

ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO MENSAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE COM BASE NOS DADOS NORMAIS DO CHELSA (1973-2013)

Valéria Machado Emiliano ¹
Emerson Galvani ²
Nádia Gilma Beserra De Lima ³

INTRODUÇÃO

O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) é fundamental para a caracterização climática, analisando as entradas e saídas de água no sistema e auxiliando na gestão dos recursos hídricos e planejamento ambiental. Desenvolvido por Thornthwaite na década de 1940, o BHC avalia precipitação, evaporação e escoamento superficial, identificando períodos de deficiência e excedente hídrico (PASSOS et al., 2017). O método de Thornthwaite e Mather (1955) é eficaz para monitorar variações no armazenamento de água no solo em diferentes escalas temporais, utilizando dados climatológicos médios (CARVALHO; STIPP, 2004).

A precipitação é a principal fonte de água no BHC, enquanto a evapotranspiração, representada pela Evapotranspiração Potencial (ETP) e Real (ETR), avalia a disponibilidade hídrica, com o armazenamento de água no solo limitado pela Capacidade de Água Disponível (CAD). No Brasil, a análise climatológica frequentemente enfrenta limitações devido à baixa densidade e à qualidade da rede de monitoramento meteorológico, o que pode inviabilizar a utilização eficaz dessas ferramentas. Dessa maneira a utilização de dados meteorológicos oriundos de produtos orbitais, vem ganhando destaques na climatologia geográfica (CORREIA FILHO et al., 2019; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021; PINTO et al., 2009; NASCIMENTO et al., 2020).

¹Mestranda do Programa de Pós Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo - USP, valeriamachadoemiliano@usp.br;

²Professor Doutor do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo - USP, egalvani@usp.br;

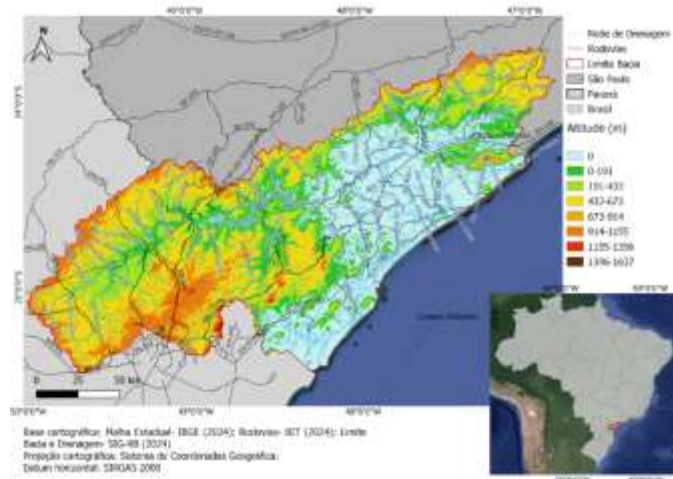
³Professora Doutora do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo - USP, nadiagilma@gmail.com;

Portanto, este trabalho utiliza dados de precipitação e temperatura do CHELSA (Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas) para estimar a evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e armazenamento de água no solo (ARM) na bacia do rio Ribeira de Iguape, empregando a planilha de BHC de Sentelhas et al. (1998). A estimativa do BHC fornecerá informações valiosas sobre a variabilidade hidrológica regional e subsidiará a gestão sustentável dos recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape ocupa o setor leste do estado do Paraná e áreas a sudeste do estado de São Paulo (Figura 1). A bacia cobre uma área total de aproximadamente 25.000 km², dos quais 62% pertencem ao estado de São Paulo, abrangendo 23 municípios, e 38% ao estado do Paraná, cobrindo 9 municípios. A população total na porção paulista da bacia é de aproximadamente 452 mil habitantes, dos quais 234 mil vivem em áreas urbanas (SBH-RB, 2016).

