicas superficiais, como é o caso dos dados provenientes de reanálise atmosférica global.

2. HIPÓTESES

1) Os dados de reanálise de precipitação pluviométrica estimados em satélite pelo ERA5-Land representam com elevado grau de precisão os dados de superfície medidos em estações meteorológicas.

2) Os dados de reanálise de temperatura média do ar estimados em satélite pelo ERA5-Land representam com elevado grau de precisão os dados de superfície medidos em estações meteorológicas.

3) O balanço hídrico climatológico, calculado a partir de dados estimados por modelos atmosféricos globais, pode ser usado como uma ferramenta de tomada de decisão sobre a necessidade de irrigação para suprir a deficiência hídrica no solo.

4) O balanço hídrico climatológico obtido com base nos dados de reanálise do ERA5-Land pode produzir subsídios precisos para o planejamento agrícola das mesorregiões do Agreste, Zona da Mata/Litoral e Sertão do estado de Pernambuco.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Estimar o balanço hídrico climatológico a partir da validação dos dados mensais de temperatura média do ar e precipitação da reanálise ERA5-Land do ECMWF, com base nas medidas meteorológicas de superfície no estado de Pernambuco num período de 31 anos.

3.2 Específicos

1) Comparar os dados de precipitação pluviométrica e temperatura média do ar estimados pelo ERA5-Land com os dados medidos em estações meteorológicas de superfície.

2) Validar os dados mensais de temperatura do ar e precipitação total estimados pela reanálise ERA5-Land com base nos dados medidos em estações meteorológicas automáticas.

3) Calcular o balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), utilizando dados estimados pela reanálise ERA5-Land.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Balanço Hídrico Climatológico

4.1.1 Método de Thornthwaite e Mather

O balanço hídrico climatológico (BHC) determinado pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) tem se consolidado como uma ferramenta muito importante para o monitoramento de água no solo, sendo utilizada principalmente como instrumento de planejamento para manejos de culturas agrícolas (Passos; Zambrzycki; Pereira, 2017).

A ideia de estimar o balanço hídrico climatológico surgiu devido à necessidade de obter valores de chuva e de evapotranspiração, dentro de um ecossistema, com a finalidade de conhecer a disponibilidade de águas para as plantas (D'Angiolella; Vasconcelos; Rosa, 2005). Esse parâmetro tornou-se imprescindível para o monitoramento do armazenamento de água no solo sendo utilizado no zoneamento agroclimático e como indicador climatológico da quantidade de água disponível em uma determinada região (Jesus, 2015).

A metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955) contabiliza a água do solo em que a precipitação pluviométrica total (PPT), capacidade de água disponível (CAD), temperatura do ar (TAR) e evapotranspiração potencial (ETP) são utilizados como dados de entrada (Monteiro *et al.*, 2011). A partir dessas variáveis obtêm-se outros parâmetros como armazenamento de água no solo (ARM), Evapotranspiração Real (ETR), Excedente Hídrico (EXC) e a Deficiência Hídrica (DEF) (Matos *et al.*, 2015). Logo ao analisar estes parâmetros, tem-se um conhecimento prévio da disponibilidade de água no solo funcionando como uma ferramenta importante para o planejamento agrícola e ambiental (Aquino; Oliveira, 2013).

4.1.1.1 Variáveis de entrada no cálculo do Balanço Hídrico Climatológico

Na determinação do Balanço Hídrico Climatológico são consideradas diversas variáveis, entre elas destacam-se: evapotranspiração, precipitação pluviométrica e temperatura do ar. A relação entre evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real dentro do balanço hídrico se refere a cultura, bem como reflete as condições hídricas do solo, visto que, tanto o excesso quanto o déficit hídrico podem interferir significativamente nas atividades metabólicas das culturas (Santos; Hernandez; Rossetti, 2010). A estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) é de suma importância no planejamento da irrigação de culturas, na produtividade agrícola e nas pesquisas ambientais, visto que essa variável é uma componente fundamental do ciclo hidrológico (Adamala, 2018; Almorox *et al.*, 2018; Kiafar *et al.*, 2017; Mehdizadeh; Saadatnejadgharahassanlou; Behmanesh, 2017). A escassez de água acontece quando a ETP é

superior à precipitação, diminuindo a água disponível para as plantas (Maček; Bezak; Sraj, 2018). A ETP pode ser estimada utilizando vários métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos apresentam alta precisão por serem estimados em campo, porém, demandam equipamentos sofisticados de custo elevado, enquanto os de métodos indiretos utilizam fórmulas empíricas combinando diferentes variáveis meteorológicas (Trigo *et al.*, 2018).

A evapotranspiração (ET), de forma simples, representa a perda de água para a atmosfera pelos processos naturais como evaporação da água do solo e transpiração das plantas (Neves *et al.*, 2018), sendo utilizada no balanço hídrico para a identificação de períodos de excesso ou escassez hídrica (Barros *et al.*, 2012). Em contrapartida, Dingman (2002) defende que o termo evapotranspiração compreende todos os processos em que a água é transformada em vapor na superfície terrestre, englobando a evaporação de água nos corpos d'água, solos e transpiração das plantas. Nesse sentido, o conhecimento da precipitação pluviométrica permite caracterizar o clima, além de subsidiar o planejamento de atividades produtivas como pecuária, agricultura, geração de energia entre outras (Chagas Neto; Araújo, 2017), visto que é o único componente de entrada de água no balanço hídrico.

Dados de temperatura do ar são, no que lhe concerne, fundamentais em pesquisas que envolvem o balanço hídrico climatológico. A temperatura, em estações meteorológicas convencionais, é medida a partir de termômetros específicos, enquanto nas estações meteorológicas automáticas, são sensores que, integrados a um sistema de aquisição de dados (*datalogger*), registram e armazenam os valores desta variável (Amorim *et al.*, 2015). Nem sempre estações com redes de dados de temperatura estão à disposição, especialmente em grandes territórios como o Brasil onde, na maioria das vezes, para se obter informações climáticas se faz necessário estimar por interpolações com precisão limitada (Castro; Da Silva; Pires. 2010).

4.1.2 Método de Penman-Monteith

Além da importância da evapotranspiração para o balanço hídrico climatológico, é um dos fatores mais importantes do ciclo hidrológico que se baseia na ligação entre energia, clima e disponibilidade hídrica, a qual é determinada através de métodos indiretos ou por medições via lisimetria (Barbieri *et al.*, 2020). Os métodos indiretos consistem em uma combinação que associa os termos diabáticos (saldo de energia na superfície) e adiabáticos (processos de transferência pelos componentes aerodinâmicos) da evaporação. Após o incremento dos termos diabáticos e adiabáticos da evaporação, surgiu a função de resistência da superfície para

transferência de vapor, que ao ser inserida na equação final, tornou-se então a equação de Pennam-Monteith (PM) (Allen *et al.*, 1998).

Após o surgimento da equação, vários pesquisadores apresentaram outros modelos indiretos para estimar a evapotranspiração de referência (ET_o), com conceitos e variáveis diferentes. Logo, dependendo das variáveis meteorológicas disponíveis é possível selecionar o método mais adequado (Ferreira *et al.*, 2019). Muitos dos modelos propostos possuem restrições de cenários que limitam sua aplicação em localidades diferentes daquelas que foram desenvolvidos. Dessa forma, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) normalizou um modelo padrão da equação de Penman-Monteith com a finalidade de resolver esse problema, criando o modelo Penman-Monteith FAO56 (PM-FAO56) que é considerado padrão para a estimativa da ET_o (Turco, 2019).

O modelo PM-FAO56 estima a evapotranspiração de alguma cultura hipotética de referência com altura uniforme de 0,12 m, resistência de superfície de 70 s.m⁻¹ e albedo de 0,23, aumentando ativamente e cobrindo o solo sem haver qualquer estresse hídrico. Assim, os fatores que irão perturbar a ET_o serão as variáveis meteorológicas, sendo assim considerada uma variável atmosférica sendo calculada a partir de dados meteorológicos (Sentelhas; Gillespie; Santos, 2010; Lima Junior *et al.*, 2016). Essa estimativa necessita de variáveis confiáveis obtidas em estações meteorológicas tais como: temperatura do ar, radiação solar incidente, velocidade do vento e umidade relativa do ar. No entanto, devido às falhas na obtenção desses dados, imprecisões e ao número pequeno de estações meteorológicas, poucos elementos estão disponíveis, limitando assim, o uso desse método (Fernandes *et al.*, 2012). A ET_o é utilizada em balanços hídricos agrícolas e em modelagens de processos climatológicos e hidrológicos com a finalidade de estimar o quanto será irrigado em uma plantação, bem como prever as safras futuras e avaliar a acessibilidade dos recursos hídricos (Santos; Hernandez; Rossetti, 2010).

4.1.3 Método de Hargreaves-Samani

O método de Hargreaves-Samani (1985) utiliza apenas os valores da temperatura mínima, máxima e média do ar como base dos cálculos da ET_o, porém, este método possui uma equação empírica que necessita de calibração de acordo com a área de estudo (Conceição, 2019). A equação de Hargreaves-Samani (1985) é apontada como uma alternativa viável para estimar a ET_o quando não há disponibilidade de dados meteorológicos essenciais no modelo de PM-FAO56 (Venancio *et al.*, 2019). Este modelo vem sendo utilizado por vários pesquisadores

devido sua simplicidade e alta capacidade para calibração dos seus parâmetros (Venancio *et al.*, 2019), podendo fornecer dados transparentes de ETo com um intervalo mínimo de cinco dias ou até mesmo para longos períodos (Thepadia; Martinez, 2012), embora existam estudos demonstrando que essa equação ajustada pode estimar com exatidão a ETo diária (Fooladmand; Zandilak; Ravanani, 2008; Trajkovic, 2007).

O ajuste local dos parâmetros da equação de Hargreaves-Samani visa diminuir os erros na estimativa da ETo, elevando a confiança dos dados (Barros; Oliveira Silva; Aguiar Netto, 2017). Deste modo, a calibração deve ser feita ajustando os coeficientes da equação de Hargreaves, uma vez que, calibrações, que utilizam a regressão linear acabam por superestimar os valores da ETo, em comparação ao método de Penman-Monteith FAO-56 (Allen *et al.*, 1994; Trajkovic, 2007). Alguns estudos, como Fernandes *et al.* (2012), Macêdo *et al.* (2017), Arraes *et al.* (2016) e Lima Júnior *et al.* (2017) apresentaram ajustes para a equação de Hargreaves-Samani possibilitando seu uso em várias regiões do Brasil.

4.2 Dados meteorológicos de superfície

Os bancos de dados meteorológicos recebem, armazenam, processam e disponibilizam dados e várias outras informações referentes as variáveis meteorológicas como precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação. Os dados meteorológicos são gerados *in loco* através de estações meteorológicas, sejam elas convencionais ou automáticas, ou por meio de sensores orbitais, aerotransportados ou ainda por sistemas de radar (Vianna *et al.*, 2017).

As estações meteorológicas automáticas (EMA) vêm aumentando no Brasil, sendo utilizadas com mais frequência em universidades, institutos de pesquisas e em setores agrícolas. Atualmente no Brasil, há cerca 782 estações meteorológicas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo 200 estações convencionais e 582 estações automáticas (INMET, 2020).

A vantagem de utilizar dados de estações meteorológicas é o rápido processamento dos dados a aquisição quase em tempo real e uma quantidade significativa de variáveis climáticas. Por outro lado, existem alguns problemas em se trabalhar com dados medidos por estações, como a falta de informações, bem como, erros de leitura devido a falhas nos equipamentos caso seja uma estação automática, e falta de observadores caso seja uma estação convencional (Bier; Ferraz, 2017).

A coleta de dados em estações automatizadas permite uma análise mais rápida das condições atmosféricas por estarem disponíveis em meios eletrônicos de fácil acesso (Tagliaferre *et al.*, 2010). Devido essas facilidades, as estações convencionais estão aos poucos saindo de circulação e sendo substituídas pelas estações automáticas (Ribeiro *et al.*, 2017). No entanto, para que seja feita a substituição das estações convencionais pelas estações automáticas, há a necessidade de estudos entre os dois tipos de estações com a finalidade de garantir a homogeneidade dos dados, passando confiança para que as séries sejam consideradas únicas (Almeida; Souza; Alcântara, 2008).

4.3 Modelos Atmosféricos Globais

Modelos atmosféricos globais são adequados para escalas de análise globais e regionais, desde uma área de cobertura de dezenas de quilômetros até o globo todo, com diferentes resoluções espacial, temporal e vertical. A aplicação desses modelos é bastante ampla, como por exemplo, o monitoramento do desmatamento à previsão climática. Assim, os modelos climáticos globais e regionais são, atualmente, importantes ferramentas no estudo de sistemas de recursos hídricos (Schardong; Simonovic; Garcia, 2014).

4.3.1 Global Precipitation Climatology Centre – GPCC

O *Global Precipitation Climatology Centre* – GPCC mantém capacidade única de coletar, realizar o processo de controle de qualidade e ainda analisar dados de milhares de pluviômetros de todo o mundo. Agências Meteorológicas Nacionais (AMN) em 158 países e 31 fornecedores regionais são responsáveis por fornecerem dados brutos primários para o GPCC, correspondendo boa parte dos dados que compõe o banco de dados do GPCC. Além disso, o GPCC recebe, diariamente, observações sinóticas de superfícies e mensagens sobre o clima do *Global Telecommunication System* (GTS) da *World Meteorological Organization* (WMO) (Sun *et al.*, 2018).

O banco de dados final possui cerca de 200 anos de dados adquiridos em mais de 85.000 estações meteorológicas em todo o mundo. Entretanto, o GPCC exige um período mínimo de 10 anos ininterruptos em cada estação como critério de triagem para o conjunto de dados. A partir desse banco de dados foram construídos quatro produtos de precipitação mensal (ClimatologyV2011, GPCC Full Data versão 7, Monitoring Product V4 e GPCC First Guess Products) (Becker *et al.*, 2013).

O GPCC fornece aos usuários a quantidade de medições para gerar as grades, bem como o erro nas estimativas climatológicas. Uma das limitações desse modelo na América do Sul, em especial nos Andes, é a quantidade de estações utilizadas para interpolar os dados medidos. Nos Andes as estações diminuíram muito nas últimas duas décadas podendo aparecer problemas nos dados em grade e em sua homogeneidade (Schneider *et al.*, 2011).

4.3.2 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

A *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) é uma das fontes de dados mais importantes para os estudos climatológicos e hidrológicos, sendo administrada em conjunto pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). O satélite TRMM possui dados de 25 anos com resolução espacial de 0,5° x 0,5°, cobrindo regiões tropicais e subtropicais (Huffman *et al.*, 2007).

O TRMM possui várias versões com muitos estudos sendo conduzidos nos Andes para determinar sua aplicabilidade nos estudos hidrológicos que a depender do produto utilizado é necessário fazer correções para zonas altas (Condom; Rau; Espinoza, 2011). Um conjunto de produtos de precipitação foi produzido com base nos sensores TMI e o radiômetro VIS/IR sendo disponíveis em 3 níveis. Os produtos de chuva do TRMM produzidos em forma de grade com espaço e tempo uniformes são os de nível 3, sendo os produtos 3A25, 3A11, 3A12, 3B21, 3B42 e 3B43, onde os produtos 3B42 e 3B43 são os mais usados combinando estimativas de muitos satélites (Liu *et al.*, 2012).

Várias pesquisas utilizam os dados do satélite TRMM em estudos hidrológicos buscando analisar e entender as variações da precipitação. Zulkafli *et al.* (2014) fizeram uma análise comparativa de desempenho das versões 6 e 7 do TRMM 3B42 na região dos Andes peruanos. Erazo *et al.* (2018) elaboraram uma pesquisa sobre validação de estimativas para a variabilidade de precipitação na encosta do Pacífico e costa do Equador utilizando dados do satélite TRMM, comparando dados do satélite com dados observados *in situ* com o objetivo de avaliar se os dados do TRMM representam melhor os dados do *Ecuadorian Pacific Slope and Coast* (EPSC) do que os outros três conjuntos de dados do GPCC, *Climatic Research Unit - University of East Anglia* (CRU), e Reanálise ERA-Provisória. Palomino-Angel; Anaya-Aceved; Botero, (2019) avaliaram os produtos de precipitação diária TRMM-3B42V7 (de 2012 a 2015) e IMERG (de 2014 a 2017) sobre a região andina do noroeste da América do Sul (Colômbia) usando observações *in situ* de 185 pluviômetros.

4.3.3 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)

O *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS) é um conjunto global de dados de precipitação, de 1981 até o presente. Esse conjunto utiliza uma combinação de preditores de precipitação, como topografia, elevação, geografia e dados estimados de estações meteorológicas e satélites. Como resultado dessa combinação se tem um conjunto em grade com uma resolução espacial de 0,05° e temporal de 1 dia. O processo de combinação CHIRPS é um algoritmo de ponderação do inverso da distância que foi modificado possuindo características especiais. A primeira versão utiliza a climatologia para definir uma distância de correlação local, onde essa correlação estimada ponto a ponto é zero (Funk *et al.*, 2015). Esse conjunto possui limitações na inclusão dos dados finais combinados em especial para a América do Sul. Por outro lado, por ser um conjunto de dados quase global, pode ser utilizado para elaborar análises em escala regional (Segura *et al.*, 2019).

4.3.4 Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP)

O *Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation* (MSWEP) é mais um importante conjunto de dados de precipitação desenvolvido para a hidrologia. Sua versão mais recente fornece aos usuários um conjunto de dados históricos de precipitação totalmente global que vai desde 1979 a 2017, possuindo resolução espacial de 0,1° e temporal de 3 horas. A principal característica desse produto é a estimativa da precipitação em todo o mundo combinando sete estimativas complementares de precipitação com três estimativas de sensoriamento remoto por satélite, duas observações de pluviômetros *in loco* e dois conjuntos de dados de reanálise atmosférica. Para cada célula da grade o peso atribuído as estimativas adquiridas nos pluviômetros são calculadas a partir da densidade da rede dos próprios medidores de chuva, por outro lado, o peso atribuído as estimativas baseadas em dados de satélites e de reanálise, são calculados a partir do seu desempenho comparativo nos pluviômetros ao redor (Beck *et al.*, 2017)

4.3.5 Dados do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

A reanálise é um conjunto de dados mais refinados que inclui muitas variáveis climáticas, tendo como vantagem altas resoluções espaciais e temporais, atuando como uma alternativa para medições de precipitações em locais escassos de estações meteorológicas e para realização de estudos climáticos (Essou; Brissette; Lucas-Picher, 2017; Sahlu *et al.*, 2017). Contudo, a

resolução espacial, o clima local e a topografia podem interferir no desempenho desse conjunto de dados, sendo considerada uma desvantagem para a reanálise (Chen *et al.*, 2020).

O *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) começou a desenvolver dados de reanálises tanto atmosféricas quanto oceânicas a partir de 1979 com duas reanálises atmosféricas mais atuais como a ERA-Interim e a ERA5 (Hersbach *et al.*, 2018). O ERA5 foi desenvolvido recentemente, sendo a 5ª geração de assimilação de dados do modelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), que corresponde a versão atualizada do ERA-Interim, onde a resolução espacial foi aumentada de 79 km (ERA-Interim) para 25 km (ERA5), e a resolução temporal reduziu de 3 horas (ERA-Interim) para 1 hora (ERA5) (Albergel *et al.*, 2018).

O ERA5-Land foi desenvolvido por meio do componente terrestre da reanálise climática do ERA5, cobrindo o mesmo período (desde janeiro de 1950) em tempo quase real. O ERA5-Land é a versão atualizada do ERA5, onde seu núcleo possui um esquema de mosaico servindo para trocas de superfícies sobre a Terra adicionando a hidrologia da superfície (HTESSEL). Como resolução espacial, o ERA5-Land possui 10 km de resolução contra 25 km do ERA5, e sua resolução temporal de saída é de hora em hora tendo todos os campos dos oceanos mascarados (C3S, 2020).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMALA, S. Temperature based generalized wavelet-neural network models to estimate evapotranspiration in India. **Information processing in agriculture**, v. 5, n. 1, p. 149-155, 2018.

ALBERGEL, C.; DUTRA, E.; MUNIER, S.; CALVET, J. C.; MUNOZ-SABATER, J.; ROSNAV, DE P.; BALSAMO, G. ERA-5 and ERA-Interim driven ISBA land surface model simulations: which one performs better? *Hydrol. Hydrology and Earth System Sciences.*, v. 22, n. 6. p. 3515-3532, 2018. DOI: 10.5194/hess-22-3515-2018.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration -Guidelines for computing crop water requirements - **FAO Irrigation and drainage paper**. n. 56, 1998, Available in: < ftp://ftp.biosfera.dea.ufv.br/gabriel/lue_teste/doc/fao56.pdf >.

ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L. S. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, v. 43, p. 1-34, 1994.

ALMEIDA, H. A.; SOUZA, J. A.; ALCÂNTARA, H. M. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 58-66, 2008.

ALMOROX, J.; SENATORE, A.; QUEJ, V. H.; MENDICINO, G. Worldwide assessment of the Penman-Monteith temperature approach for the estimation of monthly reference evapotranspiration. **Theoretical and applied climatology**, v. 131, n. 1-2, p. 693-703, 2018. DOI: 10.1007/s00704-016-1996-2.

