



Artigo

Avaliação dos Dados de Reanálise do *Climatic Research Unit* (CRU) e do *5th Generation of European Reanalysis* (ERA5) no Monitoramento Probabilístico Padronizado da Seca

Edimar Pereira dos Santos Junior^{1,2}, Gabriel Constantino Blain¹ ,
Ana Carolina Freitas Xavier^{1,3} 

¹*Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical do Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP, Brasil.*

²*Fundação Parque Tecnológico de Itaipu, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.*

³*Instituto Tecnológico Vale, Belém, PA, Brasil.*

Recebido em: 10 de Março de 2022 - Aceito em: 21 de Junho de 2022

Resumo

Este estudo objetivou avaliar o uso dos dados provenientes do *Climatic Research Unit* (CRU) e do *5th Generation of European ReAnalysis* (ERA5) para o monitoramento da seca no estado de São Paulo por meio do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) e do Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI). Foram utilizados dados de precipitação mensal (P) para o cálculo do SPI e de temperatura do ar para estimar a evapotranspiração potencial (ETp) para o SPEI nas escalas de 1, 6 e 12 meses. Utilizou-se análises de ajuste paramétricos e concordância para avaliação e comparação com dados de estações de superfície. Os resultados indicam que os dados do CRU (P e ETp) apresentam baixa correlação com os dados das estações. Os dados do SPI e SPEI obtidos por meio do CRU e ERA5 apresentaram correlação ligeiramente maior no inverno na escala de tempo mensal. Um estudo de caso da crise hídrica de 2014 mostrou que os índices calculados a partir dos dados da CRU subestimaram o episódio da seca. Por outro lado, os índices calculados a partir dos dados ERA5 superestimaram a seca. Dessa forma, conclui-se que os dados de reanálise não podem ser utilizados diretamente para o monitoramento da seca.

Palavras-chave: dados de reanálise, índices de seca, São Paulo.

On The Suitability of Data From The Climatic Research Unit (CRU) and *5th Generation of European Reanalysis* (ERA5) For Monitoring Drought Events Under a Probabilistic Framework

Abstract

The aim of this study was to evaluate the suitability of the Climatic Research Unit (CRU) and the *5th Generation of European ReAnalysis* (ERA5) for calculating both SPI and SPEI and, hence, for drought monitoring in the state of São Paulo. Monthly precipitation (P) and air temperature data were used to calculate the SPI and the SPEI at time scales of 1, 6 and 12 months. Goodness-of-fit tests and indices of agreement were used in this study. It was observed low agreement between data provided by the CRU (P and P-ETP) and data from the surface stations. However, the SPI and SPEI estimates presented a slightly higher agreement, especially in the winter months at the monthly time scale. Equivalent results were found for the ERA5 data. A case study on the water crisis of 2014 showed that the drought indices calculated from the CRU data underestimated the drought episode. On the other hand, the indices calculated from ERA5 data overestimated the drought. Therefore, we concluded that the reanalysis data cannot be directly used for drought monitoring in the state of São Paulo.

Keywords: reanalysis data, drought indices, São Paulo.

1. Introdução

A agricultura é um setor fortemente afetado por extremos climáticos como secas, enchentes, geadas dentre outros, sendo que a seca é tida como a maior adversidade para o setor agrícola (Wilhite e Glantz, 1985; Brunini *et al.* 2005; Sentelhas e Monteiro, 2009; Conti, 2011; Marengo e Alves, 2016). Entre os anos de 1991 e 2005 aproximadamente 200.000 pessoas foram diretamente afetadas pela seca no estado de São Paulo (CEPED UFSC, 2013). Recentemente o boletim Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil de Novembro de 2021 informou que o estado de São Paulo foi o mais afetado pela seca sendo que dos 645 municípios, 385 tiveram mais de 40% das áreas agroprodutivas afetadas e em 94 desses municípios a área sob seca ultrapassou 80% (CEMADEM, 2021). Além disso Coelho *et al.* (2016) indicam que a região sudeste é a maior geradora de energia por hidroelétricas e as secas frequentes nessa região afetam a geração de energia, encarecendo a produção ao forçar o acionamento de termoeletricas como ocorreu na seca de 2014/2015 e, em casos mais graves, como na seca de 2001, levando a falta de energia no sistema elétrico ocasionando apagões generalizados.

Em relação ao conceito de seca, esse fenômeno pode ser definido como um período de deficiência de água duradouro e fora da curva normal, ou seja, que distancia-se da média histórica (Palmer, 1965). A seca também pode ser definida como um déficit na precipitação (McKee *et al.*, 1993) impossibilitando a reposição das perdas por evapotranspiração (Conti, 2011). Valiente (2001) menciona que a definição de seca muda de acordo com a região geográfica e as características do clima local. Com isso, não é possível estabelecer uma definição de seca válida para todos os seus impactos (Wilhite e Glantz, 1985).

Nesse contexto, diversos autores têm trabalhado com diferentes tipos de seca, tais como a seca meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica (Palmer, 1965; Wilhite e Glantz, 1985; Heim Jr., 2002; Blain e Brunini, 2006). A partir destas definições, foram desenvolvidas ferramentas para o monitoramento do déficit de precipitação como os índices de seca ou *Standardized Drought Indices* (SDI's) sendo o mais conhecido deles o *Standardized Precipitation Index* (SPI), desenvolvido por McKee *et al.* (1993). Outro índice que vem sendo amplamente utilizado é o *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* (SPEI) desenvolvido por Vicente-Serrano *et al.* (2010).

Cabe destacar que tanto o SPI como o SPEI exigem séries de dados de pelo menos 30 anos e que cubram boa parte da área estudada. Camparotto *et al.* (2013) e Xavier *et al.* (2016) comentam que no Brasil as estações são muito espaçadas, irregularmente distribuídas que gera incertezas nas pesquisas científicas que dependem desses dados. Beck *et al.* (2017) indicam que os dados de precipitação são de suma importância para estudos climáti-

cos, mas ao mesmo tempo difíceis de medir, apontando para alternativas como os dados em grade.