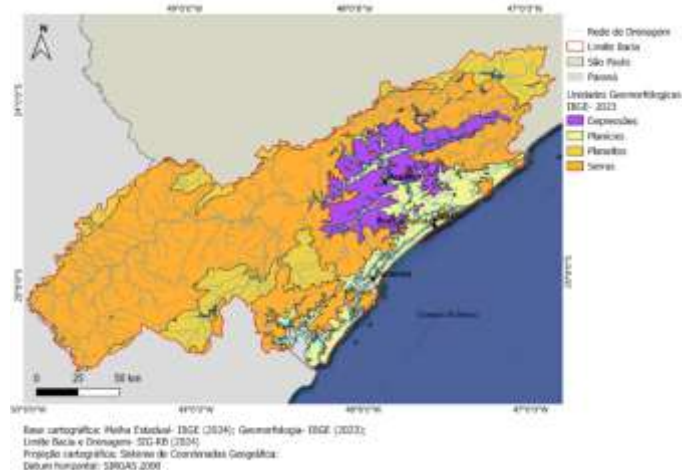
Figura 1: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape.



Fonte: Elaborado por autores (2024)

A análise espacial da bacia, conforme evidenciado pelos mapas de localização (Figura 1) e relevo (Figura 2), indica uma predominância de serras, complementada por áreas de planaltos e depressões, que modulam a distribuição de temperaturas e precipitações.

Figura 2: Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape.



Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

A distribuição espacial dos postos pluviométricos na área de estudo apresentou uma cobertura não homogênea, o que comprometeria a análise climatológica detalhada. Para superar a cobertura não homogênea dos postos pluviométricos na área de estudo, utilizou-se o modelo CHELSA para estimar dados de precipitação. Este modelo, descrito por Karger et al. (2017), combina dados de reanálise climática, sensoriamento remoto e observações de estações meteorológicas, ajustando variáveis essenciais como temperatura e precipitação para uma resolução espacial de aproximadamente 1 km².

A validação dos dados do CHELSA foi realizada comparando-os com os dados de 29 postos pluviométricos do DAEE e da ANA. Utilizando a ferramenta Point Sampling Tools no QGIS, os dados de precipitação estimada foram extraídos das localizações dos postos. A acurácia dos dados foi avaliada por meio de estatísticas como: Erro Médio Absoluto (MAE), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), Viés do estimador (ou Bias), Coeficiente Determinação (R^2), seguindo a metodologia de Soares (2023).

Com os dados validados, foi estimado o BHC mensal para a normal climatológica de 1973-2013 na bacia do rio Ribeira de Iguape. O cálculo do BHC, baseado no método de Thornthwaite & Mather (1955), foi realizado usando a planilha desenvolvida por Sentelhas et al. (1998), que também permite a determinação dos valores de excedente e déficit hídrico. Essa abordagem é amplamente utilizada em estudos climáticos (COLLI et al., 2021; NOVAIS et al., 2018; FENNER et al., 2000; SCHUTZE et al., 2013).

Para a aplicação do BHC, foram selecionados 127 pontos de coordenadas fornecidos pelo SIG-RB, correspondentes a pontos de monitoramento da URGHI-11. As coordenadas foram usadas para extrair, com a ferramenta Point Sampling Tools no QGIS, dados de precipitação, temperatura do CHELSA e a CAD fornecida pela ANA. Assim, o BHC foi estimado para essas 127 localidades.