AMORIM, D. M.; COSTA, D. S.; CARVALHO, P. G. S. de.; GARRIDO, M. S.; GONÇALVES, I. C. M. Comparação de dados obtidos a partir de sensores de temperatura e umidade relativa do ar protegidos em um abrigo meteorológico de PVC. **Energia na Agricultura, Botucatu**, vol. 30, n. 2, p.119-124, abril-junho, 2015. DOI: 10.17224/EnergAgric.2015v30n2p119-124

ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Variabilidade, tendência, anomalia e mudança climática. Material didático de uso na disciplina LCE 306 – Meteorologia Agrícola. **Departamento de Engenharia de Biosistemas - setor de Agrometeorologia**, ESALQ/USP, 2010.

APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; MORAES, J. R. S. C.; TORSONI, G. B.; MENESES, K. C.; COSTA, C. T. S. Acurácia da reanálise ERA-Interim do ECMWF e sua aplicação na estimativa da deficiência hídrica no estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.34, n.4, p.515-528, 2019. DOI: 10.1590/0102-7786344066

APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S. Forecasting of the annual yield of Arabic coffee using water deficiency. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 12, p. 1299-1310, 2018. DOI: 10.1590/s0100-204x2018001200002.

AQUINO, C. M. S.; DIAS, A. A. Balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955-57) da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 14, n. 35, p. 27-47, 2020. DOI: 10.5654/acta.v14i35.6154

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Emprego do Método de Thornthwaite e Mather (1955) para Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico do Núcleo de Degradação de São Raimundo Nonato-Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife - PE v. 06, n. 01, p.79-90, 2013. DOI: 10.26848/rbgf.v06.1.p079-090

ARRAES, F. D. D.; LIMA JUNIOR, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; MACÊDO, K. G.; COURAS, Y. S.; OLIVEIRA, W. C. Parametrização da equação de HargreavesSamani para o estado do Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 1, p. 410– 419, 2016. DOI: 10.7127/rbai.v10n100369

BARROS, A. C.; OLIVEIRA SILVA de, C. S.; AGUIAR NETTO, A. O. Ajuste dos parâmetros da equação hargreaves-samani em escala diária para o perímetro irrigado Jacaré-Curitiba, Canindé-SE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v. 11, n. 8, p. 2152 - 2161, 2017. DOI: 10.7127/rbai.v11n800704.

BARROS, A. H. C.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B.; SANTIAGO. G. A. C. F. Climatologia do Estado de Alagoas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 211. Recife: Embrapa Solos, 32. 2012.

BARBIERI, J. D.; DALLACORT, R.; DANIEL, D. F.; DALCHIAVON, F. C.; FREITAS, P. S. L. Cobertura do solo, evapotranspiração e produtividade do milho safrinha. Cultura Agrônômica: **Revista de Ciências Agronômicas**, v. 29, n.1, p. 76- 91, 2020. DOI: 10.32929/2446-8355.2020v29n1p76-91.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Drought tolerance of Brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. **Experimental Agriculture**, v. 51, n. 2, p. 285-298, 2015. DOI: 10.1017/S0014479714000283

BECK, H. E.; VAN DIJK, A. I. J. M.; LEVIZZANI, V.; SCHELLEKENS, J.; MIRALLES, D. G.; MARTENS, B.; ROO, A. MSWEP: 3-hourly 0.25° global gridded precipitation (1979–2015) by merging gauge, satellite, and 771 reanalysis data. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, p. 589–615, 2017. DOI: 10.5194/hess-21-589-2017

BECKER, A.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOFFER, A.; RUDOLF, B.; SCHAMM, K.; SCHNEIDER, U.; ZIESE, M. A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present. **Earth System Science Data**, v. 5, p. 71–99, 2013. DOI: 10.5194/essd-5-71-2013

BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos - SP v. 32, n. 2, p. 215-226, 2017. DOI: 10.1590/0102-778632120150119.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 871-880, 2010.

CHAGAS NETO, P.; ARAÚJO, L. E. Avaliação espaço-temporal da precipitação da microrregião do brejo paraibano. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano-13, v. 21, p.284 - 294, jul/dez, 2017. DOI: 10.5380/abclima.v21i0.52904.

CHEN, Y.; SHARMA, S.; ZHOU, X.; YANG, K.; LI, X.; NIU, X.; HU, X.; KHADKA, N. Spatial performance of multiple reanalysis precipitation datasets on the southern slope of central Himalaya. **Atmospheric Research**, 2020. DOI: 10.1016/j.atmosres.2020.105365

CIRINO, G. G.; SOUZA, R. A. F.; ADAMS, D. K.; ARTAXO, P. The effect of atmospheric aerosol particles and clouds on net ecosystem exchange in the Amazon. **Atmospheric Chemistry and Physics**, London, v. 14, n. 3, p. 6523-6543, 2014. DOI: 10.5194/acp-14-6523-2014

CONCEIÇÃO, M. A. F. Avaliação de modelos para a estimativa decendial da evapotranspiração de referência. **EMBRAPA**, 2019.

CONDOM, T.; RAU, P.; ESPINOZA, J. C. Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007. **Hydrological Processes**, v. 25, p. 1924–1933, 2011. DOI:10.1002/hyp.7949

COUTO, F. T.; SALGADO, R.; COSTA, M. J.; PRIOR, V. Precipitation in the Madeira Island over a 10-year period and the meridional water vapour transport during the winter seasons. **International Journal of Climatology**, v. 35, n. 13, p. 3748-3759, 2015. DOI: 10.1002/joc.4243

C3S - Copernicus Climate Change Service. ERA5-land Reanalysis. date of access December, 2020. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>, 2020.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELOS, V. L. D.; ROSA, J. W. C. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. **In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia,16-21, INPE, p. 83-90, 2005.

DIGMAN, S. L. Physical Hydrology. Long Grove: Waveland Press 22. ed, p.646, 2002.

ERAZO, B.; BOURREL, L.; FRAPPART, F.; CHIMBRAZO, O.; LABAT, D.; DOMINGUEZ-GRANDA, L.; MEJIA, R. Validation of satellite estimates (tropical rainfall measuring mission, TRMM) for rainfall variability over the pacific slope and coast of ecuador. **Water**, v. 10, p. 1-23, 2018 DOI: 10.3390/w10020213

ESSOU, G. R. C.; BRISSETTE, F.; LUCAS-PICHER, P. The use of reanalyses and gridded observations as weather input data for a hydrological model: comparison of performances of simulated river flows based on the density of weather stations. **Journal of Hydrometeorology**, v. 18, p. 497-513, 2017. DOI: 10.1175 / JHM-D-16-0088.1

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. F.; OLIVEIRA AMORIM, A. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 246-255, 2012. DOI: 10.1590/S1806-66902012000200006

FERREIRA, L. B.; CUNHA, F. F.; SEDIYAMA, G. C.; CAMPOS, F. B. HS Cal software for the calibration of the Hargreaves-Samani equation. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, n. 26, p. 1-5, 2019. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00226

FOOLADMAND, H. R.; ZANDILAK, H.; RAVANAN, M. H. Comparison of different types of Hargreaves equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 54, n. 03, p. 321-330, 2008. DOI: 10.1080/03650340701793603

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, H.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, p. 1-21, 2015. DOI: 10.1038/sdata.2015.66

GOIS, G.; FREITAS, W. K.; TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. Variabilidade anual e mensal da chuva e da temperatura do ar no município de Resende, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba – PR, Ano 15, v. 24, p. 67-88, 2019, DOI: 10.5380/abclima.v24i0.61611

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 01, n. 02, p. 96-99, 1985. DOI: 10.13031 / 2013.26773

HERSBACH, H.; ROSNAY, de P.; BELL, B.; SCHEPERS, D.; SIMMONS, A.; SOCI, C.; ABDALLA, S.; ALONSO BALSAMEDA, M.; BALSAMO, G.; BECHTOLD, P.; BERRISFORD, P.; BIDLOT, J.; BOISSÉSON, DE E.; BONAVIDA, M.; BROWNE, P.; BUIZZA, R.; DAHLGREN, P.; DEE, D.; DRAGANI, R.; DIAMANTAKIS, M.; FLEMMING, J.; FORBES, R.; GEER, A.; HAIDEN, T.; HÓLM, E.; HAIMBERGER, L.; HOGAN, R.; HORÁNYI, A.; JANISKOVÁ, M.; LALOYAUX, P.; LOPEZ, P.; MUÑOZ-SABATER, J.; PEUBEY, C.; RADU, R.; RICHARDSON, D.; THÉPAUT, JN.; VITART, F.; YANG, X.; ZSÓTÉR, E.; ZUO, H. Operational global reanalysis: progress, future directions and synergies with NWP. **ECMWF ERA Report**, n. 27, 2018, DOI: 10.21957/tkic6g3wm

HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; WOLFF, D. B.; ADLER, R. F.; GU, G.; HONG, Y.; BOWMAN, K. P.; STOCKER, E. F. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **Journal of Hydrometeorol**, v. 8, p. 38–55, 2007. DOI: 10.1175/JHM560.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Estações meteorológicas convencionais e automáticas. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>> Acesso em: 22 dez. 2020.

JESUS, J. B. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather para o município de Aracaju-SE. **Scientia Plena**, v.11, n. 5. p. 01-06, 2015.

KIAFAR, H.; BABAZADEH, H.; MARTI, P.; KISI, O.; LANDERAS, G.; KARIMI, S.; SHIRI, J. Evaluating the generalizability of GEP models for estimating reference evapotranspiration in distant humid and arid locations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, n. 1-2, p. 377-389, 2017. DOI: 10.1007/s00704-016-1888-5

LIMA JUNIOR, J. C., ARRAES, F. D., DE OLIVEIRA, J. B., NASCIMENTO, A. L.; MACÊDO, K. G. Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 447-454, 2017. DOI: 10.5935/1806-6690.20160054

LIU, Z.; OSTRENG, D.; TENG, W.; KEMPLER, S. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) precipitation data and services for research and applications. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 9, p. 1317–1325, 2012. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00152.1

- MACÊDO, K. A.; ARRAES, F. D. D.; LIMA JUNIOR, J. C.; OLIVEIRA, W. C.; ARAUJO, Y. R. Ajuste dos parâmetros do modelo de Hargreaves E Samani para estimativa da evapotranspiração de referência em escala diária para Maceió-AL. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1484 - 1491, 2017. DOI: 10.7127/rbai.v11n300503
- MAČEK, U.; BEZAK, N.; SRAJ, M. Reference evapotranspiration changes in Slovenia, Europe. **Agricultural and forest meteorology**, v. 260, p. 183-192, 2018. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.06.014
- MARTINS, E.; APARECIDO, L. E. O.; SANTOS, L. P. S.; MENDONÇA, J. M. A. de; SOUZA, P. S. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 499-506, 2015.
- MATOS, R. M.; MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, P. F.; SANTOS, D. Caracterização e aptidão climática de culturas para o município de Alhandra - PB, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza – CE, n. 9, p. 183-192. 2015, DOI: 10.7127/RBAI.V9N300288
- MEHDIZADEH, S.; SAADATNEJADGHARAHASSANLOU, H.; BEHMANESH, J. Calibration of Hargreaves Samani and Priestley-Taylor equations in estimating reference evapotranspiration in the Northwest of Iran. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 7, p. 942-955, 2017. DOI: 10.1080/03650340.2016.1249474
- MONTEIRO, R. N. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; LEITE, K. N.; SILVA, A. O.; BRITO, R. R. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite para o município de Groáiras-CE. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21., 2011, Petrolina. **Anais [...]**. Petrolina: ABID, p. 1-6, 2011.
- MORAES, R. A.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Determination of total accumulated rainfall, global radiation, evapotranspiration and degree-days originated from the ECMWF model to sugar cane crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal – SP, v. 34, n. 2, p. 322-331, 2014. DOI: 10.1590/S0100-69162014000200013
- MORAES, R. A.; ROCHA, J. V.; ROLIM, G. S.; LAMPARELLI, R. A. C.; MARTINS, M. M. Avaliação dos dados decendiais de precipitação e temperatura máxima e mínima do ar simulados pelo modelo ECMWF para o Estado de São Paulo. **Irriga**, Botucatu - SP, v. 17, n. 3, p. 397-407, 2012. DOI: 10.15809/irriga.2012v17n3p397

- NEVES, G. L.; VIRGENS FILHO, J. S.; LEITE, M. L.; MAUADF. F. Disponibilidade hídrica do solo, em Ponta Grossa-PR, sob diferentes cenários de mudanças climáticas globais. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba - PR Ano 14, v. 23, p. 116-133, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v23i0.56722
- PALOMINO-ANGEL, S.; ANAYA-ACEVEDO, J. A.; BOTERO, B. A. Evaluation of 3B42V7 and IMERG daily-precipitation products for a very high-precipitation region in northwestern South America. *Atmospheric Research*, v. 217, p. 37–48, 2019. DOI: 10.1016/j.atmosres.2018.10.012
- PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba – PR, n. 18, p. 83-89, 2017.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Meteorologia Agrícola. Edição **Revista e Ampliada**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, p. 125, 2007.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: **Revista Agropecuária**, Viçosa – MG, p. 478, 2002.
- RAHIMI, J.; EBRAHIMPOUR, M.; KHALILI, A. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. **Theor Appl Climatol**, v. 112, p. 409-418, 2013. DOI: 10.1007/s00704-012-0741-8
- RAMOS, H. C.; DALLACORT, R.; NEVES, S. M. A. S.; DALCHIAVON, F. C.; SANTI, A.; VIEIRA, F. F. Precipitação e temperatura do ar para o estado de Mato Grosso utilizando krigagem ordinária. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba - PR, Ano 13, v. 20, p. 211-233, 2017. DOI: 10.5380/abclima.v20i0.43762
- RIBEIRO, A. B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de.; DA SILVA, E. M.; SIMEÃO, M.; BASTOS, E. A. Comparação entre dados meteorológicos obtidos por estações convencionais e automáticas no estado do Piauí, Brasil. **Irriga Botucatu**, v. 22, n. 2, p. 220-235, abril-junho, 2017. DOI: 10.15809/irriga.2017v22n1p220-235

- ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 257-533, 2007.
- SAHLU, D.; MOGES, S. A.; NIKOLOPOULOS, E. I.; ANAGNOSTOU, E. N.; HAILU, D. Evaluation of high-resolution multisatellite and reanalysis rainfall products over East Africa **Adv. Meteorol.** p. 01-15, 2017. DOI: 10.1155/2017/4957960
- SALTON, F. G.; MORAIS, H.; CARAMORI, H.; BORROZZINO, E. Climatologia dos episódios de precipitação em três localidades no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos - SP, v. 31, n. 4, 626-638, 2016. DOI: 10.1590/0102-7786312314b20150108
- SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço Hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 3, p. 142–149, 2010. DOI: 10.7127/RBAI.V4N30001
- SCHARDONG, A.; SIMONOVIC, S. P.; GARCIA, J. I. B. O possível efeito de mudanças climáticas e suas incertezas sobre aflúências em sistemas de recursos hídricos. **REGA**, v. 11, n. 2, p. 53-65, 2014. DOI:10.21168/rega.v11n2.p53-65
- SCHNEIDER, U.; ANDREAS, B.; PETER, F.; ANJA, M.-C.; BRUNO, R.; MARKUS, Z. GPCC Full Data Reanalysis Version 6.0 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation From Rain-Gauges Built on GTS-Based and Historic Data. **Silver Spring**, MA: NOAA, 2011. DOI: 10.5676/DWDGPCC/FDMV6050
- SEGURA, H.; JUNQUAS, C.; ESPINOZA, J. C.; VUILLE, M.; JAUREGUI, Y.; RABATEL, A.; CONDOM, T.; LEBEL, T. New insights into the rainfall variability in the tropical Andes on seasonal and interannual time scales. **Climate Dynamics**, v. 53, p. 405–426, 2019. DOI: 10.1007/s00382-018-4590-8
- SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 5, p. 635-644, 2010. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.12.001

SILVA, R. O. B. da.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. de. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Eng. Sanit. Ambient**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 579-589, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017142481

SUN, Q.; MIAO, C.; DUAN, Q.; ASHOURI, H.; SOROOSHIAN, S.; HSU, K. L. A review of global precipitation data sets: data sources, estimation, and intercomparisons. **Reviews of Geophysics**, v. 56, p. 79–107, 2018. DOI: 10.1002/2017RG000574

THEPADIA, M.; MARTINEZ, C. J. Regional calibration of solar radiation and reference evapotranspiration estimates with minimal data in Florida. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 138, n. 2, p. 111-119, 2012. DOI: 10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000394

TAGLIAFERRE, C.; JESUS SILVA, R. A.; ROCHA, F. A.; SANTOS, L. C.; SILVA, C. S. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis, BA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology, Laboratory of Climatology**, Centerton, N. J, v. 8 n. 1, 1955.

TRAJKOVIC, S. Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 01, p. 38-42, 2007.

TRIGO, I. F.; BRUIN, H. de; BEYRICH, F.; BOSVELD, F. C.; GAVILÁN, P.; GROH, J.; LÓPEZ-URREA, R. Validation of reference evapotranspiration from Meteosat Second Generation (MSG) observations. **Agricultural and forest meteorology**, v. 259, p. 271-285, 2018. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.05.008.

TURCO, J. E. P. Estimativa da evapotranspiração de referência com precisão. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n.2, p.132-141, Viçosa – MG, 2019. DOI: 10.13083/reveng.v27i2.876

VENANCIO, L. P.; CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; EUGENIO, F. C.; ALEMAN, C. C. Penman-Monteith com dados faltantes e Hargreaves-Samani para estimativa da ETo no estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.23, n.3, 2019. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n3p153-159

VIANNA, L. F. N.; PERIN, E. B.; RICCE, W. S.; MASSIGNAN, A. M.; PANDOLFO, C. Bancos de dados meteorológicos: análise dos metadados das estações meteorológicas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos – SP, v. 32, n. 1, p. 53-64, 2017. DOI:10.1590/0102-778632120150119

ZULKAFI, Z.; BUYTAERT, W.; ONOF, C.; MANZ, B.; TARNAVSKY, E.; LAVADO, W. A comparative performance analysis of TRMM 3B42 (TMPA) versions 6 and 7 for applications over andean–amazon river basins. *Journal of Hydrometeorology*, v. 15, p. 581–592, 2014. DOI: 10.1175/JHM-D-13-094.1

CAPÍTULO II

VALIDAÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO TOTAL OBTIDOS DA REANÁLISE ERA5 LAND

RESUMO: A aplicação de dados climatológicos oriundos de modelos atmosféricos globais como os do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) vem aumentando progressivamente nas últimas décadas, se tornando uma alternativa para o conhecimento e entendimento das mudanças climáticas e ambientais do mundo todo. Entretanto, dados estimados provenientes de reanálise atmosférica global precisam ser validados com base em dados observados de estações meteorológicas de superfície, por meio de índices estatísticos ou programas de georreferenciamento garantindo o bom desempenho dos estudos em âmbito mundial. Assim, o objetivo desta pesquisa foi validar os dados mensais de temperatura do ar e precipitação total estimados pela reanálise ERA5-Land em um período de 31 anos (01/01/1990 a 31/12/2020) no estado de Pernambuco, com base nos dados das 13 estações meteorológicas automáticas (EMA) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados de temperatura do ar e precipitação foram estratificados por mesorregiões do estado (Zona da Mata/Litoral, Agreste e Sertão), e a validação dos dados da reanálise ERA5-Land foi realizada mediante cálculo de índices estatísticos que avaliaram a precisão e exatidão na estimativa do modelo. A reanálise do ERA5-Land obteve precisão superior a 52% para a variável precipitação total e superior a 90% para temperatura do ar na maioria das cidades estudadas. A maior precisão da precipitação total estimada pelo ERA5-Land foi na cidade de Petrolina ($R^2 = 0,74$) e a menor na cidade de Caruaru ($R^2 = 0,43$), da mesma forma que, para temperatura do ar, a maior precisão foi encontrada nas cidades de Ibimirim, Floresta e Palmares ($R^2 = 0,95$) e a menor na cidade de Caruaru ($R^2 = 0,60$). A raiz quadrática média dos erros (RMSE) gerada pela reanálise do ERA5-Land foi inferior a 52,09 mm para precipitação total e inferior a 0,86 °C para temperatura do ar na maior parte do estado de Pernambuco. A maior RMSE para precipitação total foi obtida com os dados da cidade de Recife (122,07 mm), e a menor com os dados da cidade de Ouricuri (30,26 mm). Entretanto, a maior RMSE para a temperatura do ar foi encontrada com os dados da cidade de Salgueiro (1,98 °C), e a menor na cidade de Recife. Os dados de precipitação total gerados pelo ERA5-Land foram subestimados na maioria dos municípios quando comparados com os de superfície por meio do erro sistemático MBE, com destaque para maior subestimativa em Recife (-71,84 mm) e a menor em Petrolina (-0,27 mm). Por outro lado, entre os municípios que o ERA5-Land superestimou a precipitação, a maior superestimativa foi em Caruaru (9,05 mm). Para a temperatura média do ar, os dados estimados pelo ERA5-Land subestimaram os de superfície em quase todos os municípios, com a maior subestimativa observada em Salgueiro (-2,50 °C) e nos municípios que o ERA5-Land superestimou, a maior superestimativa foi observada em Garanhuns (0,68 °C). Portanto, com os resultados obtidos, pode-se assegurar que a reanálise do ERA5-Land estimou bem a precipitação total e a temperatura média do ar para o estado de Pernambuco, necessitando de grandes melhorias na variável precipitação e de pequenas na variável temperatura do ar.