Nesse contexto, os dados de reanálise surgem como uma alternativa para preencher as falhas ou até mesmo substituir os dados das estações de superfície. Esses dados reúnem o estado-da-arte dos dados climatológicos através da compilação de informações provenientes de diversas fontes como estações meteorológicas automáticas e convencionais, navios, aviões, radares e satélites que podem ser interpolados por meio de modelos matemáticos ajudando a estimar dados para onde não existem meios de medição (Kalnay *et al.*, 1996; Pinto *et al.*, 2009).

Atualmente diversos bancos de dados climatológicos de reanálises organizados em grade estão disponíveis como por exemplo o *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC; Pinto *et al.*, 2009; Limberger e Silva, 2018; Torres *et al.*, 2020), o *European Center for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF; Prado *et al.*, 2018; Aparecido *et al.*, 2019) e o CPTEC (Pinto *et al.*, 2009; Torres *et al.*, 2020). Além de muitos outros amplamente utilizados no Brasil e no mundo, vide (Camparotto *et al.*, 2013; Salviano *et al.*, 2016; Xavier *et al.*, 2016; Torres *et al.* 2020; Alves *et al.*, 2021).

Dentre tantos ganha destaque o *Climatic Research Unit* (CRU), com séries de mais de 100 anos e resolução espacial de grade de 0,5° de latitude e longitude. Outro banco de dados que vem ganhando destaque é o 5th *Generation of European ReAnalysis* (ERA5), com séries de 40 anos e resolução espacial de grade de 0,25° de latitude e longitude. Estes bancos vêm sendo amplamente utilizados por pesquisas científicas ao redor do globo, inclusive para estudos de seca, sem a averiguação dos preceitos de normalidade ou ajuste à distribuição paramétrica exigidos pelos SID's. Este trabalho teve por objetivo avaliar a adequação dos dados do CRU e do ERA5 para o monitoramento da seca no estado de São Paulo.

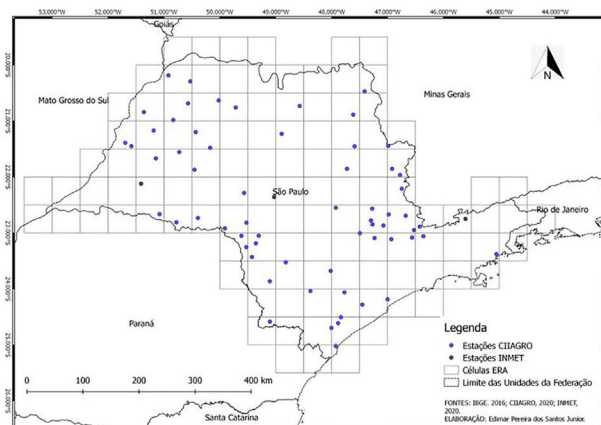
Para tanto, foram utilizados os índices SPI e o SPEI, supondo que, ao inserir os dados de entrada (precipitação para o SPI e P-ETP para o SPEI) na equação probabilística padronizada comum aos dois índices, qualquer erro sistemático presente nos dados possa ser suprimido, incrementando a qualidade dos estudos de seca.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo foi o estado de São Paulo (Fig. 1), que possui clima tropical e subtropical e, portanto, uma grande diversidade de tipos climáticos sendo os principais os tipos Úmidos, Subúmidos e Superúmidos, B, C e A, respectivamente, pela classificação de Thornthwaite (Rolim *et al.*, 2007). Blain (2009), tendo aplicado a distribuição gama à oito estações e analisado seu parâmetro de forma, apontou que nos meses de novembro a março

A) Climatic Research Unit (CRU)



B) 5th Generation Of European ReAnalysis (ERA5)

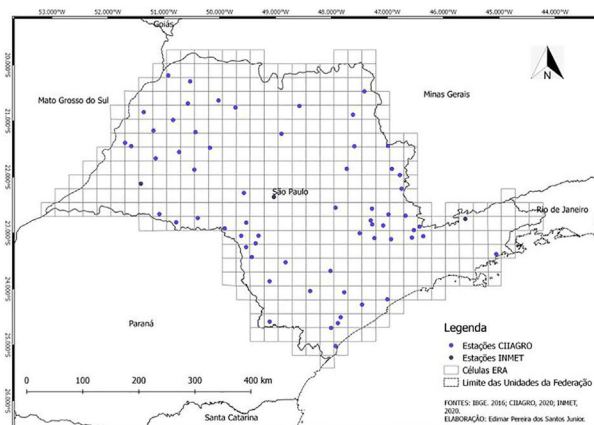


Figura 1 - Configuração do CRU e do ERA5 e a distribuição das estações da ANA, CIAGRO e INMET na área de estudos.

(verão) essas distribuições aproximam-se da forma normal ou gaussiana, sendo comuns altos valores de pluviosidade que são frequentemente registrados. Esse autor também alerta que secas meteorológicas (veranicos) podem ser bastante prejudiciais à agricultura nesse período. Durante o inverno, por outro lado, essas distribuições de frequência assumem a forma exponencial de “j” invertido e alerta que os baixos valores de chuva nesse período podem não ajudar na recuperação de secas que tenha se iniciado em períodos anteriores.

2.2. Dados

Foram utilizados dados de precipitação média mensal e temperatura do ar de 119 pontos do CRU (versão 4.03, Fig. 1 A). Este banco de dados em grade reúne dados de diversas instituições como o *Global Historical Climatology Network*, da *National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA)* e do *U. K. Meteorological Office*, oferecendo uma gama de variáveis na base mensal como temperatura do ar, precipitação, dias de chuva, cobertura de nuvens, entre outros (New *et al.*, 2000; Harris *et al.*, 2014). Os dados são de acesso gratuito pela University of East Anglia.