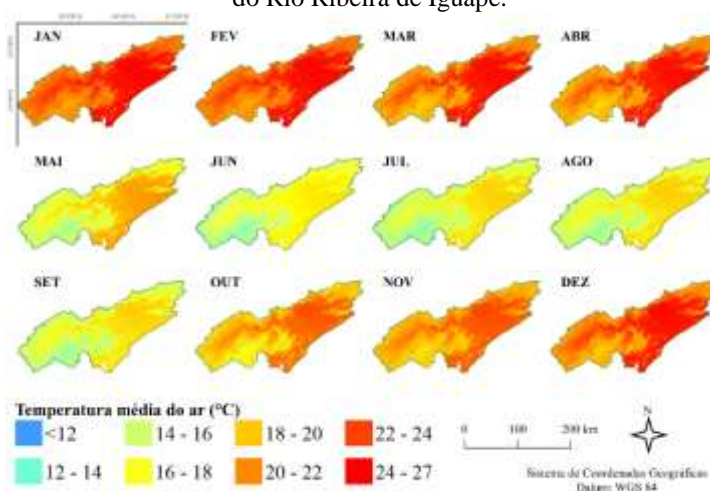
Os dados de excedente hídrico obtidos foram interpolados usando Krigagem Ordinária no software SAVA, um método reconhecido pela precisão na interpolação espacial de variáveis geográficas (GALLARDO, 2006; BARATTO et al., 2017; FURTADO et al., 2017; CARVALHO et al., 2012; VIOLA et al., 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, localizada ao sul de São Paulo e ao norte do Paraná, é uma área de estudo relevante devido à sua complexidade física e climática. Com uma precipitação média anual de cerca de 1600 mm e uma temperatura média de 20,4 °C, a bacia apresenta uma diversidade de tipos de relevo (Figura 2), incluindo planaltos, serras, planícies e depressões.

A espacialização da temperatura mensal (Figura 3), baseada na média histórica de 1973 a 2013, demonstra uma variação de 9 a 27 °C. Essa variação sazonal é consistente ao longo do ano, com temperaturas mais elevadas observadas em planícies e depressões, atribuídas à menor altitude e maior exposição à radiação solar.

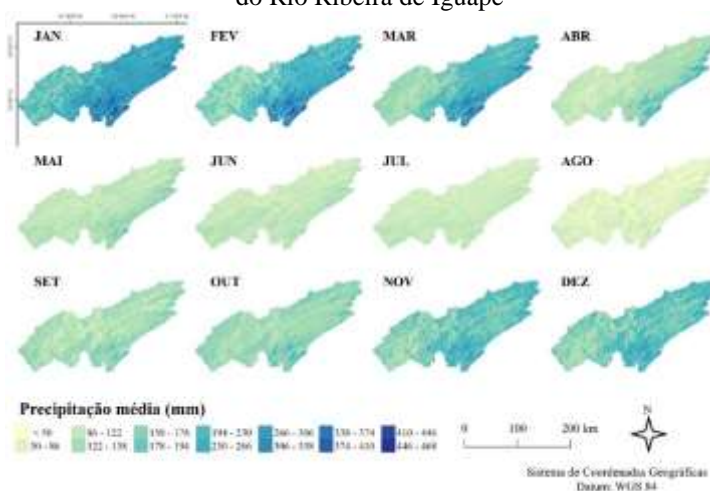
Figura 3: Temperatura Média Mensal da Normal Climatológica (1973-2013) para a Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape.



Fonte: Dados de temperatura CHELSA. Elaborado por autores (2024).

Os dados de precipitação mensal (Figura 4), para o período de 1973 a 2013, variam de 44 a 468 mm ao longo do ano. Observa-se um padrão sazonal claro, com maiores precipitações em janeiro, fevereiro e março, durante o verão, e menores em junho, julho e agosto, no inverno. As áreas de planície costeira recebem precipitações mais abundantes durante o ano, devido ao efeito orográfico e à proximidade com o oceano, corroborado por Sant'Anna Neto (2005), que aponta a influência das serras elevadas na intensificação das chuvas locais por captação de ventos úmidos do oceano.

Figura 4: Precipitação Média Mensal da Normal Climatológica (1973-2013) para a Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape



Fonte: Dados de precipitação CHELSA. Elaborado por autores (2024).