PALAVRAS CHAVES: Sensoriamento remoto; Sertão; Dados orbitais; ECMWF

ABSTRACT: In recent decades, the application of climate data from global atmospheric models such as those of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), NASA POWER, has become an alternative to the knowledge and understanding of climate and environmental change around the world. However, these estimated data from global atmospheric reanalysis need to be validated based on data from surface weather stations by statistical indices or georeferencing programs ensuring the good performance of studies worldwide. Thus, the objective of this research was to validate the monthly data of air temperature and total precipitation estimated by ERA5-Land reanalysis in a period of 31 years (01/01/1990 to 31/12/2020) in the state of Pernambuco, based on data from 13 automatic weather stations (EMA) from National Institute of Meteorology (INMET). The air temperature and precipitation data were stratified by state mesoregions (Zona da Mata/Litoral, Agreste and Sertão), and the validation of the ERA5-Land reanalysis data was performed by calculating statistical indices that evaluated the accuracy and accuracy in the model estimation. The reanalysis of ERA5-Land obtained accuracy greater than 52% for the variable total precipitation and higher than 90% for air temperature in most cities studied. The highest accuracy of total precipitation estimated by ERA5-land was in the city of Petrolina ($R^2 = 0.74$) and the lowest in the city of Caruaru ($R^2 = 0.43$), in the same way that, for air temperature, the highest precision was found in the cities of Ibimirim, Floresta and Palmares ($R^2 = 0.95$) and the lowest in the city of Caruaru ($R^2 = 0.60$). The mean quadratic root of errors (RMSE) generated by ERA5-Land reanalysis was less than 52.09 mm for total precipitation and less than 0.86 °C for air temperature in most of the state of Pernambuco. The highest RMSE for total precipitation was obtained with data from the city of Recife (122.07 mm), and the lowest with data from the city of Ouricuri (30.26 mm). However, the highest RMSE for air temperature was found with data from the city of Salgueiro (1.98 °C), and the lowest in the city of Recife. The total precipitation data generated by ERA5-Land were underestimated in most municipalities when compared with surface data using systematic error MBE with emphasis on higher underestimation in Recife (-71.84 mm) and the lowest in Petrolina (-0.27 mm). On the other hand, among the municipalities that ERA5-Land overestimated precipitation, the highest overestimation was in Caruaru (9.05 mm). For the average air temperature, the data estimated by ERA5-Land underestimated the surface ones in almost all municipalities with the highest underestimation observed in Salgueiro (-1.41 °C) and in the municipalities that ERA5-Land overestimated, the highest overestimation was observed in Garanhuns (0.40 °C). Therefore, with the results obtained, it can be ensured that the reanalysis of ERA5-Land estimated well the total precipitation and the average air temperature for the state of Pernambuco, requiring major improvements in the variable precipitation and small in the variable air temperature.

KEYWORDS: Remote sensing; EMA; Orbital data; ECMWF

INTRODUÇÃO

Órgãos brasileiros de monitoramento climático, como a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), possuem importante banco de dados meteorológicos, os quais são planejados para receber, armazenar, processar e fornecer informações de diversas variáveis meteorológicas (precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação, entre outras). Os dados são coletados em pontos estratégicos, por meio de estações meteorológicas convencionais ou automáticas, ou até mesmo remotamente através de sensores orbitais, aerotransportadores ou ainda por sistemas de radar (Vianna *et al.*, 2017). A grande quantidade de dados meteorológicos existentes é importante no propósito das ciências ambientais, permitindo associar os efeitos das condições atmosféricas nos mais diversos processos físicos e biológicos que resultam em alterações da superfície terrestre (Silva *et al.*, 2019).

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas com uso de banco de dados climáticos no Brasil. Vianna *et al.* (2017) utilizaram dados de estações do INMET, ANA e da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e avaliaram os metadados das estações meteorológicas no estado de Santa Catarina tomando como base as recomendações da Organização Mundial de Meteorologia (OMM), encontrando vários problemas nos processos de codificação. Ribeiro *et al.* (2017) compararam dados meteorológicos de estações convencionais (EMC) e automáticas (EMA) em municípios do estado do Piauí para as variáveis temperatura do ar máxima e mínima e média, umidade relativa do ar, velocidade do vento a 10 metros, precipitação pluviométrica e pressão atmosférica média, através de índices estatísticos. Turco & Carleto (2017) verificaram a influência da integridade dos dados (velocidade do vento, radiação solar, temperatura, umidade do ar e precipitação pluviométrica) sobre os parâmetros hidrológicos de saída da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, SP, usando o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Santos *et al.* (2017) utilizando estações climáticas do INMET e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), analisaram a relação entre as variáveis: uso e ocupação do solo, a variação de chuva, temperatura máxima e umidade relativa do ar no sudoeste Piauiense no período de 1984-2015 sendo auxiliados por imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8.

No Brasil, cresce o uso das estações meteorológicas automáticas, sendo mais utilizadas por universidades, setores agrícolas e por alguns institutos de pesquisa (Turco; Carleto, 2017).

O INMET possui hoje cerca de 786 estações meteorológicas entre automáticas e convencionais, desse quantitativo a região nordeste possui um total de 219 estações, sendo 146 automáticas e 73 convencionais. O estado de Pernambuco soma um total de 13 estações automáticas e sete estações convencionais distribuídas em todo seu território, fornecendo dados climatológicos 24 horas por dia (INMET, 2021). As estações meteorológicas automáticas (EMA) fornecem dados de maneira mais prática e funcional do que as convencionais que necessitam de um operador para a coleta dos dados (Turco; Carleto, 2017). Entretanto, as estações meteorológicas podem apresentar alguns problemas na entrega dos dados, como erros nas leituras gerados por falhas nos equipamentos nas estações automáticas, e erros de leitura humana no caso das estações convencionais, podendo mascarar os dados, ocasionando uma série de dados não confiável (Bier; Ferraz, 2017). Devido às falhas operacionais constantes, bem como a diminuição e inexistência de estações em algumas localidades, a formação de conjuntos de dados interpolados em grade de precipitação, temperatura e muitas outras variáveis são cada vez mais comuns. Estes conjuntos permitem que informações de locais com boa cobertura de rede, sejam estendidas a áreas com poucas informações (Essou; Arsenault; Brissette, 2016; Newman *et al.*, 2015).

A reanálise é a retrospectiva de dados históricos que usa parte de um modelo de previsão do tempo, onde os dados forçam a aproximação dos valores verdadeiros da atmosfera (Tarek Brissette; Arsenault, 2020), podendo sofrer interferências do clima e da topografia local devido à sua resolução espacial (Chen *et al.*, 2020). Portanto, a reanálise está entre os conjuntos de dados interpolados mais utilizados em estudos ambientais em diferentes escalas e modelos para as mais diversas finalidades (Castro *et al.*, 2019). A reanálise ERA5-Land foi produzida por meio do componente terrestre da reanálise do ERA 5 cobrindo a mesma área desde janeiro de 1950 até os dias atuais (Chen *et al.*, 2020). Essa reanálise utiliza o modelo *Tiled European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) para trocas de superfície sobre a terra com hidrologia da superfície da terra revisada (*Scheme for Surface Exchanges over Land with a revised land surface hydrology*; HTESSSEL) (Hersbach *et al.*, 2020).

Entretanto, os dados meteorológicos provenientes da reanálise atmosférica global (dados estimados), precisam ser validados com base nos dados de estações meteorológicas na superfície terrestre, a fim de avaliar a precisão e exatidão desses dados. A validação pode ser feita utilizando índices estatísticos ou programas de georreferenciamento que promovam a confiabilidade dos dados serem utilizados de maneira segura, garantindo o bom desempenho de estudos e pesquisas em âmbito mundial. Dessa forma, esses dados de reanálise se destacam

em relação aos dados de estações superficiais, uma vez que garante altas resoluções espaciais e temporais (Sahlu *et al.*, 2017), sendo portanto, uma alternativa para medições de variáveis meteorológicas em localidades que tenha escassez de estações, bem como para complementar séries de dados históricos incompletos. Entretanto, a resolução espacial e as características do local como clima, topografia podem ser um obstáculo, interferindo no desempenho desse conjunto de dados, sendo considerado ponto negativo para a reanálise (Chen *et al.*, 2020).

Dentre as variáveis meteorológicas que compõem o ciclo hidrológico, a precipitação pluviométrica é uma das mais importantes pois, a caracterização pluviométrica de um determinado local, auxilia no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos existentes (Menezes; Fernandes, 2016). A precipitação exerce maior influência nos processos ecossistêmicos (Coan; Back; Bonetti, 2014) com ênfase no planejamento eficiente em vários setores da sociedade (Costa *et al.*, 2015), como no planejamento agrícola, ambiental e urbano, na agricultura e planejamento de bacias hidrográficas. A precipitação pluviométrica refere-se ao fenômeno natural, no qual a água, oriunda da condensação do vapor d'água da atmosfera, se deposita na superfície terrestre na forma de chuva formando o começo do ciclo hidrológico, resultando no escoamento superficial, infiltração de água no solo e recarga dos aquíferos (Oliveira Júnior *et al.*, 2019).

A temperatura do ar também é considerada uma importante variável, sendo bastante utilizada em uma gama de estudos ambientais, tais como a previsão do tempo, a estimativa da evapotranspiração, a predição de rendimento de culturas e investigações de mudanças climáticas (Janatian *et al.*, 2016). Entre vários fatores climáticos, a temperatura exerce uma maior influência direta e significativa sobre os processos fisiológicos dos seres vivos sendo, portanto, outra variável de destaque no ecossistema. Além disso, essa variável também influencia outras atividades econômicas desenvolvidas pela sociedade em seus múltiplos aspectos (Capuchinho *et al.*, 2019). Dentre esses aspectos, destacam-se as atividades agrícolas que tem o clima como um condicionante, pois o desenvolvimento das culturas é compatibilizado com o tipo climático que varia no tempo e no espaço (Ely; Dubreuil, 2017).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi validar os dados mensais de temperatura do ar e precipitação total estimados pela reanálise ERA5-Land em um período de 31 anos (01/01/1990 a 31/12/2020) no estado de Pernambuco, tendo como base os dados das estações meteorológicas automáticas do INMET.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no estado de Pernambuco, que fica localizado no nordeste do Brasil, abrangendo uma área de aproximadamente 98.146 km² (Figura 1A) e possuindo três diferentes classes climáticas, seguindo a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2014). Os dados horários de temperatura do ar (°C) e de precipitação total (mm) foram obtidos em 13 estações meteorológicas automáticas, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas em 13 municípios (Arcoverde, Cabrobó, Caruaru, Floresta, Garanhuns, Ibimirim, Ouricuri, Petrolina, Serra Talhada, Palmares, Recife, Surubim e Salgueiro) do estado de Pernambuco (Figura 1B). Neste trabalho, optou-se por utilizar somente as estações meteorológicas automáticas de superfície disponibilizadas pelo INMET por apresentarem séries temporais mais homogêneas e confiáveis que as estações convencionais. As séries temporais que apresentaram falhas não foram utilizadas nesse estudo.

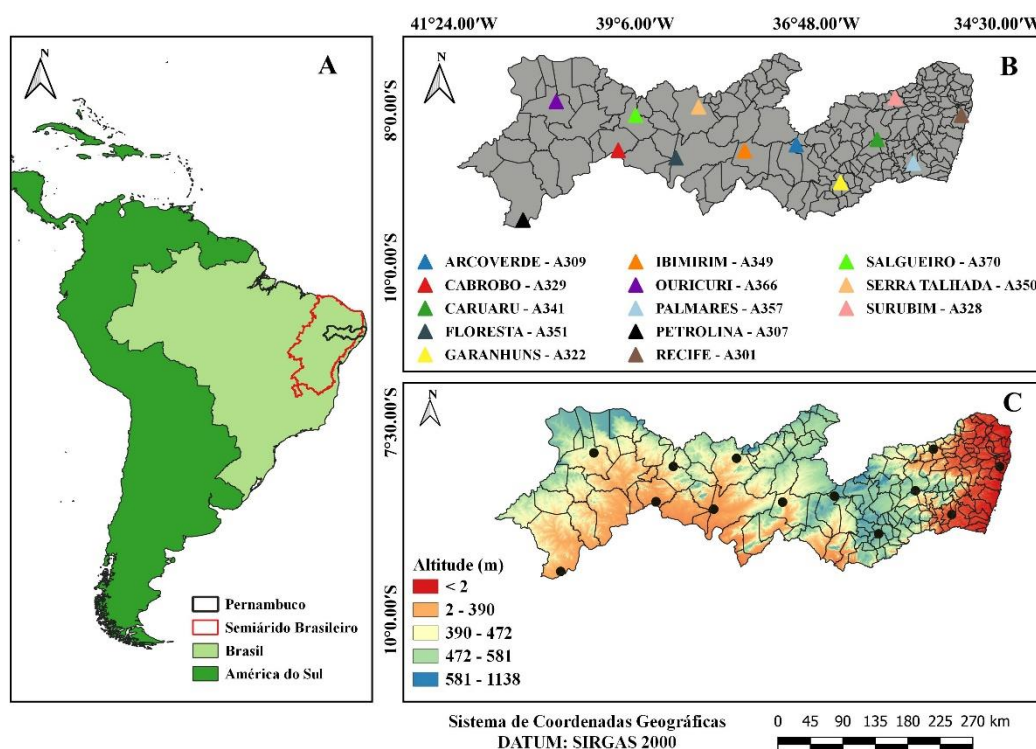


Figura 1. Localização do estado de Pernambuco no nordeste do Brasil (A); Distribuição espacial das estações meteorológicas automáticas de superfície pertencentes à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no estado de Pernambuco, identificadas pela cidade e respectivo código da Organização Meteorológica Mundial – OMM (B); Elevação (Weber *et al.*, 2004) das estações em metros (m) (C).

O segundo banco de dados utilizado nesta pesquisa foi obtido do ERA5-Land (reanálise atmosférica global produzida pelo *European Center for Medium-Range Weather Forecast - ECMWF*) oriundos dos mesmos locais e com a mesma frequência de aquisição dos dados de superfície. O período adotado foi de 31 anos, de 01/01/1990 a 31/12/2020. Os dados da reanálise atmosférica ERA5-Land foram obtidos da plataforma da *Copernicus* no formato “.netCDF” através do software *Python Spyder* (anaconda3) versão 2020.11.0.0 dentro do domínio de -7°S a -10°S de latitude e de -34°W a -42°W de longitude (área que abrange o estado de Pernambuco), em escala mensal com resolução espacial de 0,10° ou 9 km de resolução horizontal (Figura 1C). Os dados de precipitação total e temperatura do ar diários de reanálise foram extraídos do formato “.netCDF” para “.txt” e de “.txt” para planilha do Excel utilizando programação no software RStudio versão 1.4.1106. As unidades foram convertidas de Kelvin (°K) para Celsius (°C) para a variável temperatura do ar, e de metro (m) para milímetro (mm) para variável precipitação total, para uniformizar as unidades com os dados de superfície. As informações geográficas da localização das estações e do período de dados apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características geográficas dos locais onde as estações meteorológicas automáticas estão inseridas.

Código da Estação ¹	Cidade	Altitude (m)	Mesorregião	Classificação Climática ²	Latitude (S) °	Longitude (W) °	Período de dados ³	
							Precipitação	Temperatura
A307	Petrolina	372,5	Sertão	BSh	-9,39°	-40,52°	2003 - 2020	2003 - 2020
A309	Arcoverde	683,9	Sertão	Aw	-8,43°	-37,05°	2005 - 2020	2004 - 2020
A329	Cabrobó	342,8	Sertão	BSh	-8,50°	-39,31°	2007 - 2020	2007 - 2020
A370	Salgueiro	447,0	Sertão	BSh	-8,05°	-39,09°	2017 - 2020	2017 - 2020
A349	Ibimirim	434,2	Sertão	Aw	-8,51°	-37,71°	2008 - 2020	2008 - 2020
A350	Serra Talhada	499,0	Sertão	BSh	-7,95°	-38,29°	2008 - 2020	2008 - 2020
A351	Floresta	327,4	Sertão	BSh	-8,60°	-38,60°	2008 - 2020	2008 - 2020
A366	Ouricuri	462,0	Sertão	BSh	-7,88°	-40,10°	2010 - 2019	2010 - 2020
A322	Garanhuns	827,8	Agreste	Aw	-8,91°	-36,49°	2007 - 2020	2007 - 2020
A328	Surubim	421,4	Agreste	Aw	-7,84°	-35,80°	2008 - 2020	2008 - 2020
A341	Caruaru	852,0	Agreste	Aw	-8,36°	-36,03°	2007 - 2020	2007 - 2020
A301	Recife	11,3	Zona da Mata/Litoral	Am	-8,06°	-34,96°	2005 - 2020	2004 - 2020
A357	Palmares	164,0	Zona da Mata/Litoral	Aw	-8,67°	-35,57°	2008 - 2020	2008 - 2020

¹Organização Meteorológica Mundial (OMM); ²Alvares *et al.* (2014); Am Tropical de monção; Aw: Tropical de Savana; BSh: Seco, Semiárido, quente. ³Os diferentes períodos de análise em cada cidade devem-se ao período de implantação da EMA e/ou ocorrência de dados faltantes.

De posse dos dados horários, foi calculada a média mensal da temperatura do ar e o somatório mensal da precipitação total para cada mês do ano. A coleta dos dados horários de superfície foi realizada pelo INMET tendo início à 00:00 UTC em um dia, indo até às 23:00 UTC do mesmo dia, totalizando um período de 24 horas diárias, logo, todos os dados utilizados nesse trabalho foram ajustados para esse seguimento.

O desempenho da reanálise do ERA5-Land na estimativa dos dados de temperatura do ar e precipitação total foi avaliado utilizando índices estatísticos de precisão e exatidão, onde, os dados das estações meteorológicas automáticas foram adotados como padrão. Portanto, foram calculados o coeficiente de determinação ajustado ($R_{ajustado}^2$) (Equação 1), que indica o grau de precisão dos dados variando de 0 a 1, o coeficiente de Pearson (r) (Equação 2), que mostra a intensidade da relação linear entre as duas variáveis estudadas, podendo variar de -1 a +1, o índice de concordância de Willmott (d) (Equação 3), que expressa a exatidão das estimativas em relação aos valores observados, variando de zero (0) - nenhuma concordância, a 1 - perfeita concordância (exatidão), o índice de desempenho de Camargo e Sentelhas (c) (Equação 4), que por meio dos índices de precisão (coeficiente de correlação de Pearson) e exatidão (índice de concordância de Willmott) avalia o desempenho do modelo utilizado, a raiz quadrática do erro médio (RMSE) (Equação 5), que é uma medida de exatidão que quantifica a amplitude média dos erros estimados, o erro sistemático bias (MBE) (Equação 6), que representa a média dos erros individualizados, e é geralmente utilizado para saber se há subestimativa ou superestimativa média dos valores estimados, e o erro médio absoluto (MAE) (Equação 7), que apresenta uma estimativa robusta para indicar a habilidade dos dados estimados em reproduzir os valores observados. As análises estatísticas foram feitas utilizando o software R (R CoreTeam, 2020) que utiliza programação de dados para manipular e analisar dados estatísticos. As classificações para o coeficiente de correlação de Pearson e do coeficiente de desempenho de Camargo e Sentelhas são mostradas na Tabela 2.

$$R_{ajustado}^2 = \left[1 - \frac{(1-R^2)(N-1)}{N-K-1} \right] \quad (\text{Eq.1})$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{obsi} - \bar{Y}_{obsi})(Y_{esti} - \bar{Y}_{esti})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_{obsi} - \bar{Y}_{obsi})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_{esti} - \bar{Y}_{esti})^2}} \quad (\text{Eq.2})$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{esti} - Y_{obsi})^2}{\sum_{i=1}^N (|Y_{esti} - \bar{Y}_{obsi}| + |Y_{obsi} - \bar{Y}_{esti}|)^2} \quad (\text{Eq.3})$$

$$c = r * d \quad (\text{Eq.4})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{obsi} - Y_{esti})^2}{N}} \quad (\text{Eq.5})$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{esti} - Y_{obsi}) \quad (\text{Eq.6})$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |Y_{esti} - Y_{obsi}|}{N} \quad (\text{Eq.7})$$

em que, Y_{esti} é o valor estimado (reanálise); Y_{obsi} é o valor observado (estação); $\bar{Y}_{obsi}$ é a média dos valores observados; $\bar{Y}_{esti}$ é a média dos valores estimados; N é o número de observações ($i = 1, 2, \dots, n$); K é o número de variáveis independentes na regressão.

Tabela 2. Classificações do coeficiente de correlação de Pearson (r) e do coeficiente de desempenho de Camargo e Sentelhas (c) (1997).

r	Classificação ¹	c	Classificação ²
$r = 0$	Nula	$> 0,85$	Ótimo
$0 < r \leq 0,3 $	Fraca	0,76 A 0,85	Muito Bom
$ 0,3 < r \leq 0,6 $	Moderada	0,66 A 0,75	Bom
$ 0,6 < r \leq 0,9 $	Forte	0,61 A 0,65	Mediano
$ 0,9 < r < 1 $	Muito Forte	0,51 A 0,60	Sofrível
$r = 1$	Perfeita	0,41 A 0,50	Mau
		$\leq 0,40$	Péssimo

¹Adaptado de Callegari-Jacques (2009); ²Camargo; Sentelhas (1997)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 mostra os erros médios de precipitação total (mm) calculados pela diferença dos dados de precipitação total estimados pelo ERA5-Land e dos dados observados nas estações meteorológicas automáticas de superfície. Os valores médios de precipitação total mensal estimados pelo ERA5-Land, subestimaram os valores reais na maioria das estações da mesorregião do Sertão (Figura 2A), e em todas da mesorregião da Zona da Mata/Litoral. Por outro lado, o Agreste houve uma divisão dos dados em Garanhuns e Surubim, onde subestimou nos meses de abril a setembro e superestimou de outubro a março. A maior superestimativa originada pelo ERA5-Land no estado foi na mesorregião do Sertão, no município de Salgueiro (46 mm), no mês de janeiro (Figura 2A), e a maior subestimativa foi encontrada na mesorregião da Zona da Mata/Litoral, no município de Recife (-208 mm), no mês de junho (Figura 2B). A maior subestimativa do ERA5-Land na mesorregião do Sertão (Figura 2A) foi de -56 mm, no mês de julho, no município de Arcoverde. Na mesorregião do Agreste (Figura 2B), a maior super e subestimativa foi de 25 mm e -50 mm, nos meses de fevereiro e junho respectivamente,

no município de Garanhuns. Na mesorregião da Zona da Mata/Litoral (Figura 2B), os dados do ERA5-Land subestimaram a precipitação total em -208 mm e -94 mm, nas cidades de Recife e Palmares, nos meses de junho e maio respectivamente.