Estudos apontam que o CRU apresenta bom desempenho em representar variáveis climáticas em diversas regiões do mundo como na Zâmbia (Tirivarombo *et al.*, 2018), na região do Himalaia (Verma e Ghosh, 2019), no Paquistão (Ullah *et al.*, 2020) e China (Wang *et al.*, 2021). No Brasil o CRU apresentou bom desempenho em representar dados de precipitação e temperatura tanto em território nacional (Salviano *et al.*, 2016) como também em regiões específicas como a Amazônia (Limberger e Silva, 2018).

Foram utilizadas também 420 séries do *5th Generation of European ReAnalysis (ERA5)* (Fig. 1 B). Este banco de dados possui resolução temporal de 1 hora e uma

grande gama de dados climatológicas como temperatura do ar, precipitação velocidade do vento entre outras, dispostos em 137 camadas da atmosfera o que confere ao ERA5 a capacidade de detectar fenômenos atmosféricos mais sutis que outros bancos de dados (Hersbach *et al.*, 2020). Os dados do ERA5 também são de acesso livre.

O ERA5 possui bom desempenho em representar variáveis climáticas diversas como a velocidade do vento, temperatura do ar, precipitação e evapotranspiração em diversas regiões do globo incluindo o Brasil (Dullaart *et al.*, 2020; Di Napoli *et al.*, 2020; Karimi *et al.*, 2020; Souza e Reboita, 2020; Ullah *et al.*, 2020).

Para a comparação, foram compilados dados de 60 estações do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO), 3 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), totalizando 63 estações meteorológicas com dados de precipitação e temperatura do ar. De forma complementar, foram compiladas mais 56 estações da Agência Nacional de Águas (ANA) com dados apenas de precipitação, utilizadas para o cálculo do SPI, totalizando 119 estações.

Os dados de reanálise do CRU e do ERA5 foram submetidos à análise visual para identificação de inconsistências. Posteriormente foram submetidos à testes de homogeneidade (*Standard Normal Homogeneity Test*, Pettitt e Buishand) e classificados em séries úteis, duvidosa ou suspeita conforme metodologia descrita por Wijngaard *et al.* (2003). Os testes foram aplicados aos últimos 60 anos e 30 anos das séries do CRU. Os primeiros 40 anos foram descartados por apresentarem inconsistências que impossibilitam seu uso. As séries do ERA5 foram testadas para os 40 anos disponíveis. As comparações entre os dados de reanálise do CRU e do ERA5 com os dados das estações foi limitada de acordo com a disponibilidade das séries temporais que variou de 11 a 26 anos, ou seja, o maior período comparado foi de 1996 a 2019 e o menor período foi de 2008 a 2019.

2.3. Índices padronizados de seca

O SPI permite a comparação da severidade da seca em diferentes localidades e escalas de tempo devido sua natureza probabilística padronizada e a sua premissa de normalidade (Wu *et al.*, 2007; e Blain *et al.*, 2018; Gonçalves *et al.*, 2021). Outra vantagem deste índice é a exigência apenas de dados de precipitação, mais abundantemente disponíveis (McKee *et al.* 1993). Esse índice é amplamente utilizado para o monitoramento da seca no Brasil pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) por meio do INFOSECA entre outros. Na América Latina é utilizado por pelo menos 5 países como Argentina, Chile, Colômbia, Uruguai e Venezuela. O SPEI é baseado no mesmo algoritmo multiescalar do SPI, mas o dado de estrada do SPEI é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (P-ETP).

Foram definidas as escalas de tempo de 1, 6 e 12 meses como as mais usuais e, portanto, as escalas de tempo utilizadas nessa pesquisa. Para o cálculo do SPI, Wu *et al.* (2007) mencionam que é necessária a definição de uma distribuição que torne os dados homogêneos no tempo e no espaço. Blain *et al.* (2017) demonstraram que a distribuição gama é adequada para o estado de São Paulo, essa distribuição também é utilizada por Wu *et al.* (2017), Blain e Kayano (2011) Blain (2012), Stagle *et al.* (2015) entre outros. Os dados de precipitação do CRU, ERA5 e estações meteorológicas foram inseridos na Eq. (1):

$$H(PRE) = \left(\frac{m}{N}\right) + \left[1 - \left(\frac{m}{N}\right)\right]G(x) \quad (1)$$

na qual, N é o número total de dados; m é o número de zeros existente em cada série e $G(x)$ pode ser obtido por meio da Eq. (2):

$$G(x) = \int_0^x g(x) \quad (2)$$

E $g(x)$, por sua vez, pode ser obtida pela Eq. (3):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (3)$$

Para o cálculo do SPEI foram utilizados dados de temperatura média mensal para a obtenção de valores de evapotranspiração potencial por meio do método de Thornthwaite que mostra bom desempenho para as escalas de tempo superiores a mensal (Camargo e Sentelhas, 1997).

Para a obtenção do SPEI a distribuição generalizada logística pode ser utilizada (Blain *et al.*, 2017). Os dados de precipitação e evapotranspiração (P-ETP) foram inseridos nas Eqs. (4)-(6).

$$F(x) = \frac{\alpha^{-1} e^{-(1-k)/y}}{(1 + e^{-y})^2} \quad (4)$$

$$y = -k^{-1} \log \left\{ 1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right\}, k \neq 0 \quad (5)$$

$$y = \frac{(x - \xi)}{\alpha}, k = 0 \quad (6)$$

Os valores de SPI e SPEI foram obtidos inserindo os dados das respectivas probabilidades cumulativas das variáveis de entrada no sistema de Eqs. (7)-(8) ou (9)-(10) de acordo com o valor de $[H(\cdot)]$.

$$SDI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (7)$$

para $0 < H(\cdot) \leq 0,5$

$$SDI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (8)$$

para $0,5 < H(\cdot) < 1$

onde SDI é o *standard drought index* (SPI ou SPEI); $c_0 = 2,515517$; $c_1 = 0,802853$; $c_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$ e $d_3 = 0,001308$. O valor de t pode ser definido por meio da Eq. (9) ou Eq. (10), variando de acordo com o caso:

$$t = \sqrt{\left(\ln \frac{1}{(H(\cdot))^2} \right)} \quad \text{para } 0 < H(\cdot) \leq 0,5 \quad (9)$$

$$t = \sqrt{\left(\ln \frac{1}{(1 - H(\cdot))^2} \right)} \quad \text{para } 0,5 < H(\cdot) < 1 \quad (10)$$

2.4. Avaliação

Foi verificado o ajuste dos dados de entrada às respectivas distribuições paramétricas. Para tal o teste de Kolmogorov-Smirnov é o mais utilizado (Stagle *et al.*,

Tabela 1 - Valores e Classes do SPI e SPEI.