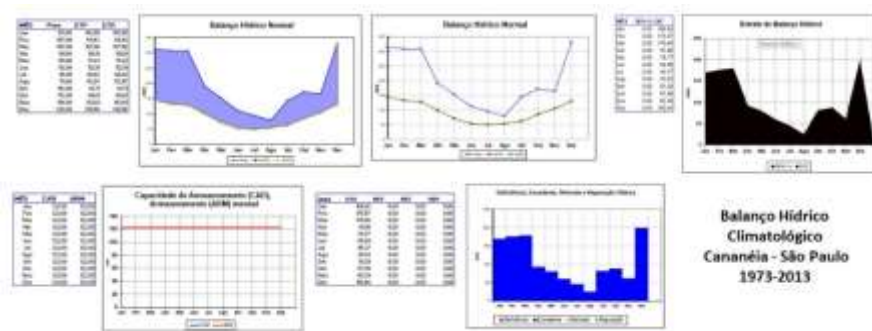
A validação dos dados do CHELSA com as observações dos 29 postos pluviométricos da ANA e DAEE mostrou boa concordância, com MAE variando de 9,4 mm a 30,5 mm e RMSE entre 12,7 mm e 37,8 mm. O coeficiente de determinação (r^2) médio anual foi de 96%, variando entre 91,8% e 99,4%, indicando uma forte correlação entre os dados estimados e observados, apesar de algumas superestimções ou subestimções pontuais. A diferença total na precipitação foi de apenas 1,08%, com CHELSA registrando uma média anual de 1575,6 mm comparada a 1592,9 mm dos postos pluviométricos, confirmando a adequação dos dados do CHELSA para estudos climáticos na bacia do rio Ribeira de Iguape.

O BHC aplicado à bacia revelou padrões variados de excedência e deficiência hídrica entre as 127 localidades analisadas. Neste estudo, destacam-se duas localidades: uma com a maior excedência hídrica e outra com as maiores deficiências hídricas. A

área de estudo é caracterizada por precipitações elevadas, o que resulta em poucas localidades apresentando deficiências hídricas significativas.

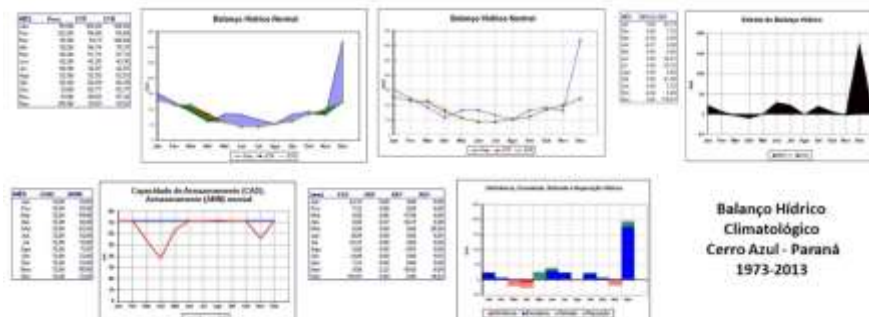
Em Cananéia, SP (Figura 5), observou-se uma excedência hídrica contínua ao longo do ano, com as curvas de ETP e ETR quase sobrepostas, indicando que a água perdida para a atmosfera está próxima da capacidade máxima teórica de perda. Esse padrão é sustentado por elevadas precipitações e um armazenamento de água no solo próximo à CAD, com dezembro sendo o mês com o maior excedente hídrico.

Figura 5: Extrato da estimativa do Balanço Hídrico Climatológico Normal 1973-2013 Cananéia (SP)



Cerro Azul, PR, destacou-se pela maior deficiência hídrica entre as localidades analisadas (Figura 6). A análise do balanço hídrico revelou deficiência em março, abril e novembro, quando a CAD superou o armazenamento de água no solo. Nos outros meses, predominou um excedente hídrico menor, exceto em dezembro, que registrou o maior excedente.