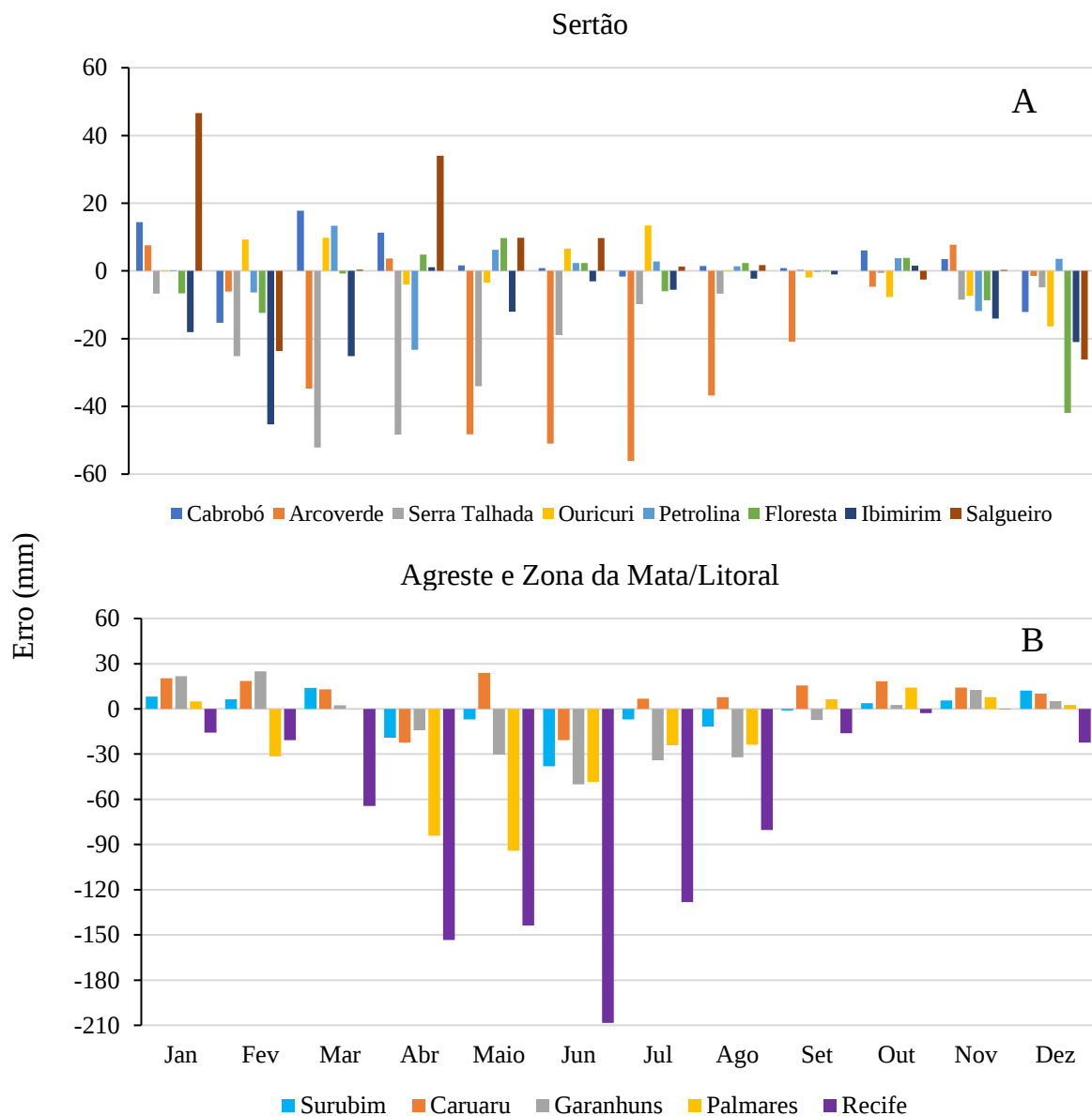


Figura 2. Erros médios de precipitação total (mm) estimados pelo ERA5-Land subdivididos por mesorregiões climáticas de Pernambuco: (A) Sertão, (B) Agreste e Zona da Mata/Litoral.

Os dados de precipitação total médios simulados pelo ERA5-Land não obteve sucesso para todo o estado de Pernambuco, obtendo valores diferentes aos observados nas EMAS (Tabela 3). O ERA5-Land obteve precisão inferior a 68% para quase todo o estado, exceto para as cidades de Petrolina ($R^2 = 0,74$) e Salgueiro ($R^2 = 0,73$) localizadas na mesorregião do Sertão

(Tabela 3). Porém, a menor precisão estimada pelo ERA5-Land foi no município de Caruaru ($R^2 = 0,43$) na mesorregião do Agreste.

Tabela 3. Índices estatísticos de desempenho da reanálise do ERA5-Land na estimativa dos dados de precipitação total (mm) em comparação com os dados aferidos por estações meteorológicas automáticas de superfície no estado de Pernambuco.

Cidade	$R^2_{ajustado}$	r	Classificação ¹	d	c	Classificação ²	RMSE	MBE	MAE
							mm		
Petrolina	0,74	0,86	Forte	0,999	0,86	Ótimo	32,52	-0,27	18,93
Arcoverde	0,44	0,67	Forte	0,9978	0,66	Bom	52,09	-21,60	34,25
Cabrobó	0,65	0,80	Forte	0,9987	0,80	Muito Bom	32,73	1,91	19,27
Salgueiro	0,73	0,86	Forte	0,9956	0,86	Ótimo	35,24	3,54	21,27
Ibimirim	0,55	0,74	Forte	0,9979	0,74	Bom	35,23	-12,66	21,56
Serra Talhada	0,68	0,83	Forte	0,9983	0,82	Muito Bom	44,51	-19,1	27,61
Floresta	0,52	0,72	Forte	0,9979	0,72	Bom	33,24	-5,07	19,19
Ouricuri	0,44	0,67	Forte	0,9973	0,67	Bom	30,26	0,32	21,53
Garanhuns	0,57	0,76	Forte	0,998	0,76	Muito Bom	42,75	-8,38	30,90
Surubim	0,54	0,73	Forte	0,9975	0,73	Bom	34,46	-3,11	23,68
Caruaru	0,43	0,66	Forte	0,9972	0,66	Bom	38,90	9,05	28,84
Recife	0,66	0,82	Forte	0,998	0,81	Muito Bom	122,07	-71,84	83,20
Palmares	0,49	0,70	Forte	0,996	0,70	Bom	82,54	-20,13	53,31

$R^2_{ajustado}$: Coeficiente de determinação; r: Coeficiente de correlação de Pearson; ¹Classificação Callegari-Jacques (2009); d: Índice de concordância de Willmott (1981); c: Índice de desempenho de Camargo; Sentelhas (1997); ²Classificação de Camargo; Sentelhas (1997); RMSE: Raiz quadrática média dos erros (mm); MBE: Erro sistemático Bias; MAE: Erro médio absoluto.

Os valores encontrados para o coeficiente de correlação de Pearson mostraram que o ERA5-Land obteve precisão acima de 70% para quase todo o estado (Tabela 3), sendo classificados como forte (Callegari-Jacques, 2009) (Tabela 2). As maiores correlações tiveram valores acima de 80%, sendo observadas nos municípios de Petrolina ($r = 0,86$), Salgueiro ($r = 0,86$), Serra Talhada ($r = 0,83$) e Cabrobó ($r = 0,80$) localizados na mesorregião do Sertão, e Recife ($r = 0,82$) na mesorregião da Zona da Mata/Litoral. Entretanto, o município de Caruaru ($r = 0,66$) obteve a menor correlação, repetindo o resultado obtido para o coeficiente de determinação R^2 .

Aparecido *et al.* (2019) em estudo realizado no estado do Paraná com dados de reanálise do ERA-Interim no período de 1989 a 2014, identificaram diferenças entre os dados estimados

do ERA-Interim e observados do INMET para a variável precipitação total, onde o ERA-Interim subestimou os dados nas macrorregiões noroeste e norte, evidenciando baixa precisão, com R^2 variando de 0,17 a 0,57, o que também foi observado nesse estudo em termos de baixo R^2 para o Sertão, Agreste e Zona da Mata/Litoral utilizando o modelo ERA5-Land. Ainda segundo os autores acima, o ERA-Interim não acompanhou a tendência espacial dos dados de precipitação, subestimando sempre que havia valores acima de 530 mm, comprovando que o ERA-Interim apresenta dificuldades de previsão sempre que houver elevados valores. Moraes *et al.* (2012) ao avaliar os dados decendiais de precipitação simulados pelo modelo ECMWF para o estado de São Paulo, observaram que em grande parte do estado valores médios de precisão (R^2) entre 0,5 e 0,7. Feitosa & Oliveira (2020) realizaram um estudo comparativo entre os dados de precipitação dos postos pluviométricos e os dados estimados do satélite TRMM para o estado do Ceará, e obtiveram valores da correlação de Pearson (r) próximos a este estudo, variando de 0,89 a 0,96, indicando resultado satisfatório.

O índice de concordância de Willmott (d) (Tabela 3) apresentou valores acima de 0,9960, mostrando boa concordância e boa aproximação dos dados do ERA5-Land com a linha 1:1 (Figura 3). O índice de desempenho (c) mostrou valores acima de 0,70 para quase todo o estado, com valor mínimo ($c = 0,66$ /Arcoverde e Caruaru) e máximo ($c = 0,86$ /Petrolina e Salgueiro) sendo classificados como bom e ótimo respectivamente (Tabela 2). Valeriano *et al.* (2019) avaliando a temperatura do ar e precipitação a partir de dados gradeados do ECMWF e NASA para o Sudeste do Brasil, encontraram concordância (d) acima de 0,7 para os dados da NASA e acima de 0,75 para os dados do ECMWF em todas as estações (primavera, verão outono e inverno). Os autores acima relataram a dificuldade de estimar dados de precipitação por causa da sua alta variabilidade espacial. Santos *et al.* (2019) validaram os dados estimados pelo satélite *Global Precipitation Measurement* (GPM) para a região sul da Amazônia de maneira satisfatória, obtendo valores para o índice (d) entre 0,86 e 0,97.

Os valores de RMSE encontrados para a variável precipitação total mensal acumulada da reanálise ERA5-Land se mantiveram abaixo de 52 mm na maioria do estado (Tabela 3), com valor mínimo de 30 mm no município de Ouricuri na mesorregião do Sertão. Os maiores erros de RMSE foram observados em Arcoverde (RMSE = 52 mm) na mesorregião do Sertão, e em Palmares (RMSE = 83 mm) e Recife (RMSE = 122 mm) na mesorregião da Zona da Mata/Litoral. O erro sistemático Bias (MBE) apontou que a reanálise do ERA5-Land gerou dados de precipitação total subestimados em relação aos dados das estações automáticas de superfície para quase todas as estações, exceto para as estações de Cabrobó, Salgueiro, Ouricuri

e Caruaru que superestimaram os dados de superfície (Tabela 3). A veracidade dos resultados encontrados para o erro Bias podem ser confirmados analisando os gráficos da linha 1:1 (Figura 3).

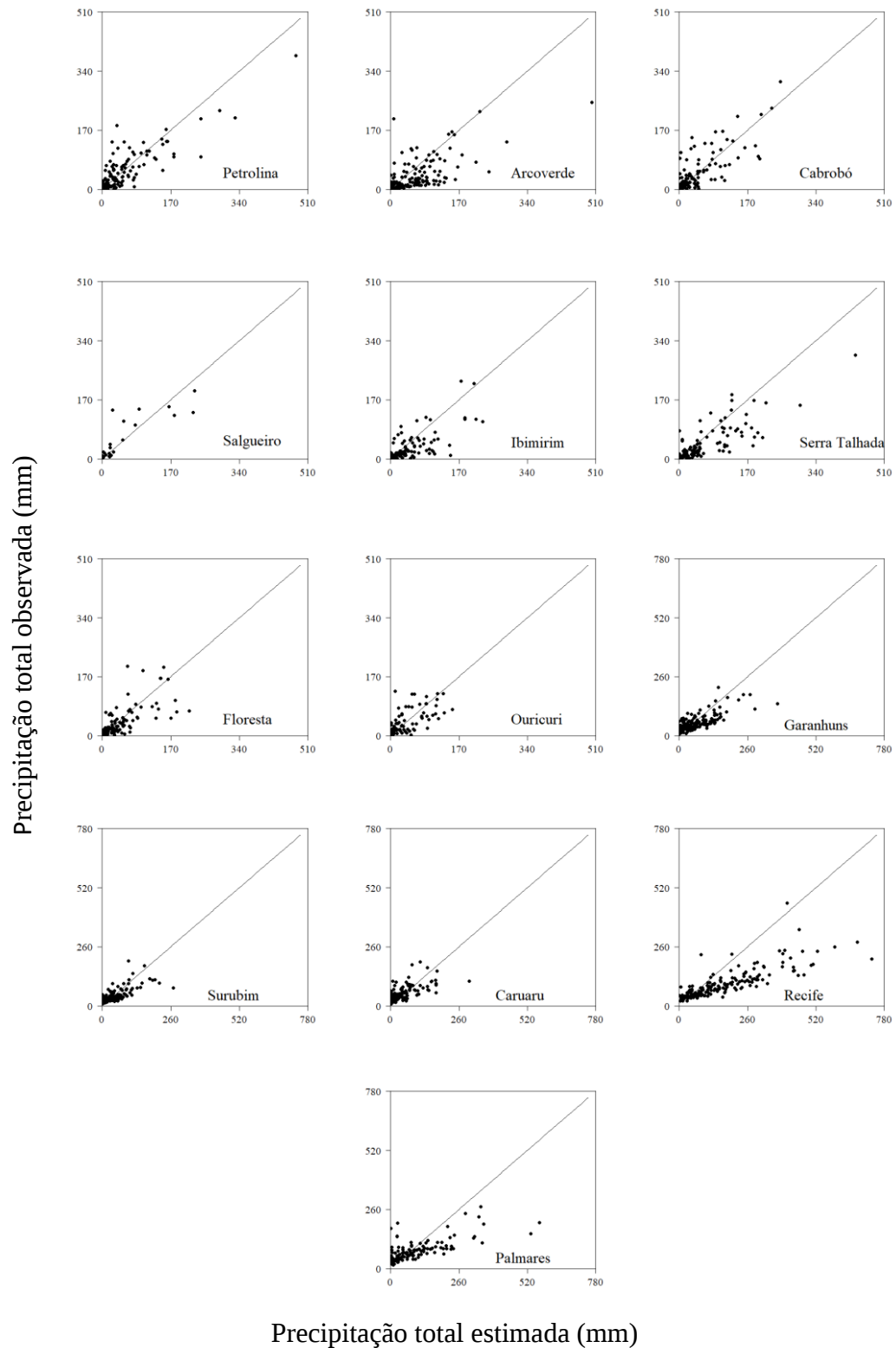


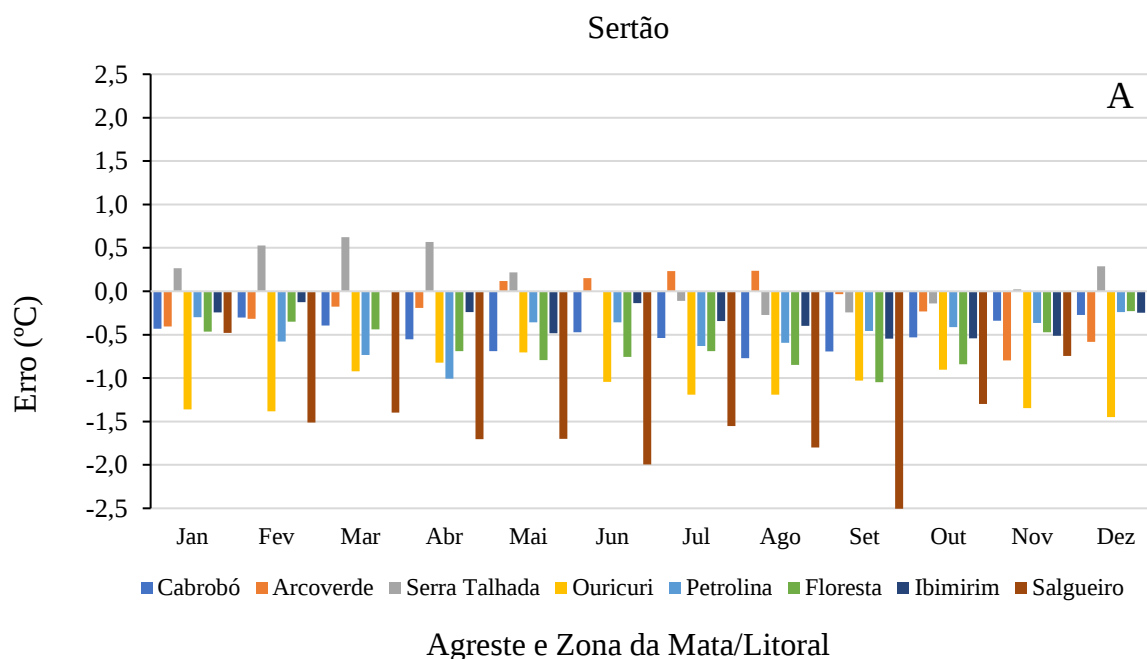
Figura 3 Médias mensais da precipitação total aferida por estações meteorológicas automáticas de superfície (observada) e a estimada pelo ERA5-Land em municípios do estado de Pernambuco, no período de 1990 a 2020.

No geral, o ERA5-Land subestimou os valores de precipitação total em nove estações do total de 13 utilizadas, equivalendo a 69 % das estações. A maior subestimativa sucedeu em Recife (MBE = -72 mm) na mesorregião da Zona da Mata/Litoral, enquanto a maior superestimativa do ERA5-Land foi observada em Caruaru (MBE = 9 mm). O erro médio absoluto (MAE) gerado pelo ERA5-Land para variável precipitação total ficou abaixo de 34 mm na grande maioria do estado (Tabela 3), com valor mínimo de 19 mm para o município de Petrolina, mesorregião do Sertão. Os maiores erros gerados pelo ERA5-Land foram observados novamente nos municípios de Recife (MAE = 83 mm) e Palmares (MAE = 53) localizados na mesorregião da Zona da Mata/Litoral.

Os maiores valores de RMSE, Bias e MAE foi observado no município de Recife (Tabela 3). Esse fato pode ser explicado pela alta densidade de dados utilizados no cálculo, sendo maior que as outras estações gerando maiores erros devido à baixa precisão do ERA5-land em estimar dados de precipitação. Santos *et al.* (2019) validaram os dados estimados pelo satélite *Global Precipitation Measurement* (GPM) para a região sul da Amazônia, encontrando valores de MAE e RMSE que variaram de (36 mm a 72 mm), e (14 mm a 72 mm) respectivamente, se aproximando dos valores encontrados nesse estudo. Valeriano *et al.* (2019) avaliando a temperatura do ar e precipitação a partir de dados gradeados do ECMWF e NASA para o Sudeste do Brasil, encontraram valores de RMSE mínimo e máximo de 8 mm e 45 mm para o modelo ECMWF, e 7 mm e 45 mm para o modelo da NASA, diferindo muito pouco. Os valores de RMSE encontrados nessa pesquisa estão entre os valores encontrados por Valeriano *et al.* (2019) em 76 % das estações para os dois modelos. Aparecido *et al.* (2019) analisando a acurácia da reanálise do ERA-Interim do conjunto ECMWF no estado do Paraná no período de 1989 a 2014, encontraram valores de RMSE de 78 mm (Verão), 57 mm (Primavera), 67 mm (Outono) e 81 mm (Inverno) e MAE de 71 mm (Verão), 49 mm (Primavera), 52 mm (Outono), 74 mm (Inverno) para todo o estado do Paraná, evidenciando que esse modelo, sendo uma versão anterior à desse estudo, também possui dificuldades em estimar dados de precipitação. Pereira *et al.* (2013) avaliaram os dados de precipitação total estimados pelo satélite TRMM para o Brasil, e relataram que os dados do satélite superestimaram os dados observados para o Nordeste brasileiro em 9%. Por outro lado, para o erro absoluto, encontraram valores de até 53

mm para as regiões Centro-Oeste e Norte corroborando com esse estudo que verificou valores abaixo de 53 mm de erro em 92 % das estações.