Valores do Índice	Categoria
$\geq 2,00$	Extremamente úmido
1,50 a 1,99	Severamente úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,10 a 0,99	Umidade incipiente
-0,99 a 0,09	Seca incipiente
-1,49 a -1,00	Moderadamente seco
-1,99 a a-1,50	Severamente seco
$\leq -2,00$	Extremamente seco

Fonte: Adaptado de McKee *et al.* (1993).

2015), mas devido às limitações quanto aos parâmetros das distribuições, optou-se por utilizar a adaptação proposta, a qual é usualmente chamada de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors ou, simplesmente, teste de Lilliefors (Blain, 2014).

A normalidade das séries de SPI e SPEI foi verificada por meio da metodologia proposta por Wu *et al.* (2007) que assume que uma série possui distribuição não normal quando o teste de Shapiro-Wilk apresenta valor menor que 0,96 (estatística W), p-valor inferior à 0,10 e valor absoluto da mediana, das séries dos índices, maior que 0,05.

Para a comparação entre os dados de reanálise foi adotado o Índice de Concordância de Willmott Modificado (Dmod). O Dmod é um índice rigoroso que permite comparar a concordância entre duas variáveis. Os valores do Dmod variam entre 0 e 1 sendo que quanto mais próximo de 1, maior é a concordância entre as variáveis e, quanto mais próximo de 0, menor é a concordância (Willmott, 1981). Também foi utilizado, de maneira complementar, o Índice D de Willmott Original (Dorig), menos rigoroso, pois contém a função quadrática em sua equação, fazendo com que os valores sejam mais elevados que os do Dmod. Maiores detalhes sobre essas diferenças e sobre o algoritmo utilizado para o cálculo do Dmod e Dorig por meio do software R podem ser encontrados em Pereira *et al.* (2018). Além do Dorig, o Erro Médio Absoluto (EMA) foi utilizado como medida complementar.

Para o cálculo dos índices, os dados foram analisados no software R Studio, por meio de algoritmos em linguagem S. Os algoritmos foram desenvolvidos e adaptados especialmente para essa pesquisa, mas também foi utilizado o *package* SPEI.

Foi realizado um estudo de caso tendo como foco o episódio de seca que levou à crise hídrica de 2014 no estado de São Paulo. Na ocasião pelo menos 70 cidades tiveram problemas com o abastecimento de água o que afetou cerca de 13 milhões de pessoas (Tomazela, 2014). Além disso, a queda no nível dos reservatórios forçou a

redução na produção de energia em usinas hidroelétricas da região e a baixa vazão dos rios prejudicou o fluxo nas principais hidrovias do estado como a Tietê-Paraná (Ramalho, 2015).

3. Resultados

Apesar de os dados do CRU disponibilizarem séries de mais de 100 anos, foi verificado que muitas séries de precipitação apresentam inconsistências em seus dados (Fig. 2) o que levou à necessidade de recortá-las para os últimos 40 anos. Os dados de precipitação do ERA5 também apresentam inconsistência, no caso uma superestimação de dados de precipitação nos meses mais chuvosos (Fig. 3).

De acordo com os testes de homogeneidade, cerca de 99% das séries de precipitação dos últimos 60 anos do CRU foram consideradas úteis para todos os meses, exceto janeiro, que apresentou cerca de 20% de séries suspeitas e cerca de 5% de séries duvidosas. Para os últimos 30 anos cerca de 98% das séries de precipitação foram classificadas como úteis em todos os meses. Das séries de temperatura dos últimos 60 anos foram registradas cerca de 30% de séries classificadas como suspeitas e duvidosas nos meses de maio a julho. Já para os últimos 30 anos fevereiro apresentou cerca de 80% de séries duvidosas, outubro apresentou pouco mais de 60% de séries duvidosas, março, julho, setembro e dezembro também apresentaram muitas séries duvidosas, os outros meses apresentaram mais de 80% de séries úteis. Quanto ao ERA5, mais de 80% das séries foram classificadas como úteis em todos os meses. Das séries de precipitação apenas janeiro, março, maio, julho, outubro, novembro e dezembro apresentaram mais de 80% de séries úteis, os outros meses apresentaram entre 60 e 70% de séries úteis.

A aderência das séries de precipitação do CRU à distribuição gama em todas as escalas de tempo (Fig. 4) foi verificada em não menos que 65% das séries em todos os meses. Para os acumulados mensais, notou-se que os