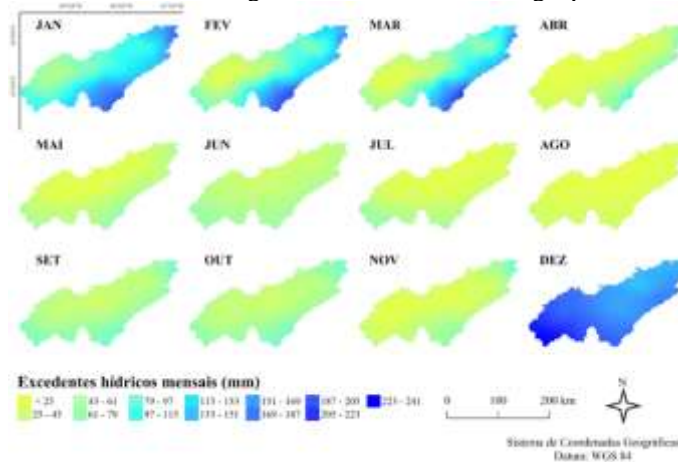
Figura 6: Extrato da estimativa do Balanço Hídrico Climatológico Normal 1973-2013 Cerro Azul (PR)



A espacialização do balanço hídrico climatológico mostra que os maiores excedentes hídricos ocorrem em janeiro, fevereiro, março e dezembro, enquanto agosto tem o menor excedente (Figura 7). A proximidade do oceano e o efeito orográfico nas

planícies costeiras resultam em precipitações mais elevadas e maior acúmulo de água, enquanto áreas serranas apresentam menores excedentes hídricos devido à variabilidade espacial das precipitações provocada pelo relevo.

Figura 7: Espacialização dos Excedentes Hídricos Mensais na Normal Climatológica (1973-2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A análise do balanço hídrico climatológico para a bacia do rio Ribeira de Iguape destacou a influência do relevo e da proximidade ao oceano na distribuição das precipitações e na variabilidade hídrica. A validação dos dados do CHELSA comprovou sua utilidade em estudos regionais. No entanto, a espacialização das deficiências hídricas foi limitada pela variabilidade pluviométrica, sugerindo que técnicas mais recentes de sensoriamento remoto poderiam aprimorar as estimativas e fornecer subsídios mais robustos para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape evidenciaram a complexidade da distribuição espacial e temporal das variáveis climáticas, como precipitação e temperatura, fortemente influenciadas pelo relevo e pela proximidade com o oceano. A validação dos dados do CHELSA em relação aos dados observacionais das estações pluviométricas indicou uma boa concordância, confirmando a adequação do modelo para estudos climáticos na região. No entanto, os resultados também sugerem que a aplicação de técnicas mais recentes de balanço hídrico, aliadas ao sensoriamento remoto, pode fornecer estimativas ainda mais precisas, contribuindo

para uma melhor compreensão dos processos hidrológicos e para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