Na figura 4 mostra-se o erro encontrado através da diferença entre a temperatura do ar estimada pela reanálise do ERA5-Land e a temperatura do ar observada pelas estações meteorológicas automáticas de superfície. Os valores médios encontrados para a temperatura do ar mensal, estimados pelo ERA5-Land, subestimaram os valores reais na maioria das cidades, sendo seis estações no Sertão e três no Agreste e Zona da Mata/Litoral. A maior superestimativa produzida pela reanálise ERA5-Land no estado de Pernambuco foi na mesorregião do Agreste, no município de Garanhuns (0,68 °C), no mês de agosto (Figura 4B), e a maior subestimativa foi na mesorregião do Sertão, no município de Salgueiro (-2,50 °C), no mês de setembro (Figura 4A). Na mesorregião do Sertão (Figura 4A), a maior superestimativa do ERA5-Land foi de 0,62 °C, no mês de março, no município de Serra Talhada. Na mesorregião do Agreste (Figura 4B), a maior subestimativa foi de -0,94 °C, no mês de março, no município de Surubim. Entretanto, na mesorregião da Zona da Mata/Litoral (Figura 4B), os dados do ERA5-Land subestimaram a temperatura do ar mensal em -0,59 °C e -0,87 °C, nas cidades de Recife e Palmares, nos meses de novembro e outubro respectivamente.



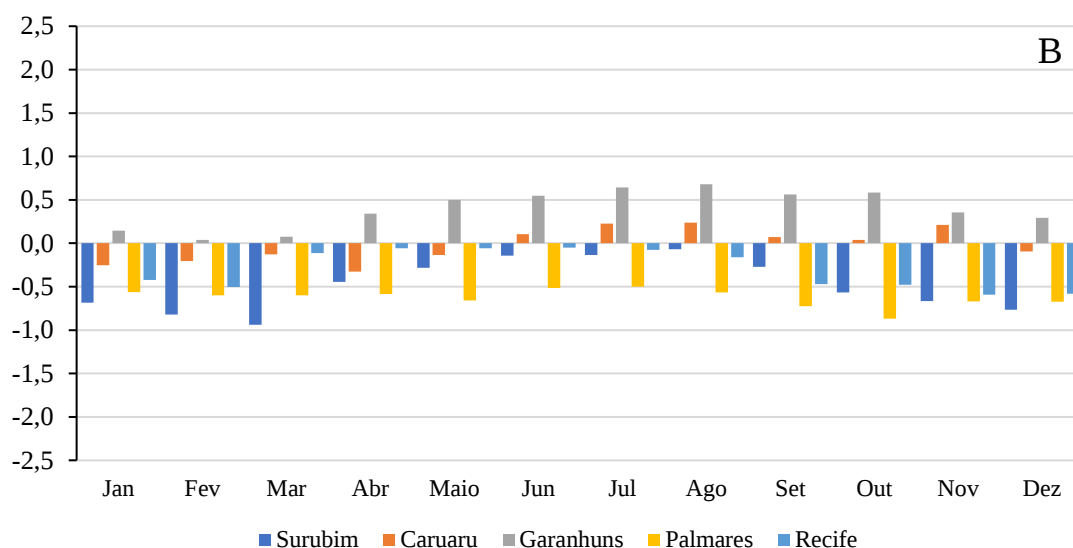


Figura 4. Erros médios da temperatura mensal (°C) estimada pelo ERA5-Land subdivididos por mesorregiões climáticas de Pernambuco: (A) Sertão, (B) Agreste e Zona da Mata/Litoral.

De um modo geral, os dados de temperatura do ar média foram simulados com sucesso pelo ERA5-Land em todo o estado de Pernambuco, obtendo valores semelhantes aos observados nas estações meteorológicas automáticas de superfície (Tabela 4). A estimativa do ERA5-Land resultou numa precisão superior a 81% para quase todo o estado de Pernambuco, destacando as cidades de Ibimirim e Floresta ($R^2 = 0,95$) na mesorregião do Sertão e Palmares ($R^2 = 0,95$) na mesorregião da Zona da Mata/Litoral (Tabela 4). Entretanto, a menor precisão do ERA5-Land foi encontrada em Salgueiro ($R^2 = 0,50$) na mesorregião do Sertão.

Tabela 4. Índices estatísticos de desempenho da reanálise do ERA5-Land na estimativa dos dados de temperatura do ar em comparação com os dados aferidos por estações meteorológicas automáticas de superfície no estado de Pernambuco.

Cidade	$R^2_{ajustado}$	r	Classificação ¹	d	c	Classificação ²	RMSE	MBE	MAE
Petrolina	0,87	0,93	Muito Forte	0,9996	0,93	Ótimo	0,82	-0,50	0,54
Arcoverde	0,91	0,95	Muito Forte	0,9996	0,95	Ótimo	0,67	-0,17	0,39
Cabrobó	0,90	0,95	Muito Forte	0,9996	0,95	Ótimo	0,77	-0,50	0,57
Salgueiro	0,50	0,71	Forte	0,9914	0,71	Bom	1,98	-1,41	1,48
Ibimirim	0,95	0,97	Muito Forte	0,9998	0,97	Ótimo	0,53	-0,32	0,42
Serra Talhada	0,90	0,95	Muito Forte	0,9997	0,95	Ótimo	0,64	0,14	0,47
Floresta	0,95	0,98	Muito Forte	0,9996	0,98	Ótimo	0,77	-0,63	0,66
Ouricuri	0,81	0,90	Forte	0,9986	0,90	Ótimo	1,43	-1,11	1,15
Garanhuns	0,93	0,97	Muito Forte	0,9997	0,97	Ótimo	0,63	0,40	0,52
Surubim	0,85	0,92	Muito Forte	0,9992	0,92	Ótimo	0,86	-0,48	0,57

Caruaru	0,60	0,77	Forte	0,9989	0,77	Muito Bom	1,11	-0,02	0,83
Recife	0,91	0,96	Muito Forte	0,9997	0,96	Ótimo	0,47	-0,30	0,37
Palmares	0,95	0,97	Muito Forte	0,9994	0,97	Ótimo	0,71	-0,63	0,63

$R^2_{ajustado}$: Coeficiente de determinação; r: Coeficiente de correlação de Pearson; ¹Classificação Callegari-Jacques (2009); d: Índice de concordância de Willmott (1981); c: Índice de desempenho de Camargo; Sentelhas (1997); ²Classificação de Camargo; Sentelhas (1997); RMSE: Raiz quadrática média dos erros (°C); MBE: Erro sistemático Bias (°C); MAE: Erro médio absoluto (°C).

A correlação de Pearson indica a intensidade da relação linear entre os dois bancos de dados, podendo variar de -1 a +1. Para os dados de temperatura do ar média, os resultados mostraram que o ERA5-Land obteve valores acima de 92% para quase todo estado de Pernambuco (Tabela 4), tendo seus valores classificados como forte e muito forte, segundo Callegari-Jacques (2009) (Tabela 2). A maior e menor correlação de Pearson foram observadas nas cidades de Floresta ($r = 0,98$) e Salgueiro ($r = 0,71$), ambas na mesorregião do Sertão (Tabela 4), sendo classificadas como forte e muito forte (Tabela 2), respectivamente.

Corroborando a este estudo, vários outros autores que também utilizaram dados provenientes da reanálise atmosférica global, relataram alta precisão para temperatura do ar média. Aparecido *et al.* (2019) em estudo realizado no estado do Paraná com dados de reanálise do ERA-Interim no período de 1989 a 2014, obtiveram precisão superior a 90% para a temperatura do ar média em todo o estado. Martins *et al.* (2017), em estudo realizado na Península Ibérica para estimar a evapotranspiração de referência a partir de dados de reanálise, relataram $R^2 > 0,95$ em 96 % dos dados de temperatura do ar máxima, porém, a temperatura do ar mínima obteve esse mesmo nível de precisão em 79% dos dados. Monteiro; Sentelhas; Pedra (2018) encontraram boa precisão e exatidão nas variáveis temperatura do ar média ($R^2 = 0,73$), máxima ($R^2 = 0,75$) e mínima ($R^2 = 0,72$) oriundas da reanálise NASA POWER para o território brasileiro. Silva *et al.* (2020), em estudo realizado no estado de Pernambuco para validar a temperatura do ar utilizando dados de reanálise do ERA5-Land apenas do ano de 2019, relataram precisão superior a 79% para todo o estado.

O índice de concordância de Willmott (d) (Tabela 4) se manteve sempre acima de 0,9914, evidenciando que os dados estão bem próximos da linha 1:1 (Figura 5), o que é desejável. Por outro lado, o índice (c) de Camargo e Sentelhas (1997) mostrou desempenho acima de 90% para quase todo o estado, com valor mínimo de 0,71 e máximo 0,98 para os municípios de Salgueiro e Floresta respectivamente, sendo classificados como bom e ótimo (Tabela 2).

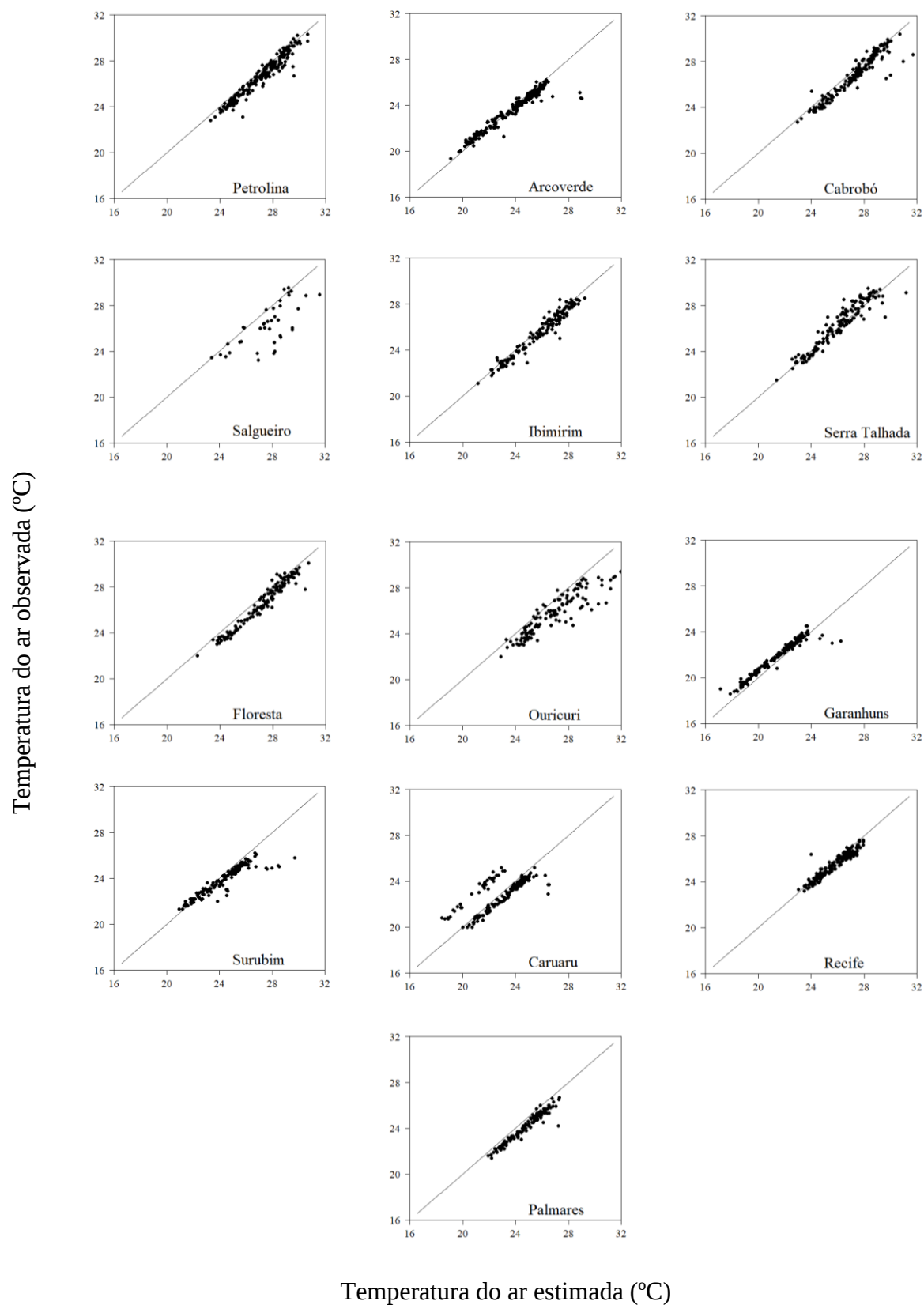


Figura 5. Médias mensais da temperatura do ar aferida por estações meteorológicas automáticas de superfície (observada) e a estimada pelo ERA5-Land em municípios do estado de Pernambuco, no período de 1990 a 2020.

Virgens Filho *et al.* (2013) analisando o desempenho de três modelos na simulação de séries diárias de temperatura do ar máxima para localidades do estado do Paraná, obtiveram valores semelhantes a esse estudo com o índice “d” acima de 0,86 e o índice “c” acima de 0,70. Valeriano *et al.* (2019) avaliando a temperatura do ar e precipitação a partir de dados gradeados do ECMWF e NASA para o Sudeste do Brasil, encontraram maior exatidão “d” para o modelo ECMWF ($d > 0,8$) e menor para o modelo NASA ($d < 0,6$). Corroborando este estudo, Valeriano *et al.* (2019), encontraram valores médios do índice “d” de 0,96 (ECMWF) e 0,91 (NASA) e médias do R^2 de 0,87 (ECMWF) e 0,74 (NASA), indicando que os dados de temperatura estimados por ambos os modelos podem ser utilizados quando os dados das estações meteorológicas forem limitados ou em áreas sem estações.

Os valores da RMSE para temperatura do ar média dos dados da reanálise do ERA5-Land se mostraram inferiores a 0,86 °C em grande parte do estado de Pernambuco (Tabela 4), com valor mínimo de 0,47 °C (Recife). Os maiores valores de RMSE foram encontrados em Salgueiro e Ouricuri (Sertão) com RMSE igual a 1,98 °C e 1,43 °C, respectivamente, seguido por Caruaru (mesorregião Agreste) com RMSE = 1,11 °C. O erro sistemático Bias (MBE) indica a capacidade em que um modelo tem em subestimar ou superestimar os dados observados em estações meteorológicas. O erro Bias indicou que a reanálise do ERA5-Land subestima os dados de temperatura do ar em quase todo o estado, com exceção dos municípios de Serra Talhada (mesorregião do Sertão) e Garanhuns (mesorregião Agreste) onde os dados estimados foram superestimados (Tabela 4). Esses resultados são confirmados ao analisar graficamente a relação entre dados observados e estimados pelo modelo (Figura 5). O ERA5-Land subestimou os valores da temperatura do ar média em 11 estações das 13 utilizadas neste estudo, correspondendo a 84 % das estações. A maior subestimativa ocorreu em Salgueiro (-1,41 °C), na mesorregião do Sertão de Pernambuco, enquanto a maior superestimativa do ERA5-Land ocorreu em Garanhuns (0,40 °C), no Agreste do estado.

A amplitude dos valores de RMSE (0,47 °C a 1,98 °C), registrada nesse estudo, foi menor que em outras pesquisas. Valeriano *et al.* (2019) ao estudar diferentes modelos atmosféricos globais no Sudeste do Brasil encontraram valores de RMSE de até 4,59 °C. Aboelkhair; Morsy; El Afandi (2019), em estudo realizado na Índia, encontraram bom desempenho para estimar a temperatura média do ar, utilizando a reanálise NASA POWER com RMSE variando entre 0,96 e 2,54 °C. Entretanto, Aparecido *et al.* (2019) observaram, em estudo realizado no estado do Paraná utilizando a reanálise ERA-Interim no período de 1989 a 2014, valores de RMSE variando de 0,37 °C no verão a 1,11 °C na primavera.

Na análise gráfica do município de Caruaru (Figura 5), nota-se uma mudança na relação entre os dados observados pelas estações meteorológicas automáticas e estimados pelo ERA5-Land, onde os dados são superestimados num determinado período e subestimados em outro período. Diante dessa observação, os dados foram analisados mensalmente durante os 14 anos de registro de dados (2007 a 2020), e foi identificado que essa mudança de tendência ocorreu a partir de julho/2018 (Figura 6). Este diagnóstico estimulou o contato com a coordenação do 3º Distrito de Meteorologia (DISME) do INMET em Pernambuco para obtenção de alguma informação que justificasse tal mudança de tendência dos dados observados. Assim, foi notificado que esta estação foi transferida de local em 18/07/2018, quando se encontrava instalada no centro da cidade de Caruaru, numa área com altitude de 570 m ($-08,23^{\circ}$ S, $-35,98^{\circ}$ W), e passou para outra área com vegetação preservada e altitude de 852 m ($-08,35^{\circ}$ S, $-36,02^{\circ}$ W). Essa mudança de localidade justifica a mudança dos valores mencionados anteriormente, visto que, os dados de temperatura registrados foram superiores aos anteriores, em função das características geográficas do local onde a EMA estava instalada, e consequentemente, causou distanciamento dos dados estimados pelo ERA5-Land.

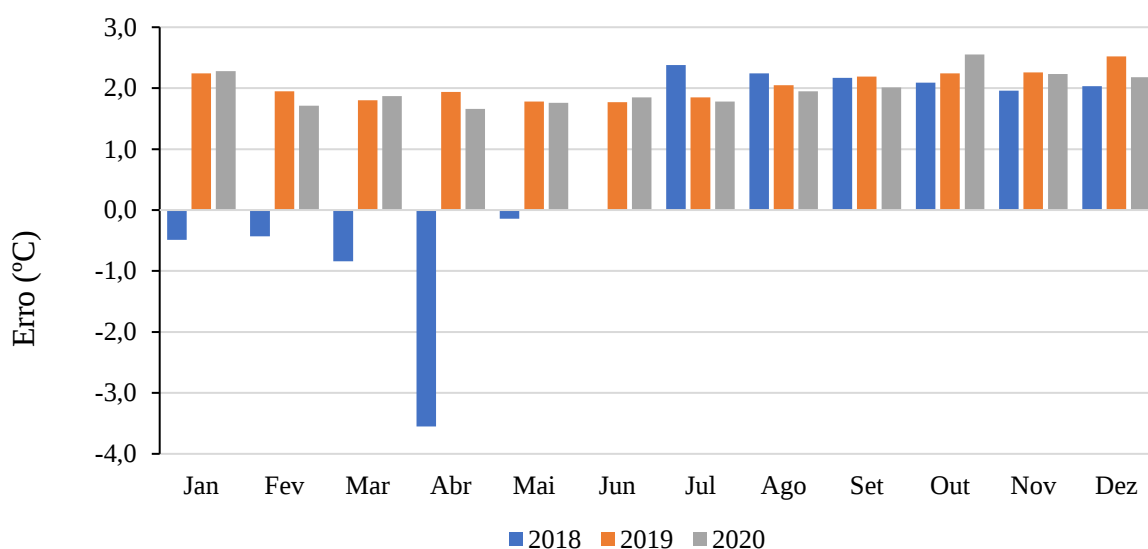


Figura 6. Erros dos valores estimados do ERA5-land sobre os valores observados pelas EMA dos últimos três anos para o município de Caruaru.

CONCLUSÕES

A baixa quantidade de estações meteorológicas automáticas de superfície disponíveis pelo INMET para o estado de Pernambuco não interferiu nos resultados, pois, os dados de temperatura do ar média e precipitação pluviométrica total estimados pela reanálise do ERA5-

Land foram validados com êxito, de acordo com os índices estatísticos de precisão e exatidão analisados.

A reanálise do ERA5-Land obteve maior precisão da precipitação pluviométrica total acumulada na mesorregião do Sertão, seguida do Agreste e da Zona da Mata/Litoral, onde os dados subestimaram levemente mais da metade das cidades do Sertão e do Agreste, e de forma moderada as cidades da Zona da Mata/Litoral. Por outro lado, a reanálise ERA5-Land foi mais precisa na estimativa da temperatura média do ar na Zona da Mata/Litoral, seguida do Sertão e Agreste, apresentando leve subestimativa em todas as estações, exceto em Serra Talhada e Garanhuns que foram levemente superestimados.

Os dados de precipitação pluviométrica total e temperatura do ar gerados pela reanálise ERA5-Land podem substituir dados de estações meteorológicas de superfície quando houver limitação de disponibilidade de dados. No entanto, o modelo ERA5-Land necessita ser aperfeiçoado para estimar melhor a precipitação pluviométrica, uma vez que os coeficientes de determinação em relação aos dados de superfície foram relativamente baixos em todas as mesorregiões de Pernambuco e, consequentemente, com elevado RMSE na Zona da Mata/Litoral e moderados no Sertão e Agreste. No entanto, para a variável temperatura do ar, apenas na mesorregião do Sertão, no município de Salgueiro, foi detectado menor coeficiente de determinação (0,50) e maior RMSE (1,98 °C).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOELKHAIR, H.; MORSY, M. EL AFANDI, G. Assessment of agroclimatology NASA POWER reanalysis datasets for temperature types and relative humidity at 2 m against. **Advances in Space Research**, v.64, p.129-142, 2019. DOI: 10.1016/j.asr.2019.03.032
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, L. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; MORAES, J. R. S. C.; TORSONI, G. B.; MENESES, K. C.; COSTA, C. T. S. Acurácia da reanálise ERA-Interim do ECMWF e sua aplicação na estimativa da deficiência hídrica no estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.34, n.4, p.515-528, 2019. DOI: 10.1590/0102-7786344066

BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos - SP v.32, n.2, p.215-226, 2017. DOI 10.1590/0102-778632120150119

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Tradução. [s.l.] Artmed Editora, 2009.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997. ISSN 0104-1347

CAPUCHINHO, F. F.; SIQUEIRA, M. P.; CRUZ, G. H. T.; COSTA SANTOS, L.; REIS, E. F. Coordenadas geográficas e altitude na estimativa da temperatura do ar no estado de Goiás. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 13, n. 2, p. 3346-3357, 2019. DOI: 10.7127 / RBAI.V13N2001054

CASTRO, B. V. O.; DA SILVA, F. P.; PIRES, G. D. Avaliação de parâmetros meteorológicos gerados pela reanálise ERA 5 para a cidade de Seropédica, região da Baixada Fluminense-RJ. **Revista Engenharia, Meio Ambiente e Inovação** v.02, n.1. Jan 2019. ISSN 2595-5616

CHEN, Y.; SHARMA, S.; ZHOU, X.; YANG, K.; LI, X.; NIU, X.; HU, X.; KHADKA, N. Spatial performance of multiple reanalysis precipitation datasets on the southern slope of central Himalaya. **Atmospheric Research**, 2020, DOI 10.1016/j.atmosres.2020.105365.