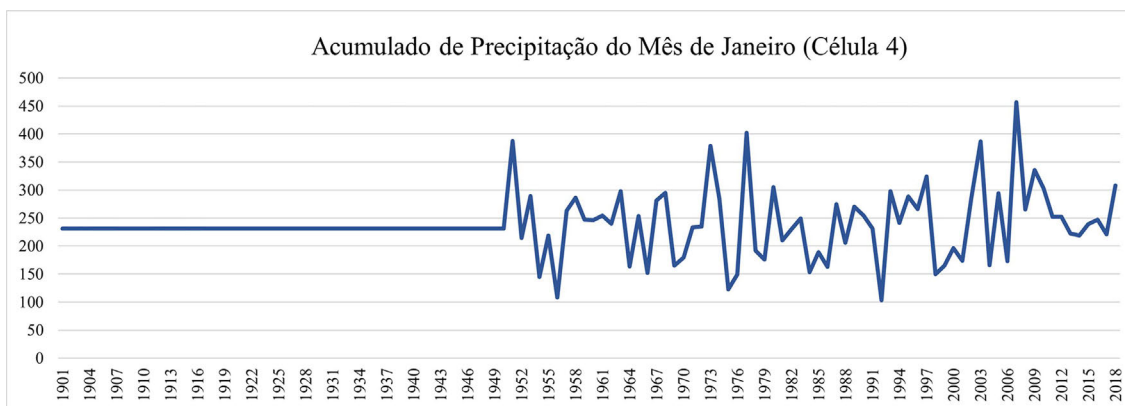


Figura 2 - Representação do erro sistemático presente nas séries de precipitação do CRU.

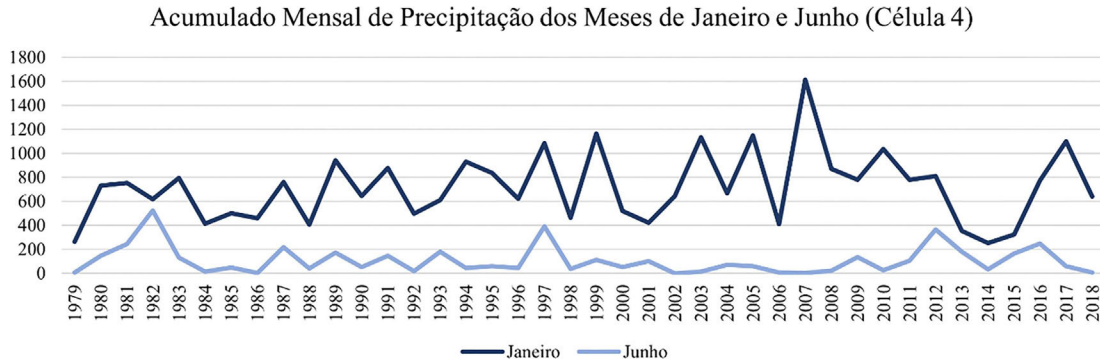


Figura 3 - Representação do erro presente nas séries de precipitação do ERA5.

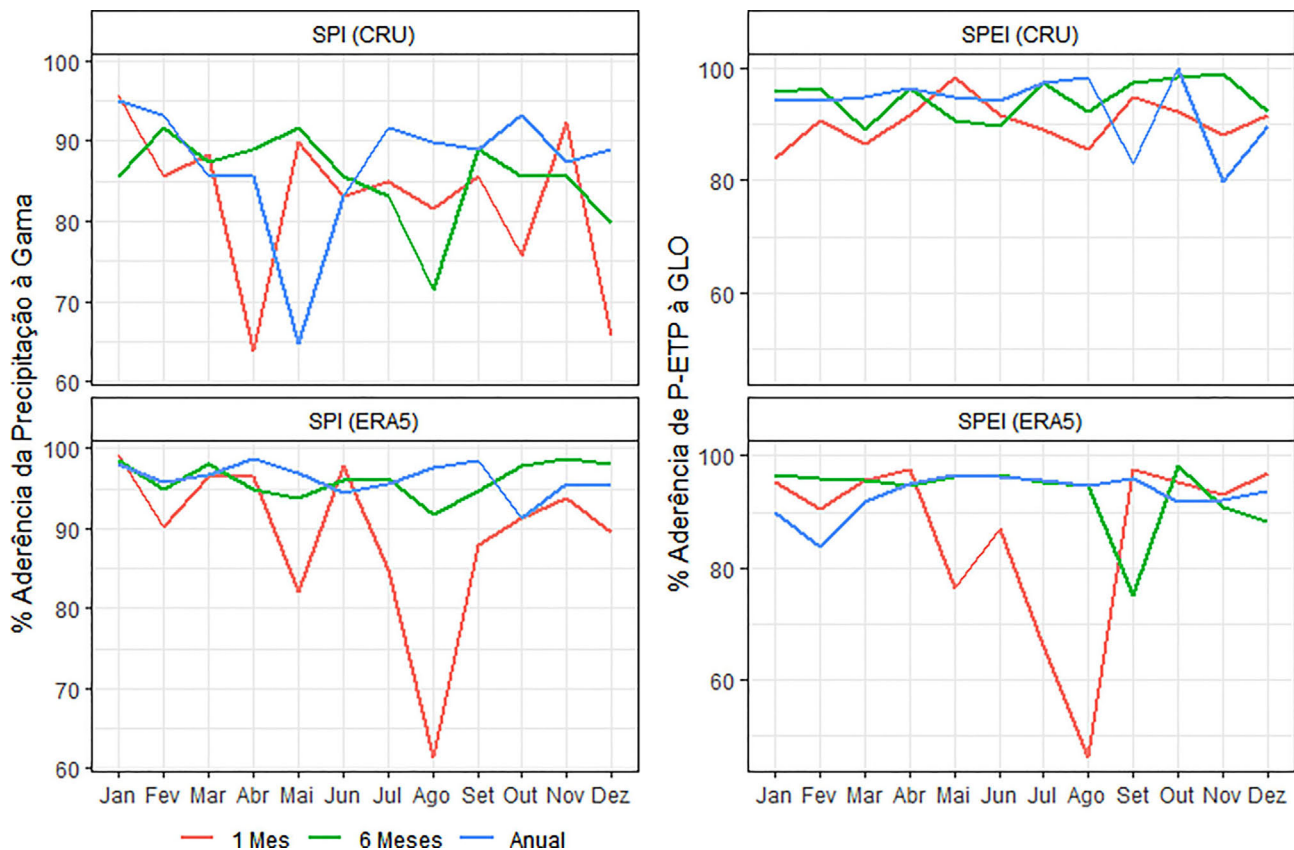


Figura 4 - Aderência dos dados de precipitação e P-ETP do CRU e do ERA5 à distribuição Gama e Generalizada Logística (respectivamente), nas escalas de tempo de 1, 6 e 12 meses.

meses de abril e dezembro apresentaram menos de 70% de séries ajustadas. Para os acumulados de seis meses, apenas o mês de agosto apresentou menos de 80% de séries ajustadas. Os acumulados anuais apresentaram boa aderência, geralmente acima de 80% de séries ajustadas e todos os meses exceto maio, quando o ajuste foi verificado em menos de 70% das séries.