A continuidade desse tipo de pesquisa é fundamental, especialmente em áreas com alta variabilidade climática, como a bacia do rio Ribeira de Iguape, oferecendo subsídios essenciais para o planejamento ambiental e a adaptação às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Climatologia regional; Variabilidade hídrica; Sensoriamento remoto Precipitação sazonal; Gestão de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- BARATTO, J.; WOLLMAN, C.A. Espacialização da precipitação pluviométrica total anual da Bacia hidrográfica do Alto Jacuí RS. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Campinas, SP., v.1, n. 17, p.7437-7448, 2017.
- CARVALHO, S. M., & STIPP, N. A. F. (2010). Contribuição ao estudo do balanço hídrico no estado do Paraná: uma proposta de classificação qualitativa. **GEOGRAFIA** (Londrina), 13(1), 57–72. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2004v13n1p57>.
- CARVALHO, J.R.P. de; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1235-1242, 2012.
- COLLI, A. dos R.; NOVAIS, G. T. Mesoclimas do Distrito Federal. In: **VIII Congresso De Ensino Pesquisa E Extensão Da Ueg**, 8., 2021, Goiânia. Anais [...] . Goiânia: Ueg, 2021. p. 1-5.
- CORREIA FILHO, W. L. F.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de; SANTIAGO, D. de B.; TERASSI, P. M. de B.; TEODORO, P. E.; GOIS, G. de; BLANCO, C. J. C.; SOUZA, P. H. de A.; COSTA, M. da S.; GOMES, H. B. Rainfall variability in the Brazilian northeast biomes and their interactions with meteorological systems and ENSO via CHLSA product. **Big Earth Data**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 315-337, 2 out. 2019. <http://dx.doi.org/10.1080/20964471.2019.1692298>.
- FENNER, W.; PALHANA MOREIRA, P. S.; DA SILVA FERREIRA, F.; DALLACORT, R.; MIRANDA DE QUEIROZ, T.; SILVA BENTO, T. Análise Do Balanço Hídrico Mensal Para Regiões De Transição De Cerradofloresta E Pantanal, Estado De Mato Grosso. **Acta Iguazu**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 72–85, 2000. DOI: 10.48075/actaiguazu.v3i1.9649.
- FURTADO, L.G.; PEREIRA, C.B.; CASTRO, A.R.C. Análise de métodos de interpolação para espacialização da precipitação pluviométrica da região metropolitana de Belém e Nordeste Paraense. **XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositarta**, Rio de Janeiro-RJ, p.239-242, 2017.
- GALLARDO, A. **Geostatística Ecosistemas**, Mósteles, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2006.
- KARGER, D.N.; CONRAD, O.; BÖHNER, J.; KAWOHL, T.; KREFT, H.; SORIA-AUZA, R.W.; ZIMMERMANN, N.E.; LINDER, H.P.; KESSLER, M. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. **Sci. Data** 2017, 4, 170122.
- NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée: Revista De Geografia Da UEG**, -, v. 9, n. 2, p. 1-39, 1 jul. 2020. Disponível em:

<https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10854>. Acesso em: 04 jun. 2024.

NOVAIS, G. T.; BRITO, J. L. S.; SANCHES, F. de O. Unidades Climáticas Do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 23, p. 223-243, 23 out. 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58520> .

SCHUTZE, I. X.; HERNANDEZ, F. B. T.; FEITOSA, D. G.; SILVA, Y. de F. da. Balanço Hídrico No Noroeste Paulista Em 2012. In: **XLII Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola**, 42., 2013, Fortaleza. Anais [...] . Fortaleza: Conbea 2013, 2013. p. 1-4. Disponível em: https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/conbea2013/conbea_2013_balancohidrico.PDF. Acesso em: 04 jun. 2024.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de; SOUZA, P. H. de A.; SOUZA, E. de O.; VANDERLEI, M. H. G. dos S.; CORREIA FILHO, W. L. F.; SANTOS, C. T. B. dos; BATISTA, B. A.; SANTIAGO, D. de B.; GOIS, G. de. Climatologia da Chuva em Maceió: aspectos climáticos e ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 2253-2264, 12 ago. 2021. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2253-2264>.

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, n. 1, p. 83-89, abr. 2017. ISSN 1983-2443. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i1.48584>.

PINTO, L. I. C.; COSTA, M. H.; LIMA, F. Z. de; DINIZ, L. M. F.; SEDIYAMA, G. C.; PRUSKI, F. F. Comparação de produtos de precipitação para a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 24, n. 4, p. 461-472, dez. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862009000400008>.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo Climático e a gênese das chuvas na Zona Costeira Paulista**. 1990. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SENTELHAS, P. C., ROLIM, G. S., 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.

SOARES, Lucas Pereira. **As Chuvas No Estado Do Pará, Brasil**: classificação climática de abordagem geográfica. 2023. 1 v. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

THORNTHWAITE, C.W. e MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, v.8, 1955, 104 p.

VIOLA, M.R.; MELLO, C.R. de; PINTO, D.B.F.; MELLO, J.M. de; ÁVILA, L.F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.970-978, 2010.