COAN, B. P.; BACK, A. J.; BONETTI. Precipitação mensal e anual provável no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 15, p. 122-142, 2014. DOI: 10.5380/abclima.v15i0.38348

COSTA, M. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. M.; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, 2015. DOI: 10.5935/1984-2295.20150071

ELY, D. F.; DUBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o Estado do Parana - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 13, p. 553-569, 2017. DOI: 10.5380/abclima.v21i0.48643

ESSOUE, G. R.; ARSENAULT, R.; BRISSETTE, F. P. -Comparison of climate datasets for lumped hydrological modeling over the continental United States. **Journal of Hydrology**. v. 537, p. 334–345, 2016. DOI 10.1016/j.jhydrol.2016.03.063

FEITOSA, J. R. M.; OLIVEIRA, C. W. Estudo comparativo dos dados de precipitação do satélite TRMM e postos pluviométricos no estado do Ceará, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**. n. 65, p. 257-280, 2020. DOI: 10.15359/rgac.65-2.10

HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., HIRAHARA, S., HORÁNYI, A., MUÑOZ - SABATER, J., NICOLAS, J., PEUBEY, C., RADU, R., SCHEPERS, D., SIMMONS, A., SOCI, C., ABDALLA, S., ABELLAN, X., BALSAMO, G., BECHTOLD, P., BIAVATI, G., BIDLOT, J., BONAVIDA, M., CHIARA, G., DAHLGREN, P., DEE, D., DIAMANTAKIS, M., DRAGANI, R., FLEMMING, J., FORBES, R., FUENTES, M., GEER, A., HAIMBERGER, L., HEALY, S., HOGAN, R.J., HÓLM, E., JANISKOVÁ, M., KEELEY, S., LALOYLAUX, P., LOPEZ, P., LUPU, C., RADNOTI, G., ROSNAY, P., ROZUM, I., VAMBORG, F., VILLAUME, S., E THÉPAUT, J.-N. The ERA5 Global Reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. v.146, n.730, p.1999-2049, July 2020. DOI 10.1002/qj.3803

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Estações meteorológicas convencionais e automáticas. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>> Acesso em: 17 agosto. 2021.

JANATIAN, N.; SADEGHI, M.; SANAEINEJAD, S. H.; BAKHSHIAN, E.; FARID, A.; HASHEMINIA, S. M.; GHAZANFARI, S. A statistical framework for estimating air temperature using MODIS land surface temperature data. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 3, p. 1181-1194, 2016. DOI: 10.1002/joc.4766.

MARTINS, D. S.; PAREDES, P. RAZIEI, T.; PIRES, C.; CADIMA, J.; PEREIRA, L. S. Assessing reference evapotranspiration estimation from reanalysis weather products. An application to the Iberian Peninsula. **International Journal of Climatology**, v.37, n.5, p.2378-2397, 2017. DOI: 10.1002/joc.4852

MENEZES, F.P., FERNANDES, L.L. Análise de tendência e variabilidade da precipitação no estado do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v.13, n.24, p.1580-1591, 2016.

MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C.; PEDRA, G. U. Assessment of NASA/POWER satellite-based Weather system for Brazilian conditions and its impact on sugarcane yield simulation. **International Journal of Climatology**, v.38, n.3, p.1571-1578, 2018. DOI: 10.1002/joc.5282

MORAES, R. A.; ROCHA, J. V.; ROLIM, G. S.; LAMPARELLI, R. A. C.; MARTINS, M. M. Avaliação dos dados decendiais de precipitação e temperatura máxima e mínima do ar simulados pelo modelo ECMWF para o estado de São Paulo. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 397 – 407., 2012. DOI: 10.15809/irriga.2012v17n3p397

NEWMAN, A. J.; CLARK, M. P.; CRAIG, J.; NIJSSEN, B.; WOOD, A.; GUTMANN, E.; MIZUKAMI, N.; BREKKE, L.; ARNOLD, J. R. Gridded ensemble precipitation and temperature estimates for the contiguous United States. **JournalHydrometeorology**., v. 16, n. 6, p. 2481–2500, 2015. DOI: DOI 10.1175/JHM-D-15-0026.1

OLIVEIRA JÚNIOR, A. I.; MARTINS, E. S.; DA COSTA, C. T. F.; CALDAS, H. F. M. Análise da precipitação e determinação de equações de chuvas intensas para o município de Crato-CE situado no semiárido do Brasil. **Revista Geama**, v. 5, n. 3, p. 56-65, 2019.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 139-148, 2013. DOI: 10.21168/rbrh.v18n3.p139-148

RIBEIRO, A. de A.; JÚNIOR, A. S. A.; DA SILVA, E. M.; SIMEÃO, M.; BASTOS, E. A. Comparação entre dados meteorológicos obtidos por estações convencionais e automáticas no esato do Piauí, Brasil. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 220-235, abril-junho, 2017. DOI: 10.15809/irriga.2017v22n2p220-235

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. <https://www.R-project.org/>.

SANTOS, L. O. F.; QUERINO, C. A.S.; QUERINO, J. K. A. S.; JUNIOR, A. L. P.; MOURA, A. R. M.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Validation of rainfall data estimated by GPM satellite on Southern Amazon region. **RevistaAmbiente & Água** vol. 14 n. 1, p. 1-9, 2019. DOI: 10.4136/ambi-agua.2249

SANTOS, J. C.; LISBOA, G. S.; FRANÇA, L. C. J.; STEPKA, T. F.; SILVA, J. B. L.; MIRANDA, D. L. C.; CERQUEIRA, C. L. Relação entre as variáveis meteorológicas e o uso e ocupação do solo no Sudoeste do Piauí, Brasil. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Nativa, Sinop, v.5, n.6, p.414-420, nov./dez. 2017. DOI: 10.5935/2318-7670.v05n06a06

SILVA, C. B.; SILVA, M. E. S.; AMBRIZZI, T.; TOMMASELLI, J. T.G.; PATUCCI, N. N.; MATAVELI, G. A. V.; LIMA, B. S.; CORREA, W. C. Precipitações na América do Sul –

Dados obtidos em estações meteorológicas automáticas e sistemas orbitais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 15 – vol. 25, jul/dez 2019. DOI: 10.5380/abclima.v25i0.58813

SILVA, L. M. C.; IPPOLITO, M.; DA SILVA, J. L. B.; ARAUJO, C. S. P. de.; PROVENZANO, G.; ALMEIDA, C. D. G. C. de. Validation of air temperature data obtained from the ERA5-land reanalysis in the state of Pernambuco, Brazil. **Inovagri Meeting Virtual**. Anais. 2020.

TAREK, M.; BRISSETTE, F. P.; ARSENAULT, R. Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. **Hydrology and Earth System Sciences**, n .24, p. 2527–2544, 2020. DOI 10.5194/hess-24-2527-2020

TURCO, J. E. P.; CARLETO, N. Integridade de dados meteorológicos para uso em modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.8, p. 2084 - 2097, 2017. DOI: 10.7127/rbai.v11n800668

VALERIANO, T. T. B.; ROLIM, G. S.; BISPO, R. C.; MORAES, J. R. S. C.; APARECIDO, L. E. O. Evaluation of air temperature and rainfall from ECMWF and NASA gridded data for southeastern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 137, p. 1925–1938, 2019. DOI: 10.1007/s00704-018-2706-z

VIANNA, L. F. N.; PERIN, E. B.; RICCE, W. S.; MASSIGNAN, A. M.; PANDOLFO, C. Bancos de dados meteorológicos: Análise dos metadados das estações meteorológicas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, p. 53-64, 2017. DOI: 10.1590/0102-778632120150119

VIRGENS FILHO, J. S.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, M. L.; TSUKAHARA, R. Y. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do estado do Paraná. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 538-547, maio/jun. 2013. DOI: 10.1590/S0100-69162013000300010

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C. J. S. 2004. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>

WILLMOTT, C. J. On the validation models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

CAPÍTULO III

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO VIA REANÁLISE ERA5-LAND NO ESTADO DE PERNAMBUCO

RESUMO: O balanço hídrico climatológico é uma ferramenta de extrema importância para o planejamento agrícola, possibilitando identificar as possíveis potencialidades e fragilidades para a produção. Os dados estimados pela reanálise global como as do ECMWF no cálculo do balanço hídrico climatológico, vem sendo utilizados com maior frequência, visando obter estudos climatológicos mais completos em localidades que apresentem ou não estações meteorológicas e assim, diminuir as falhas em bancos de dados observados. Nesse sentido, essa pesquisa tem como objetivo calcular o balanço hídrico climatológico (BHC) pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), utilizando dados da reanálise ERA5-Land, visando gerar subsídios para o planejamento agrícola e zoneamento agroclimático para o estado de Pernambuco. Neste estudo foi utilizada uma série de dados históricos entre os anos de 1990 a 2020 (31 anos) de precipitação pluviométrica média mensal e temperatura média mensal, estratificada espacialmente por mesorregiões do estado (Zona da Mata/Litoral, Agreste e Sertão) e tomando por base os 13 municípios onde existem estações meteorológicas automáticas (EMA) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instaladas. O cálculo do BHC foi obtido conforme a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) com uso do programa BHnorm e adotando o valor de 100 mm para a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD). A deficiência hídrica da mesorregião do Sertão foi superior à precipitação pluviométrica em todos os meses do ano, com os maiores valores observados em Cabrobó no mês de novembro (-170 mm) e em Floresta no mês de dezembro (-172 mm) durante toda a estação seca na mesorregião (junho a dezembro), logo, não havendo excedente hídrico e nem armazenamento de água no solo. Por outro lado, na mesorregião Agreste, foram registrados os maiores valores de déficit hídrico no mês de dezembro nos municípios de Surubim (-96 mm) e Caruaru (-84 mm), por outro lado, o município de Garanhuns apresentou valor máximo de -76 mm em dezembro e 0 mm nos meses de junho e julho, onde houve um leve armazenamento de água no solo sem a presença de excedente hídrico. Na Zona da Mata/Litoral houve déficit hídrico de janeiro a abril e de setembro a dezembro, com os maiores valores observados no mês de dezembro em Recife (-87 mm) e Palmares (-72 mm). O excedente hídrico totalizou 71 mm, distribuído em junho e julho (44,13 mm e 0,37 mm, respectivamente) em Recife e em Palmares (14,5 mm e 12 mm, respectivamente). Com os resultados obtidos, é aconselhável o uso de irrigação suplementar para culturas que demandem suplementação hídrica acima de cinco meses ao longo do ano na região do Sertão, visto que esta mesorregião apresentou período seco por sete meses do ano em maior deficiência hídrica. Os resultados deste estudo fornecem suporte para o planejamento das atividades agrícolas e classificação climática para o estado de Pernambuco.

PALAVRAS CHAVES: Evapotranspiração, Planejamento agrícola, Disponibilidade hídrica, armazenamento hídrico.

ABSTRACT: The climatological water balance is a tool of extreme importance for agricultural planning, making it possible to identify the possible potentialities and weaknesses for production. The data estimated by the global reanalysis such as those of the ECMWF in the calculation of the climatological water balance, have been used more frequently, aiming to obtain more complete climatological studies in localities that present or not meteorological stations and thus reduce the failures in observed databases. In this sense, this research aims to calculate the climatological water balance (BHC) by the Thornthwaite and Mather method (1955), using data from the ERA5-Land reanalysis, aiming to generate subsidies for agricultural planning and agroclimatic zoning for the state of Pernambuco. In this study, we used a series of historical data between the years 1990 to 2020 (31 years) of monthly average rainfall and monthly average temperature, spatially stratified by state mesoregions (Zona da Mata/Litoral, Agreste and Sertão) and based on the 13 municipalities where there are automatic meteorological stations (EMA) of the National Institute of Meteorology (INMET) installed. The BHC calculation was obtained according to thornthwaite and mather methodology (1955) using the BHnorm program and adopting the value of 100 mm for the available water storage capacity (CAD). The water deficiency of the Sertão mesoregion was higher than rainfall in all months of the year, with the highest values observed in Cabrobó in November (-170 mm) and in Forest in December (-172 mm) throughout the dry season in the mesoregion (June to December), therefore, with no water surplus and no soil water storage. On the other hand, in the Agreste mesoregion, the highest values of water deficit in December were recorded in the municipalities of Surubim (-96 mm) and Caruaru (-84 mm), on the other hand, the municipality of Garanhuns presented a maximum value of -76 mm in December and 0 mm in June and July, where there was a slight storage of water in the soil without the presence of water surplus. In the Zona da Mata/Litoral there was a water deficit from January to April and from September to December, with the highest values observed in December in Recife (-87 mm) and Palmares (-72 mm). The water surplus totaled 71 mm, distributed in June and July (44.13 mm and 0.37 mm, respectively) in Recife and Palmares (14.5 mm and 12 mm, respectively). With the results obtained, it is advisable to use supplementary irrigation for crops that require water supplementation above five months throughout the year in the Sertão region, since this mesoregion presented dry period for seven months of the year in higher water deficiency. The results of this study provide support for the planning of agricultural activities and climate classification for the state of Pernambuco.

KEYWORDS: Evapotranspiration, Agricultural planning, Water availability, water storage.

INTRODUÇÃO

A agricultura dentre outras atividades econômicas é a que mais depende das condições climáticas e agrometeorológicas, que por sua vez, envolvem o manejo adequado de solo água, clima e recursos hídricos (Romani *et al.*, 2016). O Semiárido nordestino possui características climáticas diferentes das outras regiões do Brasil, tendo altas taxas de evaporação em função da elevada insolação, bem como a distribuição espacial e temporal irregular da precipitação pluviométrica (Santos; Souza, 2018; Passos; Zambrzycki; Pereira, 2017). No entanto, essa região se destaca na produção e exportação de frutas, devido ao emprego da irrigação (Souza *et al.*, 2017).

O conhecimento dos dados agrometeorológicos e da distribuição dos recursos hídricos no tempo e espaço visa subsidiar a atividade agrícola sustentável e economicamente viável (Matos *et al.*, 2018). Neste sentido, o entendimento do balanço hídrico climatológico possibilita identificar as possíveis potencialidades e fragilidades para a produção agrícola, pois depende da demanda hídrica da região produtora. A estimativa do balanço hídrico climatológico contribui para o planejamento do uso da água em sistemas irrigados, além de identificar as aptidões agrícolas, visando obter o rendimento máximo das culturas, por meio da observação dos fatores agrometeorológicos em todas as fases das lavouras (Passos; Zambrzycki; Pereira, 2016).

A precipitação pluviométrica e a temperatura do ar são variáveis importantes para a realização de vários estudos científicos com diversas aplicações no âmbito ambiental, meteorológico, agrícola, entre outros. Essas variáveis climáticas podem ser medidas por sensores instalados em estações meteorológicas automáticas de superfície, bem como, por sensores orbitais, como os satélites (Bier; Ferraz, 2017). Devido aos erros de leitura nestes sensores ocasionados por falta de calibração, ou até mesmo por falta de manutenção, há dificuldade em se obter séries de dados homogêneos sem a presença de falhas (Essou; Arsenault; Brissette, 2016). A evapotranspiração potencial (ETP) é, por sua vez, a variável essencial no planejamento e execução de manejo na irrigação. Medeiros *et al.* (2014) estudando dados do município de Campina Grande, PB, observaram que a ETP anual foi de 1.076,8 mm, com variações de 105,4 mm no mês de dezembro a 71,3 mm no mês de agosto.

O balanço hídrico climatológico (BHC), proposto por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), utiliza variáveis climatológicas de fácil acesso para monitorar o armazenamento de água no solo considerando a profundidade efetiva das raízes e

contabilizando o fluxo de entrada (precipitação pluviométrica e temperatura) e saída (evapotranspiração potencial e real) de água para uma dada região. Além disso, o BHC auxilia a estimativa da Deficiência Hídrica e o Excedente Hídrico. Com a utilização deste método, é possível conhecer o regime hídrico de uma região de maneira simples e rápida, pois não são empregadas medidas diretas a respeito das características físico-hídricas do solo (Oliveira; Oliveira, 2019). O balanço hídrico climatológico é obtido calculando a demanda e a disponibilidade hídrica através da precipitação pluviométrica (P), evapotranspiração real (ETR), evapotranspiração potencial (ETP), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC) (Matos *et al.*, 2018; Passos; Zambrzycki; Pereira, 2016; Holanda; Medeiros, 2019).

Medeiros (2016) realizou o balanço hídrico mensal para o município de Matinhas, PB, buscando o planejamento da citricultura, tendo como resultado, oito meses (agosto a março) de deficiência hídrica com total acumulado de 354,5 mm, e excedente hídrico nos meses de junho e julho, evapotranspirando 32% acima dos índices registrados. Matos *et al.* (2020) realizaram o balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Barbalha, CE, visando disponibilizar informações para o planejamento agrícola da região, tendo como resultado o período de deficiência hídrica de maio a dezembro com média mensal de 56 mm e anual de - 710 mm, e excedente hídrico nos meses de fevereiro a abril. França *et al.* (2019) realizaram a análise do BH pelo método de Thornthwaite & Mather (1948, 1955) entre o período de 2000 - 2016 e seu comparativo com o ano de 2016 com a finalidade de verificar a deficiência hídrica e a influência do armazenamento d'água no solo do município de Serra Talhada, PE. Os resultados mostraram que ocorreram mudanças bruscas e que os habitantes deverão encontrar outras abordagens futuramente em relação aos plantios, armazenamento de água e condições de sobrevivência. Medeiros & Holanda (2020) realizaram o cálculo do balanço hídrico sequencial (BHS) para o município de Lagoa Seca, PB, visando constatar as oscilações dos elementos climáticos e verificaram que os valores evapotranspirativos mensais registraram acoplamento das coordenadas geográficas e orografia. A compactação de solo (urbano e rural), o crescimento vertical e a falta de arborização próxima aos lençóis d'água vêm ocasionados aumento no poder evapotranspirativo.

Os modelos atmosféricos globais que produzem dados estimados de reanálise, vem sendo cada vez mais utilizados como alternativa viável para os dados meteorológicos de superfície oriundos de estações meteorológicas. Entretanto, os bancos de dados oriundos desses modelos

atmosféricos necessitam ser validados para garantir a qualidade do modelo. Esse processo de validação tem sido adotado em várias pesquisas como pré-requisito para o uso. As-Syakur *et al.* (2013), na Indonésia, utilizaram dados obtidos com o TRMM 3B43 e compararam os dados obtidos com o TRMM com cinco pluviômetros. Feidas (2010), na Grécia, comparou seis produtos de satélite em três diferentes resoluções espaciais obtendo um desempenho excelente do produto 3B43 para as três resoluções e Dinku *et al.* (2007), na Etiópia, avaliaram dez produtos de diferentes satélites, sendo o 3B43 novamente, foi aquele que apresentou o melhor desempenho.

Aparecido *et al.* (2019) analisaram a acurácia da reanálise ERA-Interim no período de 1989 a 2014 e, avaliaram a sua aplicação na estimativa da deficiência hídrica calculando o balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) para o estado do Paraná, Brasil. Os resultados mostraram que a temperatura do ar estimada pelo ERA-Interim mostrou alta acurácia em todas as estações do ano e os dados de precipitação estimados pelo ERA-Interim foram subestimados em comparação aos dados observados pelo INMET nas macrorregiões noroeste, norte e sudoeste do Paraná. Abatzoglou *et al.* (2018) mostraram um novo conjunto de dados globais oriundos do TerraClimate, que fornece dados de clima mensal e balanço hídrico climatológico para superfícies terrestres globais de 1958 - 2015, resultando numa melhora notável no erro absoluto médio geral e num realismo espacial aumentado em relação aos conjuntos de dados em grade de resolução mais grosseira. Martins *et al.* (2016) avaliaram a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) utilizando dados de reanálise combinados dos produtos do Centro Nacional de Previsão Ambiental e Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica (NCEP/NCAR) na Península Ibérica. Os resultados mostraram que os produtos de reanálise combinados são adequados para a estimativa da ET_0 na Península Ibérica, uma vez que, integram uma correção adequada de radiação e temperatura, que se revelou essencial para os bons resultados de estimativa obtidos. Ainda segundo os autores foram feitos testes com os produtos do ERA-Interim revelando superestimativa de ET_0 e os produtos combinados para NCEP / NCAR Reanalysis II mostraram grande subestimação.