Os dados de precipitação do ERA5 apresentaram ótimo desempenho no quesito aderência à distribuição gama. Para essa fonte de dados o ajuste foi verificado em mais de 90% das séries para as escalas de tempo de 6 e 12

meses. No caso dos acumulados mensais, o mês de maio apresentou menos de 90% de séries ajustadas, e para o mês de agosto, próximo ao fim do inverno e com muitas observações de 0 mm de precipitação, o ajuste foi verificado em pouco mais de 60% das séries.

A aderência dos dados de P-ETP à GLO do CRU foi verificada em mais de 80% das séries em todos os meses de todas as escalas de tempo.

Os dados do ERA5 também tiveram bom desempenho. A aderência das séries de P-ETP à GLO foi verificada em mais de 80% das vezes para as escalas de tempo

de 3 e 12 meses. Para as séries mensais, o mês de maio teve menos de 80% de séries ajustadas. Agosto (inverno) apresentou menos de 50% de séries ajustadas.

A normalidade das séries de SPI do CRU se mostrou bastante variável entre as estações e entre as escalas de tempo (Fig. 5). Considerando a escala mensal, apenas abril (outono) e agosto (inverno) apresentaram menos de 70% de séries normais. Para os acumulados de seis meses, apenas abril, agosto e dezembro apresentaram menos de 80% de séries normais. A normalidade das séries anuais de SPI mostrou um declive nos meses de outono e inverno, mas ultrapassou 60% de séries normais em todos os meses.

Quanto aos dados do ERA5 foi verificada normalidade em mais de 80% das séries mensais de SPI, exceto nos meses de março (início do outono) e agosto (inverno). Dos acumulados de seis meses, apenas setembro apresentou pouco menos de 70% de séries normais e na escala anual setembro foi o único mês a apresentar menos de 80% de normalidade.

As séries do SPEI do CRU tiveram excelente desempenho. Para a escala de tempo mensal, apenas o mês de agosto (inverno) apresentou menos de 80% de séries normais, todos os outros meses tiveram taxa de normalidade muito próxima a 100%. Todas as escalas de tempo superiores tiveram taxas de normalidade acima de 90%.

Os dados do ERA5 também tiveram bom desempenho. Contudo as séries mensais tiveram resultados insatisfatórios nos meses de inverno (junho, julho e agosto). Das séries de seis meses apenas setembro apresentou menos de 80% de normalidade. As séries anuais apresentaram sempre mais de 90% de séries normais.

A Fig. 6 mostra a comparação entre os dados de SPI na escala de tempo mensal obtidos pelos dados de reanálise e estações de superfície. Foi possível notar que existe uma semelhança entre os dados das estações com os dados do ERA5, ao passo que os dados do CRU não só apresentaram algumas discordâncias como também tendem a subestimar o episódio de seca sendo raros os casos de seca severa e extrema apresentados.

Os dados de SPI semestrais (Fig. 7) mostram predominância da seca moderada e severa no primeiro semestre do ano tendo os dados do ERA5 acusado seca extrema com maior frequência, os dados do CRU, mais uma vez, subestimaram a seca. Além disso foi possível notar uma discordância geográfica no comportamento da umidade nos meses de julho a setembro entre os dados do CRU e as demais fontes.

O SPI anual mostrou um avanço da seca (Fig. 8), os dados das estações acoissam predominância da seca incipiente juntamente com seca moderada e severa. Os dados