Diante do exposto, essa pesquisa tem como objetivo calcular o balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), utilizando dados da reanálise ERA5-Land, visando a geração de subsídios para a o planejamento agrícola e zoneamento agroclimático para o estado de Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

O estado de Pernambuco localiza-se no centro-leste do nordeste brasileiro, ao norte limita-se com o estado da Paraíba, a noroeste com o estado do Ceará, ao sudeste com os estados de Alagoas e Bahia, a oeste com o estado do Piauí e a leste é banhado pelo Oceano Atlântico, ocupando uma área territorial de 98.937,8 km² (Medeiros *et al.*, 2018). O clima é classificado como tropical com estação chuvosa entre janeiro e agosto em parte do Litoral e seca nos demais meses do ano e clima Semiárido no Sertão (Guedes, 2012). A temperatura máxima do ar varia entre 30 e 34°C no Sertão, 24 e 31°C no Agreste e entre 29 e 31°C na Zona da Mata/Litoral. As temperaturas mínimas anuais oscilam entre 16 e 22°C no Sertão, entre 16 e 20°C no Agreste, entre 21 e 23°C na Zona da Mata/Litoral. Irregularidades espaciais e temporais da precipitação pluviométrica ocorrem devido à sua posição geográfica e características climáticas, que partem do litoral em sentido ao sertão com altas temperaturas, caracterizando uma transição entre os regimes pluviométricos do Sertão, Agreste, Zona da Mata/Litoral.

Os totais anuais de precipitação no litoral variam de 1.000 a 2.300 mm, e, no Agreste os valores são iguais ou inferiores a 800 mm, com exceção das regiões com microclima. No entanto, o Sertão oscila entre 400 e 600 mm de precipitação anual, exceto em regiões localizadas em grandes altitudes, onde estes valores aumentam como é o caso do município de Triunfo com 1.010 m de altitude e 1.200 mm de precipitação anual (Vigoderis *et al.*, 2016). A classificação climática de Köppen proposta por Alvares *et al.* (2014) apresenta três categorias, sendo o clima “As” caracterizado pelo clima Tropical com estação seca de verão, com predominância em todo o estado, o clima “BSh” caracterizado por clima de estepes quentes de baixa altitude e latitude, e com menos predominância o clima “Am” caracterizado por ser um clima úmido, clima de Bosque.

Os dados climáticos utilizados nesta pesquisa foram oriundos das estações meteorológicas automáticas (EMA) de superfície pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) situadas em 13 municípios do estado de Pernambuco (Arcoverde, Cabrobó, Caruaru, Floresta, Garanhuns, Ibimirim, Ouricuri, Petrolina, Serra Talhada, Palmares, Recife, Surubim e Salgueiro). Os dados compuseram uma série histórica de precipitação pluviométrica total (P) e temperatura do ar (T) média mensal referente ao período de 1990 a 2020 (31 anos). A quantidade de falhas no banco de dados foi analisada visando eliminar aquelas séries que apresentavam esses problemas. Após a análise dos dados das estações

meteorológicas de superfície, iniciou-se os procedimentos para obter os dados de reanálise atmosférica global do ERA5-Land.

Os dados de temperatura do ar e precipitação pluviométrica total da reanálise foram adquiridos da plataforma Copernicus no formato .NetCDF, formato em três dimensões que utiliza a latitude, longitude e o tempo como variáveis. Em seguida, utilizou-se o programa Phyton (Spyder anaconda) versão 2020.11 para transformar o arquivo .NetCDF em arquivo .txt. E assim, por meio do software RStudio versão 1.4.1106, os arquivos foram transformados em arquivos de planilha Excel® para facilitar a tabulação dos dados. Ainda utilizando o software RStudio, os dados horários da reanálise passaram por tratamento de conversão de unidades, sendo a precipitação pluviométrica transformada de metros (m) para milímetros (mm) e temperatura do ar de Kelvin (K) para graus Celsius (°C) para se igualarem aos dados de superfície das estações meteorológicas automáticas. Após esse tratamento, os dados horários foram transformados em dados médios mensais para temperatura do ar e dados mensais acumulados para precipitação pluviométrica.

O banco de dados utilizado nessa pesquisa oriundo da reanálise do ERA5-Land foi devidamente validado com base nos dados observados nas estações meteorológicas de superfície, conforme foi detalhadamente descrito no capítulo II. Assim, iniciou-se o cálculo do balanço hídrico para obter as variáveis de deficiência hídrica, excedente hídrico, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real e armazenamento. O método de Thornthwaite e Mather (1955) foi adotado nesta pesquisa devido a simplicidade e a disponibilidade de dados atmosféricos ser bastante limitada. O balanço hídrico climatológico (BHC) foi obtido por meio do programa BHnorm proposto por Rolim; Sentelhas; Barbieri (1998) em planilha Excel® que, por sua vez, depende da evapotranspiração potencial (ETP) determinada pelo método de Thornthwaite (1948) (Equação 8) e da capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) de 100 mm. Esse valor da CAD supre a necessidade hídrica de várias culturas de ciclo perene na região estudada (Abreu; Tonello, 2016). Para obter um estudo mais aprofundado, os resultados do balanço hídrico foram analisados de acordo com as mesorregiões do estado de Pernambuco (Sertão, Agreste e Zona da Mata/Litoral) e as estações do ano.

$$ETP = 16. \left(10. \frac{T}{I} \right)^a \quad (\text{Eq. 8})$$

em que, T é a temperatura média do mês em °C; e I é o nível de calor da região estudada (Equação 9), e que depende do ritmo anual da temperatura, integrando o efeito térmico de cada mês em que o expoente “a” (Equação 10) é uma função de I (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2002).

$$I = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$a = 0,675 \cdot 10^{-6} \cdot I^3 - 0,771 \cdot 10^{-4} \cdot I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad (\text{Eq. 10})$$

O valor de ETP representa o total mensal de evapotranspiração que ocorreria nas condições térmicas de um mês padrão de 30 dias, e cada dia com 12 horas de fotoperíodo (N). Portanto, a ETP deve ser corrigida (COR) em função de N e do número de dias do período (NDP) (Equação 11).

$$COR = \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{NDP}{30}\right) \quad (\text{Eq. 11})$$

Quando houve excedente hídrico ($P - ETP \geq 0$) a própria evapotranspiração potencial foi a evapotranspiração real, mas quando houve deficiência hídrica ($P - ETP < 0$), a evapotranspiração real foi dada pela soma da precipitação acumulada no decêndio e do módulo da alteração do armazenamento de água no solo (Equações 12 e 13).

$$ETR = ETP \quad (\text{Eq. 12})$$

$$ETR = P + |ALT| \quad (\text{Eq. 13})$$

A alteração do armazenamento de água no solo (ALT) foi dada pela variação do armazenamento (Equação 14).

$$ALT = ARM - ARM_{anterior} \quad (\text{Eq. 14})$$

Ainda segunda a metodologia citada acima, os valores de excedente hídrico e deficiência hídrica foram calculados por meio das equações 15 e 16 respectivamente.

$$EXC = (P - ETP) - ALT \quad (\text{Eq. 15})$$

em que, EXC corresponde ao excedente hídrico dado em mm, P é a precipitação (mm), ETP é a evapotranspiração potencial (mm) e ALT é a alteração do armazenamento de água no solo (mm).

$$DEF = ETP - ETR \quad (\text{Eq. 16})$$

em que, DEF é a deficiência hídrica dada em (mm), ETR é a evapotranspiração real (mm).

Os valores do armazenamento de água inicial foram obtidos através da equação 17 e, a equação 18 corresponde ao negativo acumulado (NAC).

$$ARM = CAD * e^{-|NAC/CAD|} \quad (\text{Eq. 17})$$

$$NAC = CAD * LN \left(\frac{ARM}{CAD} \right) \quad (\text{Eq. 18})$$

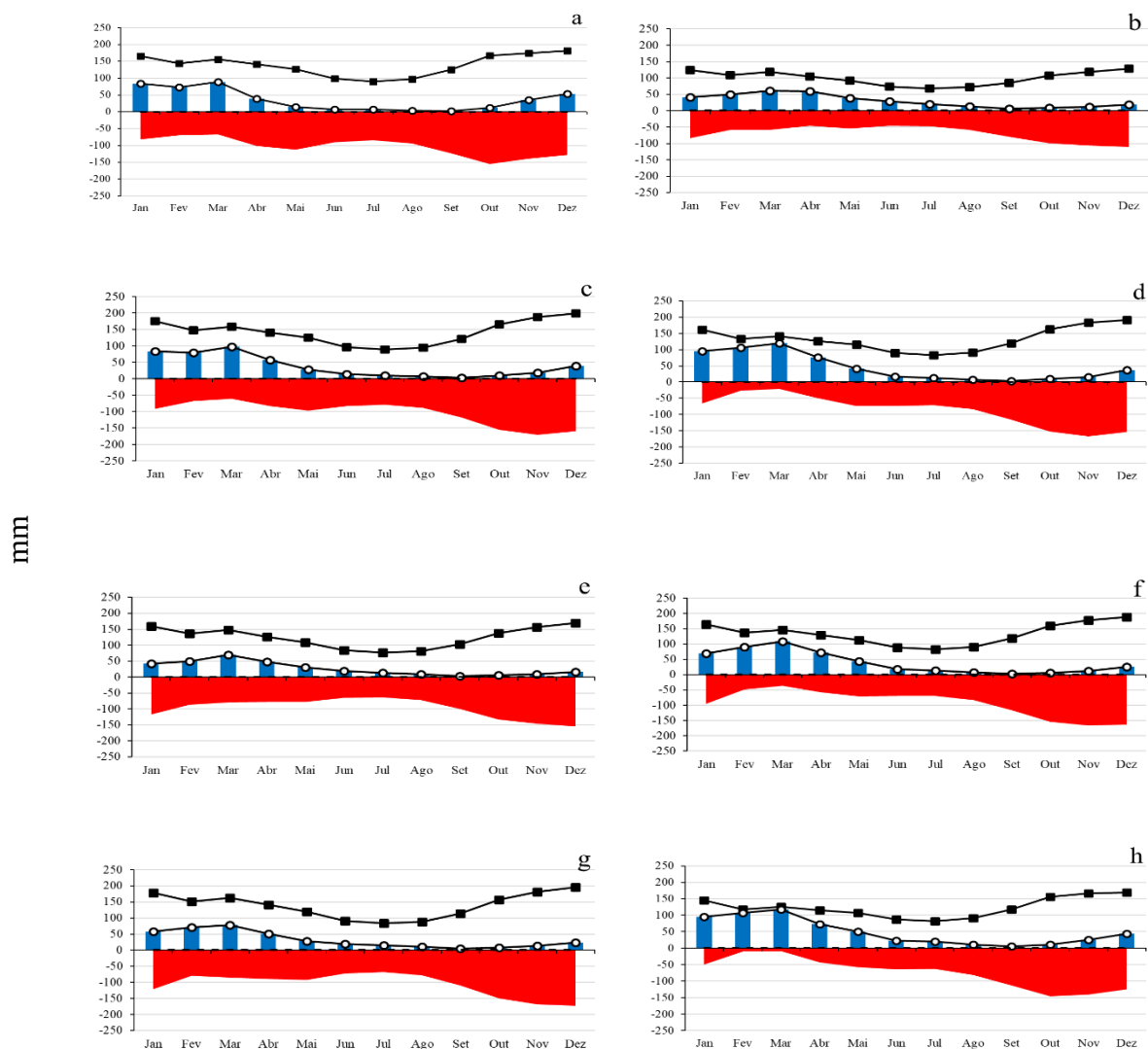
em que, ARM é o armazenamento de água no solo (mm); CAD é a capacidade de armazenamento água disponível no solo (mm); NAC é o negativo acumulado (mm) obtido pela diferença entre a precipitação e evapotranspiração (P - ETP); LN é o logaritmo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 7 é ilustrado o balanço hídrico climatológico via reanálise ERA5-Land para os 13 municípios que possuem estações meteorológicas automáticas pertencentes ao INMET no estado de Pernambuco. O BHC de cada município que compõe a mesorregião do Sertão é apresentado nas Figuras 7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f, 7g e 7h, enquanto os BHC, de cada município localizado no Agreste, estão nas figuras 7i, 7j e 7k, e por fim os resultados dos municípios da Zona da Mata/Litoral (Figuras 7l e 7m).

O período mais chuvoso para a mesorregião do Sertão (Figuras 7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f, 7g e 7h) está entre o início do verão até metade do outono, com médias mensais de precipitação acima de 50 mm nos primeiros cinco meses do ano. O período mais seco compreende do início de junho até o mês de dezembro com médias mensais de precipitação abaixo dos 50 mm para todos os municípios da mesorregião do Sertão. A média mensal de chuva para os 31 anos avaliados neste estudo mostra claramente que a precipitação foi insuficiente para suprir as necessidades hídricas do solo. Todos os municípios do Sertão apresentaram déficit hídrico acima de 150 mm no início de outubro até dezembro, com exceção para Ouricuri (Figura 7h) que ficou abaixo de 150 mm. Este resultado era esperado devido às características dessa região que possui baixa pluviosidade e altas taxas de evaporação e evapotranspiração.

Os maiores valores médios mensais de precipitação pluviométrica para a mesorregião do Sertão, foram observados em Salgueiro (Figura 7d) com 120 mm e em Ouricuri (Figura 7h) com 118 mm, ambos no mês de março compreendendo o período do final do verão ao início do outono. As maiores deficiências hídrica foram observadas em Cabrobó no mês de novembro (Figura 7c) com -170 mm e em Floresta no mês de dezembro (Figura 7g) com -172 mm configurando o período de primavera/verão. Entretanto, os menores valores foram encontrados em Salgueiro (Figura 7d) com -21 mm e em Ouricuri (Figura 7h) com -8 mm, ambos no mês de março entre o verão e outono. Ferreira Filho *et al.* (2020) analisaram o comportamento pluviométrico estimados pelo satélite meteorológico GPCP em comparação aos dados observados HidroWeb (ANA) no período de 1986-2015 e, obtiveram êxito com estações do ano bem distintas ao longo dos anos, sendo uma chuvosa (fevereiro a abril) e outra menos chuvosa (agosto a setembro).



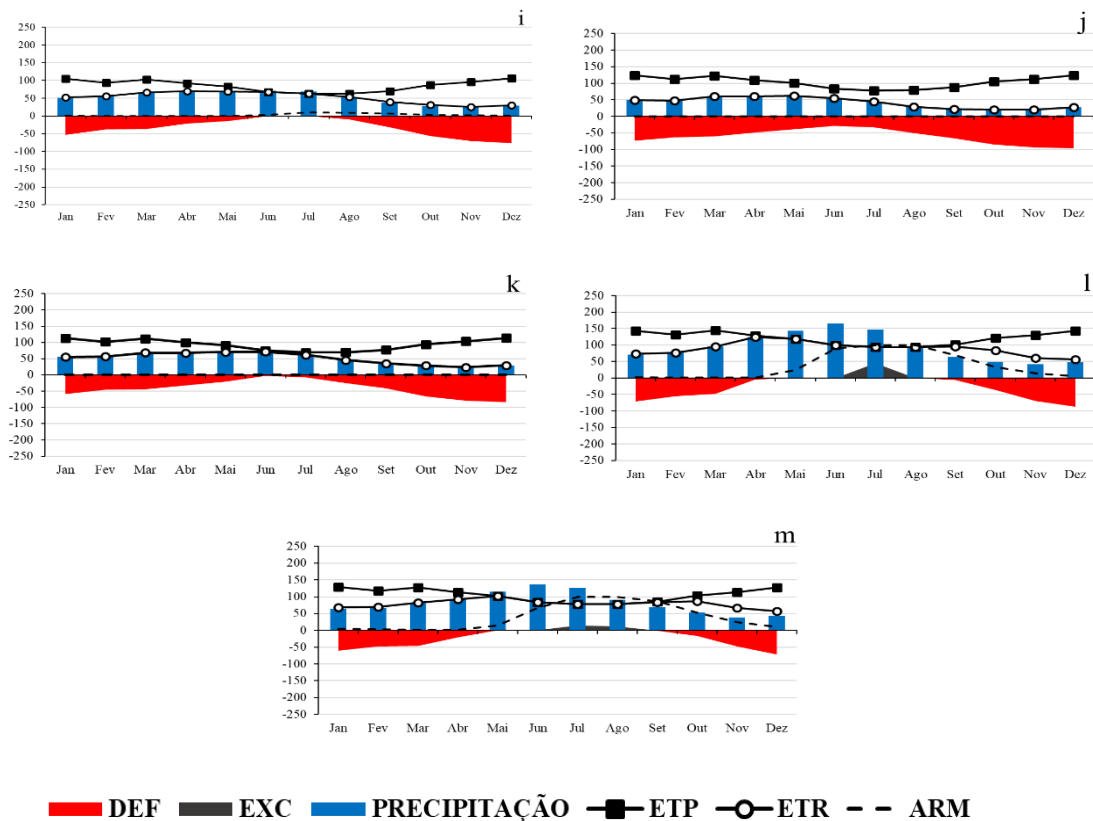


Figura 7 Balanço hídrico climatológico para o estado de Pernambuco via reanálise ERA5-Land, para os municípios de: Petrolina (a), Arcoverde (b), Cabrobó (c), Salgueiro (d), Ibimirim (e), Serra Talhada (f), Floresta (g), Ouricuri (h), Garanhuns (i), Surubim (j), Caruaru (k), Recife (l), Palmares (m). DEF: Deficiência hídrica; EXC: Excedente hídrico; ETP: Evapotranspiração potencial; ETR: Evapotranspiração Real; ARM: Armazenamento.

Costa *et al.* (2019) ao validarem dados de precipitação estimados pelo *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) no período de 1998 – 2010 para o Brasil, encontraram valores de precipitação no Nordeste próximos aos encontrados nos municípios de Salgueiro, Serra Talhada e Ouricuri para os meses de março e abril na mesorregião do Sertão. Aparecido *et al.* (2019) analisaram a acurácia da reanálise do ERA-Interim e a aplicação na estimativa da deficiência hídrica no estado do Paraná no período de 1989 a 2014, e observaram baixa similaridade dos dados estimados com os dados de superfície (INMET) com os maiores valores acontecendo no verão. Essa tendência foi semelhante nesse estudo, mesmo utilizando dados de reanálise do ERA5-Land, evidenciando que não importa a região estudada, se houver elevadas precipitações, os dados da reanálise apresentam dificuldades na estimativa. Aparecido *et al.* (2020a) utilizaram a reanálise do ERA-Interim para fazer a caracterização hídrica espacial e sazonal do Mato Grosso do Sul e a estimativa do armazenamento de água no solo, da

deficiência hídrica e do excedente hídrico por meio do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), observando baixa variabilidade entre os dados de deficiência hídrica. No entanto, seus resultados discordam desse estudo quanto ao período de ocorrência da maior deficiência hídrica, o que ocorreu entre julho e setembro (inverno) mas, por outro lado, coincidiu o período em que os menores valores da DEF ocorreram, entre janeiro e março (verão/outono).

A evapotranspiração potencial (ETP) para a mesorregião do Sertão se manteve sempre acima dos valores de precipitação, comprovando que a média de chuva não foi suficiente para suprir a quantidade de água evapotranspirada. Os maiores valores de ETP foram observados no mês de dezembro em Cabrobó (Figura 7c), Floresta (Figura 7g) e Salgueiro (Figura 7a) com 199 mm, 196 mm e 191 mm, respectivamente. Por outro lado, os menores valores encontrados para ETP foram em Arcoverde (Figura 7b) com 68 mm e em Ibimirim (Figura 7e) com 77 mm, ambos, no mês de julho. Os maiores valores de ETR foram observados no mês de março no município de Salgueiro (119 mm) e Ouricuri (118 mm) e os menores valores em Cabrobó (3,4 mm) e Ibimirim (3,3 mm) no mês de setembro.

A combinação entre os altos valores da evapotranspiração potencial e a baixa incidência de precipitação pluviométrica média mensal contribuiu para que não houvesse excedente hídrico e armazenamento de água no solo durante o período estudado para a mesorregião do Sertão do estado de Pernambuco, configurando assim um período de estiagem. Louzada; Xavier; Pezzopane (2018) avaliaram o balanço hídrico climatológico em torno da bacia do rio Doce (localizada em Minas Gerais e Espírito Santo) pelo método Thornthwaite & Mather (1955) utilizando dados estimados do satélite TRMM e dados medidos em pluviômetros. Os resultados indicaram boa homogeneidade entre os dados de ETP, sendo que, entre novembro e março foram detectados os maiores valores para o Baixo Guandu - ES, Jaguaré - ES, e Desterro de Melo - MG. Os mesmos autores ainda observaram boa homogeneidade entre os dados observados e estimados pelo TRMM para a variável ETR nas cidades de Jaguaré - ES, e Desterro de Melo - MG, com valores iguais nos meses de novembro e dezembro devido a $P > ETP$, em ambos os meses, resultando em $ETP = ETR$. Resultados diferentes foram encontrados nesse estudo, onde os valores de P foram menores que os de ETP em todos os meses para as cidades do Sertão, resultando em $ETP \neq ETR$. Medeiros (2021) utilizou dados mensurados em estações pluviométricas para realizar o balanço hídrico sequencial entre 1920-2018 separados por décadas no município de Serra Talhada localizada no Sertão pernambucano. Os resultados desse estudo, utilizando dados estimados de reanálise do ERA5-Land, foram muito próximos

aos encontrados por Medeiros (2021), com os maiores valores da variável ETP ocorrendo em dezembro nos anos de 1950 (150 mm), 1965 (149 mm), 1982 (155 mm), 1998 (155 mm) e em 2016 (162 mm).

Os municípios de Garanhuns (Figura 7i), Surubim (Figura 7j) e Caruaru (Figura 7k) compõe a mesorregião do Agreste, assim como os municípios de Recife (Figura 7l) e Palmares (Figura 7m) que compõe a mesorregião da Zona da Mata/Litoral pernambucana. O período com maior incidência de chuva para a mesorregião do Agreste pernambucano se estende de janeiro ao início de agosto compreendendo que corresponde ao período do início do verão ao final do inverno, com médias mensais de chuva variando de 29 mm a 71 mm. O período com menor incidência de chuva foi registrado no período do final de agosto a dezembro com médias mensais de chuva oscilando 20 mm a 37 mm. Por outro lado, o período chuvoso para a mesorregião da Zona da Mata/Litoral está entre maio e agosto correspondendo com o final do outono até o final do inverno, com médias mensais de precipitação variando de 91 mm a 165 mm nos municípios de Recife e Palmares. O período seco para a Zona da Mata/Litoral variou de setembro a abril, equivalente ao final da estação da primavera e ao início do outono, sendo registrados valores entre 39 mm a 91 mm em Palmares, e de 41 mm a 123 mm em Recife.

Os maiores valores médios mensais de precipitação para a mesorregião do Agreste (Figuras 7i, 7j e 7k) foram observados em Garanhuns (Figura 7i) com 72 mm e em Caruaru (Figura 7k) com 71 mm, ambos no mês de junho. Da mesma forma, os menores valores de precipitação foram observados no mês de novembro em Garanhuns (24 mm) e em Caruaru (23 mm). Para a Zona da Mata/Litoral, os maiores valores médios mensais de precipitação foram observados em Recife (Figura 7l) nos meses de junho e julho com valores de 165 mm e 148 mm, respectivamente. Por outro lado, os menores valores de precipitação foram encontrados no mês de novembro em Recife (41 mm) e em Palmares (39 mm). Pereira *et al.* (2013) avaliaram os dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil, e tiveram resultados para a região nordeste semelhantes aos encontrados nesse estudo para a mesorregião do Agreste e Zona da Mata/Litoral no período chuvoso nos meses de maio a agosto. Araújo; Sanches; Ferreira (2017) avaliaram a qualidade dos dados estimados pelo satélite TRMM a partir de dados observados em superfície para o município de Uberaba (MG) no período de 2000 a 2012 e, observaram que os dados estimados representam muito bem os dados da variável precipitação pluviométrica mensal. Medeiros (2020) utilizou dados observados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) para realizar o balanço hídrico sequencial no município de São Bento do Una – PE, localizado

no Agreste pernambucano, no período de 1920 a 2018 e, observou valores semelhantes aos encontrados nesse estudo para essa mesorregião com o período mais chuvoso entre março e junho com médias variando de 73 a 91 mm e o período seco, de setembro a dezembro, com médias variando de 19 a 24 mm.

Os maiores valores de deficiência hídrica no Agreste foram registrados no mês de dezembro em Surubim (-96 mm) e em Caruaru (-84 mm), no intervalo entre o final da primavera e início do verão. Os menores valores foram observados em Garanhuns, onde não houve deficiência hídrica nos meses de junho e julho que foram os meses mais chuvosos para o Município, período esse do ano que termina o outono e inicia o inverno. Na mesorregião da Zona da Mata/Litoral (Figuras 7l e 7m), os maiores valores de deficiência hídrica foram observados no mês de dezembro em Recife (-87 mm) e Palmares (-72 mm). Por outro lado, os menores valores de deficiência hídrica foram registrados nos meses de maio a agosto onde ocorreu as maiores precipitações, portanto, não foram registrados valores mínimos de deficiência nesses meses. Aparecido *et al.* (2019) analisando a acurácia da reanálise do ERA-Interim do conjunto ECMWF no estado do Paraná no período de 1989 a 2014, observaram que os dados de deficiência hídrica estimados pelo ERA-Interim acompanharam a tendência dos dados observados (INMET), com os maiores valores de DEF predominando ao norte do Paraná. Por outro lado, nesse estudo para as mesorregiões Agreste e Zona da Mata/Litoral que ficam a leste do Estado, os valores máximos de deficiência hídrica foram registrados no mês de dezembro no município de Surubim (Agreste) e na capital Recife (Zona da Mata/Litoral). Medeiros (2016) realizou o balanço hídrico mensal para o município de Matinhas (Agreste paraibano) utilizando dados observados de estações meteorológicas fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) no período de 2000-2013, e identificou que em oito meses ao longo do ano (agosto a março) ocorre deficiência hídrica com total acumulado de 354,5 mm e, excedente hídrico no período de junho e julho. Esses resultados corroboram esse estudo com base nos dados de reanálise (ERA5-Land) também identificou 10 meses (agosto a maio) de deficiência hídrica com excedente hídrico nos meses de junho e julho apenas em Garanhuns, no entanto, com o valor total acumulado muito superior (1651 mm).

Na mesorregião do Agreste (Figuras 7i, 7j, 7k), o município de Garanhuns registrou $P > ETP$ nos meses de junho e julho ocasionando em $ETP = ETR$, portanto não ocorreu déficit hídrico nesses meses. Por outro lado, na mesorregião da Zona da Mata/Litoral (Figuras 7l e 7m) foi registrada precipitação maior que ETP nos meses de maio a agosto, resultando em déficit

hídrico nos demais meses refletindo o período de estiagem. Os maiores valores de ETP foram observados em Surubim (124 mm) e Caruaru (114 mm) na mesorregião do Agreste no mês de dezembro, e em Recife nos meses de janeiro (143 mm) e março (144 mm) na mesorregião da Zona da Mata/Litoral. Os menores valores de ETP foram registrados no mês de julho em Garanhuns (63 mm) e em Caruaru (69 mm) para o Agreste e em Recife (93 mm) e Palmares (78 mm) para a Zona da Mata/Litoral. A ETR teve seus maiores valores registrado para a região do Agreste em Garanhuns no mês de abril (70 mm) e no município de Caruaru no mês de junho (71 mm). Os menores valores ocorreram no mês de novembro nos municípios de Surubim (19 mm) e Caruaru (23 mm). A maior ETR para a Zona da Mata/Litoral (Figuras 7l e 7m) foi de 123 mm no mês de abril no município de Recife e a menor de 56 mm no mês de dezembro em Palmares. Araújo *et al.* (2021) utilizaram os dados de reanálise do ERA5-Land para elaborar o balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Palmares, PE, localizado na mesorregião da Zona da Mata/Litoral pernambucana no período de 2011 a 2020 e, obtiveram boa conformidade entre os dados estimados (ERA5-Land) e observados (INMET) para a variável ETP. Os autores observaram para o BHCN elevados valores de $ETP > P$ nos meses entre agosto a abril acima de 100 mm, ocasionando DEF nesses meses e período de cheia nos meses restantes. Valores próximos foram encontrados nessa pesquisa para a variável ETP nas mesorregiões do Agreste e Zona da Mata/Litoral. Ribeiro & Nascimento (2020) realizaram o balanço hídrico climatológico com dados observados em estações pluviométricas na mesorregião metropolitana de Recife no período de 1967 – 2017 e, observaram os maiores valores de ETR nos meses de março (126 a 150 mm) abril (126 a 150 mm) e maio (101 a 125 mm) e junho (76 a 100 mm) e os menores no mês de dezembro com variações de 51 a 75 mm, corroborando a este estudo que obteve valores semelhantes nos meses de abril, junho e dezembro nas mesorregiões do Agreste e Zona da Mata/Litoral.

Na mesorregião do Agreste não ocorreu excedente hídrico devido aos altos valores de deficiência e ETP, porém, no município de Garanhuns (Figura 7i) houve um leve armazenamento de água no solo, com maiores valores entre junho e outubro devido à alta precipitação e baixa ETP ocorridas nos meses de junho e julho. Na mesorregião da Zona da Mata/Litoral, foi observado os maiores valores para excedente hídrico no mês de julho em Recife (44 mm) e Palmares (14 mm). O armazenamento de água no solo foi observado nos dois municípios da Zona da Mata/Litoral, com valores variando de 25 mm (maio) a 100 mm (agosto) atingindo o valor estabelecido para CAD, e reduziu até dezembro (5 mm) em Recife, bem como no município de Palmares que os valores variaram de 15 mm (maio) a 100 mm (agosto) reduzindo até 10 mm (dezembro). Utilizando os dados climáticos estimados pelo ERA-Interim

do ECMWF no período de 1979–2017, Aparecido *et al.* (2020b) observaram no estado de Minas Gerais, que o armazenamento de água no solo diminuiu no período de março a novembro, no norte do estado e, de maio a setembro no sul. Esses resultados divergem dos encontrados nesse estudo, onde o armazenamento de água no solo aumentou de março até agosto e depois diminuiu de agosto a novembro na mesorregião da Zona da Mata/Litoral devido aos altos índices de chuva ocorridos entre março e agosto que, logo vieram a diminuir nos meses seguintes, refletindo no armazenamento. O excedente hídrico encontrado por Aparecido; Rolim; Moraes (2020b) também foram diferentes desse estudo, com o maior excedente no mês de julho e o menor no mês de agosto para a mesorregião da Zona da Mata/Litoral, enquanto os valores de excedente hídrico variaram entre as regiões do estado de Minas Gerais, sendo maior no sul, de setembro a maio e, menor no norte, de outubro a abril.

O resumo dos valores máximos e mínimos das variáveis do balanço hídrico climatológico pode ser visto na Tabela 5. Os maiores valores de evapotranspiração potencial e de deficiência hídrica ocorreram na mesorregião do Sertão e observa-se a inexistência de excedente hídrico e armazenamento de água no solo. Esse resultado já era esperado devido às características dessa mesorregião, que apresenta baixa precipitação pluviométrica e elevada taxa de evapotranspiração resultando em elevada deficiência hídrica. Os maiores valores de precipitação foram observados na Zona da Mata/Litoral superando os valores máximos de ETP e resultando em excedente hídrico e armazenamento. Os maiores valores para ETR foram observados na mesorregião do Sertão e na Zona da Mata/Litoral.

Tabela 5. Resumo dos valores máximos e mínimos das variáveis do balanço hídrico climatológico no período de 31 anos para cada município do estado de Pernambuco.

Cidades	Mesorregiões	P		ETP		ETR		DEF		EXC		ARM	
		mm											
		Ma x	Mi n	Ma x	Mi n	Ma x	Mi n	Ma x	Mi n	Ma x	Mi n	Ma x	Mi n
Petrolina	Sertão	89	3	189	83	89	3	155	67	0	0	0	0
Arcoverde	Sertão	61	6	129	68	61	6	110	45	0	0	0	0
Cabrobó	Sertão	98	3	199	89	98	3	170	61	0	0	0	0
Salgueiro	Sertão	119	3	191	84	119	3	167	21	0	0	0	0
Ibimirim	Sertão	69	3	170	77	69	3	154	64	0	0	0	0
Serra Talhada	Sertão	109	3	189	83	109	3	166	37	0	0	0	0
Floresta	Sertão	78	5	196	83	78	5	172	69	0	0	0	0
Ouricuri	Sertão	118	6	170	83	118	6	146	8	0	0	0	0
Garanhuns	Agreste	71	24	106	63	70	26	76	0	0	0	10	0

Surubim	Agreste	62	20	124	77	62	20	96	29	0	0	0	0
Caruaru	Agreste	71	23	114	69	71	23	84	4	0	0	0	0
Recife	Zona da Mata/Litoral	165	41	144	93	124	56	87	0	44	0	100	1
Palmares	Zona da Mata/Litoral	136	39	129	78	102	57	72	0	15	0	100	2

P: Precipitação; ETP: Evapotranspiração potencial; ETR: Evapotranspiração real; DEF: Deficiência hídrica; EXC: Excedente hídrico; ARM: Armazenamento de água no solo.

CONCLUSÕES

O balanço hídrico climatológico obtido com os dados de reanálise do ERA5-Land para as 13 cidades do estado de Pernambuco em um período de 31 anos forneceu resultados importantes sobre as variáveis Precipitação total (P), Excedente hídrico (EXC), Deficiência hídrica (DEF), Evapotranspiração Potencial (ETP), Evapotranspiração Real (ETR) e Armazenamento de água no solo (ARM), proporcionando subsídios para o planejamento das atividades agrícolas e tomada de decisão dos produtores de cada mesorregião estudada.

A precipitação média mensal ao longo dos 31 anos não foi suficiente para sobrepor a ETP de janeiro a dezembro e portanto, não houve armazenamento de água no solo para a mesorregião do Sertão e dois municípios do Agreste, resultando em deficiência hídrica no solo durante esse período. O armazenamento de água no solo só foi observado na mesorregião da Zona da Mata/Litoral, devido as maiores precipitações pluviométricas nos meses de maio a agosto, resultando em maiores valores de armazenamento e de excedente hídrico nos meses de junho e julho.

Os resultados do balanço hídrico climatológico podem ser utilizados para subsidiar a tomada de decisão sobre a necessidade de irrigação. Para a mesorregião do Sertão pernambucano é aconselhável o uso de irrigação suplementar para culturas que demandem suplementação hídrica durante o período acima de cinco meses ao longo do ano, visto que o período com menor incidência de chuva foi de sete meses (junho a dezembro) ao longo do ano. Para o Agreste e Zona da Mata/Litoral, o regime de chuva foi mais bem distribuído ao longo dos meses, sendo aconselhável a suplementação hídrica nos meses de agosto a dezembro para o Agreste e de setembro a dezembro para a Zona da Mata/Litoral, devido à baixa incidência de precipitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Estimativa do balanço hídrico climatológico da bacia hidrográfica do rio Sorocaba - São Paulo. **Ambiência [online]** v. 11, n. 3, p. 513-527, 2015. DOI:10.5935/ambiencia.2015.03.01.
- ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A.; HEGEWISCH, K. C. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. **Scientific Data**, v. 5, p. 1-12, 2018. DOI: 10.1038/sdata.2017.191
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L. de.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507
- APARECIDO, L. E. O.; MORAES, J. R. S. C.; MENESES, K. C.; TORSONI, G. B.; COSTA, S. C. Caracterização Hídrica Espacial e Sazonal de Mato Grosso do Sul com Dados em Grid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 147-56, 2020a. DOI:10.1590/0102-7786351018
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; MORAES, J. R. S. C. Validation of ECMWF climatic data, 1979–2017, and implications for modelling water balance for tropical climates. **International Journal of Climatology**, v. 40, ed. 15, p. 6646-6665, 2020b. DOI: 10.1002/joc.6604
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; MORAES, J. R. S. C.; TORSONI, G. B.; MENESES, K. C.; COSTA, C. T. S. Acurácia da reanálise ERA-Interim do ECMWF e sua aplicação na estimativa da deficiência hídrica no estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.34, n.4, p.515-528, 2019. DOI: 10.1590/0102-7786344066
- ARAÚJO, C. S. P.; ALMEIDA, C. D. G. C.; LOPES, P. M. O.; SOUZA, W. M.; SILVA, L. M. C.; SILVA, M. R. B. Normal and sequential climatological water balance for the municipality of Palmares - PE by ERA-Land reanalysis. **Inovagri Meeting Virtual**. Anais. 2021.
- ARAÚJO, S. B.; SANCHES, F. O.; FERREIRA, R. V. Metodologia para validação de dados TRMM para Uberaba (MG). **Revista Entre-Lugar**, v. 8, n. 16, 2017.

- AS-SYAKUR, A. R.; TANAKA, T.; OSAWA, T.; MAHENDRA, M. S. Indonesian rainfall variability observation using TRMM multi-satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 21, p. 7723-7738, 2013. DOI: 10.1080/01431161.2013.826837
- BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos - SP v.32, n.2, p.215-226, 2017. DOI 10.1590/0102-778632120150119
- COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F.; SILVA, V. V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, ANO - 15, p. 228-243, 2019. DOI:10.5380/abclima.v24i0
- DINKU, T.; CECCATO, P.; GROVER-KOPEC, E.; LEMMA, M.; CONNOR, S. J.; ROPELEWSKI, C. F. Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 7, p. 1503-1526, 2007. DOI: 10.1080/01431160600954688
- ESSOU, G. R.; ARSENAULT, R.; BRISSETTE, F. P. -Comparison of climate datasets for lumped hydrological modeling over the continental United States. **Journal of Hydrometeorology**. n. 537, p. 334–345, 2016. DOI 10.1016/j.jhydrol.2016.03.063
- FEIDAS, H. Validation of satellite rainfall products over Greece. **Theoretical and applied climatology**. v. 99, p. 193-216, 2010. DOI: 10.1007/s00704-009-0135-8
- FERREIRA FILHO, D. F.; LIRA, B. R. P.; CRISPIM, D. L.; PESSOA, F. C. L.; FERNANDES, L. L. Análise pluviométrica no estado do Pará: comparação entre dados obtidos de estações pluviométricas e do satélite GPCC. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano. 16, v. 26, p. 541-560, 2020. DOI:10.5380/abclima.v26i0
- FRANÇA, M. V.; FERRAZ, J. X. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; ROLIM NETO, F. C. Balanço hídrico entre 2000-2016 e seu comparativo com o ano de 2016 e sua influência do armazenamento de água no solo no município de Serra Talhada – PE. Tecnologias no contexto das vulnerabilidades ambientais. 1 ed.: **Editora Itacaiúnas**, v.1, p. 357-365. 2019.
- GUEDES, M. V. Situação das áreas de reserva legal e proteção dos recursos naturais em assentamentos rurais da Mata Meridional pernambucana. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Recife, 2012.

HOLANDA, R. M.; MEDEIROS, R. M. Classificação climática pelo método de Köppen e Thornthwaite em Bom Jesus do Piauí, Brasil. **Revista Pantaneira**, v. 16, p. 57-68, 2019.

LOUZADA, F. L. R. O.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Climatological water balance with data estimated by tropical rainfall measuring mission for the doce river basin. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 3, p. 376-386, 2018. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n3p376-386/2018

MARTINS, D. S.; PAREDES, P.; RAZIEL, T.; PIRES, C.; CADIMA, J.; PEREIRA, L. S. Assessing reference evapotranspiration estimation from reanalysis weather products. An application to the Iberian Peninsula. **International Journal of Climatology** . v. 37, n. 5, p. 2378-2397, 2016. DOI: 10.1002/joc.4852

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, B. D. B.; BARROS, A. S.; DANTAS NETO, J.; SABOYA, L. M. F. Balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Barbalha – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.13, n.3 p. 973-982, 2020. DOI:10.26848/rbgf.v13.3.p973-982

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; BORGES, V. E.; SOBRINHO, T. G.; DANTAS NETO, J.; SABOYA, L. M. F. Potencial agroclimático para a cultura da mangueira no município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 12, n. 1, p. 2366-2373, 2018 DOI: 10.7127/RBAI.V12N100732.

MEDEIROS, R. M. Balanço hídrico sequencial entre 1920-2018 em Serra Talhada – PE, Brasil. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 14, n. 1, jun. 2021. ISSN: 1981-4089

MEDEIROS, R. M. Balanço hídrico sequencial em São Bento do Una – PE, Brasil, visando apoio a avicultura. **Revista de Geografia (Recife)** v. 37, n. 2, 2020. DOI: 10.51359/2238-6211.2020.244048

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M. Balanço hídrico sequencial para Lagoa Seca – Paraíba – Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7:p. 1-26, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.4691

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; VIANA, M. A.; SILVA, V. PAULO. de. Climate classification Köppen model for the state of Pernambuco – Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 3, p. 219-234, 2018.

MEDEIROS, R. M. Estudo Climático do Município de Matinhas-PB. Editora da Universidade Federal de Campina Grande – EDUFCG, p.1-150. 2016.

MEDEIROS, R. M. Caracterização de mudanças climáticas por meio de séries meteorológicas para o município de Teresina/Piauí. **Revista Pernambucana de Tecnologia**, v.2, n. 2 p.6 - 17, 2014.

OLIVEIRA, J. A. M.; OLIVEIRA, C. M. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos-MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.12, n. 6, p. 3021-3027 2019. DOI: 10.7127/rbai.v12n600901.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas - MA. **Scientia Agraria**. v. 18, p. 83-89 2017. DOI: 10.5380/rsa.v18i1.48584.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha - MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**.vol. 10, n. 4, p. 758-766 2016. DOI: 10.7127/rbai.v10n400402

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18 n. 3, p. 139-148, 2013. DOI: 10.21168/rbrh.v18n3.p139-148

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

RIBEIRO, E. P.; NASCIMENTO, G. V. S. Características climáticas e regime hídrico da microrregião de Recife, Pernambuco. **Revista Equador**, v. 9, n. 3, p. 158-177, 2020.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos:normal,sequencial,de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.

ROMANI, L.A.S.; BAMBINI, M.; COLTRI, P. P.; LUCHIARI-JUNIOR, A.; KOENIGKAN, L. V.; OTAVIAN, A. F.; EVANGELISTA, S. R. M.; ZULLO JR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. Sistema de monitoramento agrometeorológico - Agritempo: inovação em rede apoiando políticas públicas e a tomada de decisão agrícola. **Agrometeoros**, v. 24, p. 29-40, 2016. DOI: 10.31062/agrom.v24i1

SANTOS, E. F. N.; SOUZA, I. F. Análise Estatística Multivariada Da Precipitação Do Estado De Sergipe Através Dos Fatores E Agrupamentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 205-222, 2018. DOI 10.5380/abclima.v23i0.58267

SOUZA, M .H. C.; SANTOS, R. D. S.; VENTURA, K. M.; BISPO, R. C.; BASSOI, L. H. Balanço hídrico normal e sequencial para o município de Petrolina. **IV INOVAGRI International Meeting, Anais**. Fortaleza - CE, Brasil, 2017.

VIGODERIS, R. B.; CORDEIRO, D. de A.; SOUZA, W. M.; DA SILVA, J. M.; GUISELINE, C. Uso da simulação computacional como ferramenta de tomada de decisão na implantação de aviários climatizados no estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 09, n. 07, p. 2405-2415, 2016. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.7.p2405-2415>.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publication in Climatology, Laboratory of Climatology**, Centerton, N. J, v. 8 n. 1, 1955.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**, Nova Iorque, v. 38, n. 1, p. 54-101, 1948.