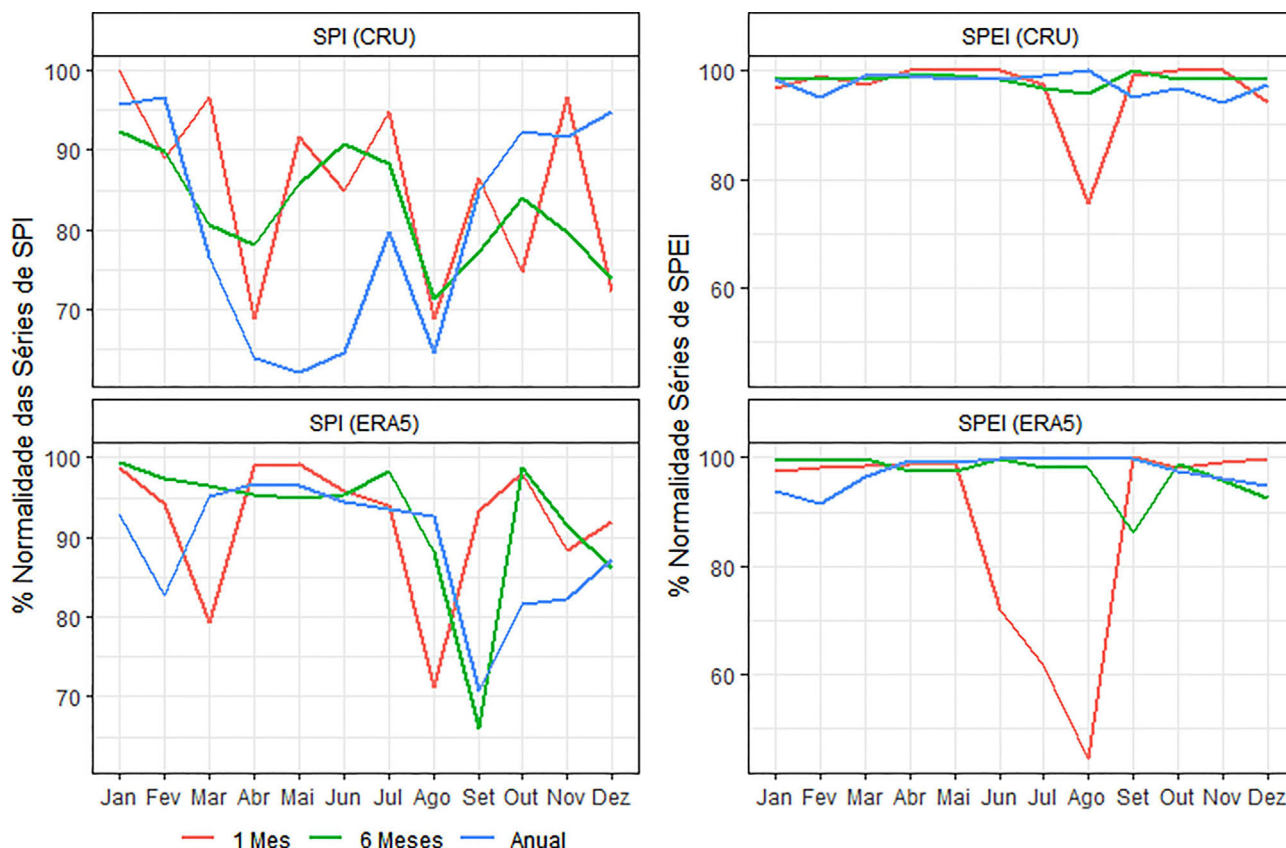


Figura 5 - Porcentagem de séries de SPI e SPEI do CRU e do ERA5 classificadas como normais para as escalas de tempo de 1, 6 e 12 meses.

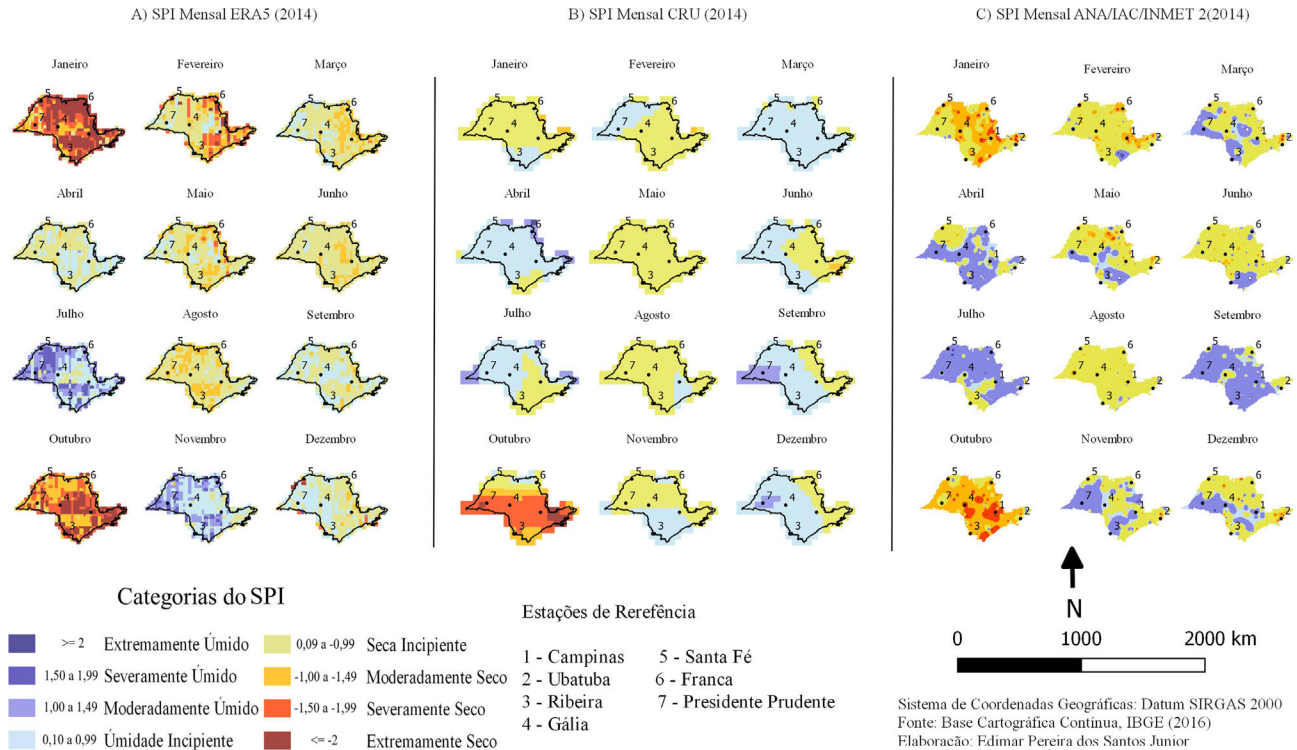


Figura 6 - Índice de Precipitação Padronizado (SPI) pelos dados do ERA5 (A), CRU (B) e estações de superfície (C) para o ano de 2014 na escala de tempo mensal.

do CRU, mais uma vez, podem ter subestimado a seca, tendo mostrado quase exclusivamente seca incipiente. Os dados do ERA5, por outro lado, podem ter superestimado a seca, mostrando predominantemente seca severa e extrema.

Quanto ao SPEI mensal, mostrado na Fig. 9, foi possível notar que as estações indicaram concordância com os dados de reanálise, contudo os dados do CRU aparentemente subestimam a seca com destaque para os meses de janeiro e março.

O SPEI semestral (Fig. 10) indicou avanço da seca com maior intensidade no primeiro semestre com destaque para os dados do ERA5 que indicaram predominância da seca severa e extrema. Os dados do CRU indicaram predominância de seca incipiente e moderada, enquanto os dados das estações de superfície indicaram seca moderada e severa com mais frequência.

Na escala de tempo anual (Fig. 11), o SPEI pelos dados do ERA5 mostrou seca severa e extrema para a maior parte do território de São Paulo em todos os meses a partir de fevereiro. Os dados do CRU insistiram em indicar seca incipiente e moderada e a presença da seca severa foi indicada somente a partir de junho. As estações indicaram predominância de seca moderada e severa a partir do mês de abril.

O Dmod para os dados mensais de precipitação do CRU (Fig. 12 A) apontaram que a concordância foi baixa, principalmente nos meses de verão, quando os valores

variam entre 0 e 0,4. Nos meses de inverno os valores mais frequentes ficaram entre 0,4 e 0,8. Ao comparar com os valores do Dmod do SPI (Fig. 12 B) notou-se uma diminuição na frequência de valores próximos de 0 enquanto aumentou a intensidade dos valores entre 0,6 e 0,8 nos meses de inverno. Os gráficos da Fig. 13 mostram que nas escalas de tempo de 6 e 12 meses mais de 50% dos valores foi inferior a 0,5.

Os dados de Precipitação do ERA5 apresentaram pouca ou nenhuma concordância com os dados das estações de superfícies conforme pode ser verificado na Fig. 14 A. A Fig. 15 mostra que nos meses de janeiro a março e de outubro a dezembro cerca de 75% dos valores de Dmod foram inferiores à 0,25. Nos meses de inverno os valores foram bastante dispersos. A Fig. 14 B mostra uma melhora significativa na concordância, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro quando 75% dos valores de Dmod registrados foram superiores à 0,5. Os meses de março, novembro e dezembro tiveram cerca de 75% dos valores de Dmod superiores à 0,4. Nos meses de junho a setembro foi possível notar cerca 75% dos valores de Dmod superiores à 0,6. A Fig. 15 mostra ainda que, com o aumento da escala de tempo, a concordância tende a diminuir e, na escala anual, todos os meses apresentaram pelo menos 50% dos valores de Dmod inferiores à 0,5.

Os dados de P-ETP do CRU (Fig. 16 A) tiveram baixa concordância. A Fig. 17 mostra que os valores mais frequentes de Dmod ficaram entre 0,4 e 0,6, por outro

lado, valores entre 0,6 e 0,7 foram observados com maior frequência nos meses de inverno, mas não representaram

mais de 50% dos valores observados. Os dados do SPEI do CRU e das estações apresentaram maior concordância

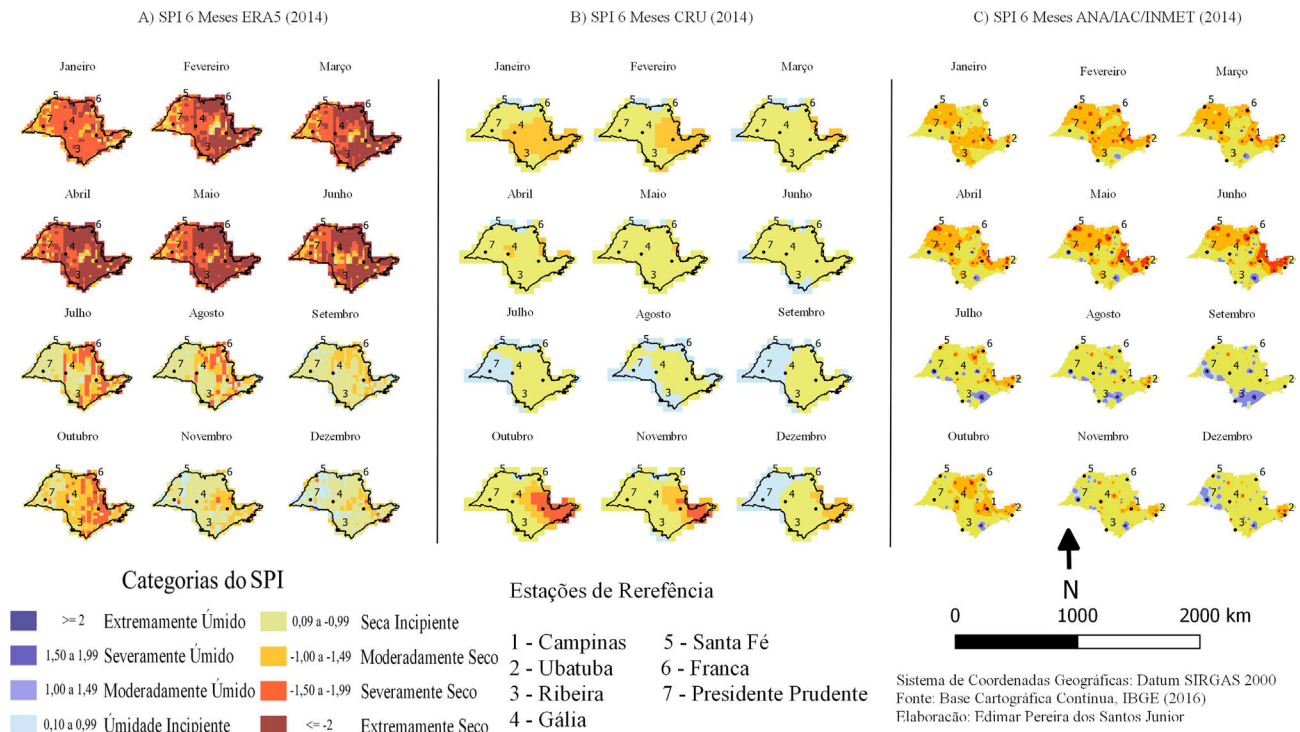


Figura 7 - Índice de Precipitação Padronizado (SPI) pelos dados do ERA5 (A), CRU (B) e estações de superfície (C) para o ano de 2014 na escala de tempo semestral.

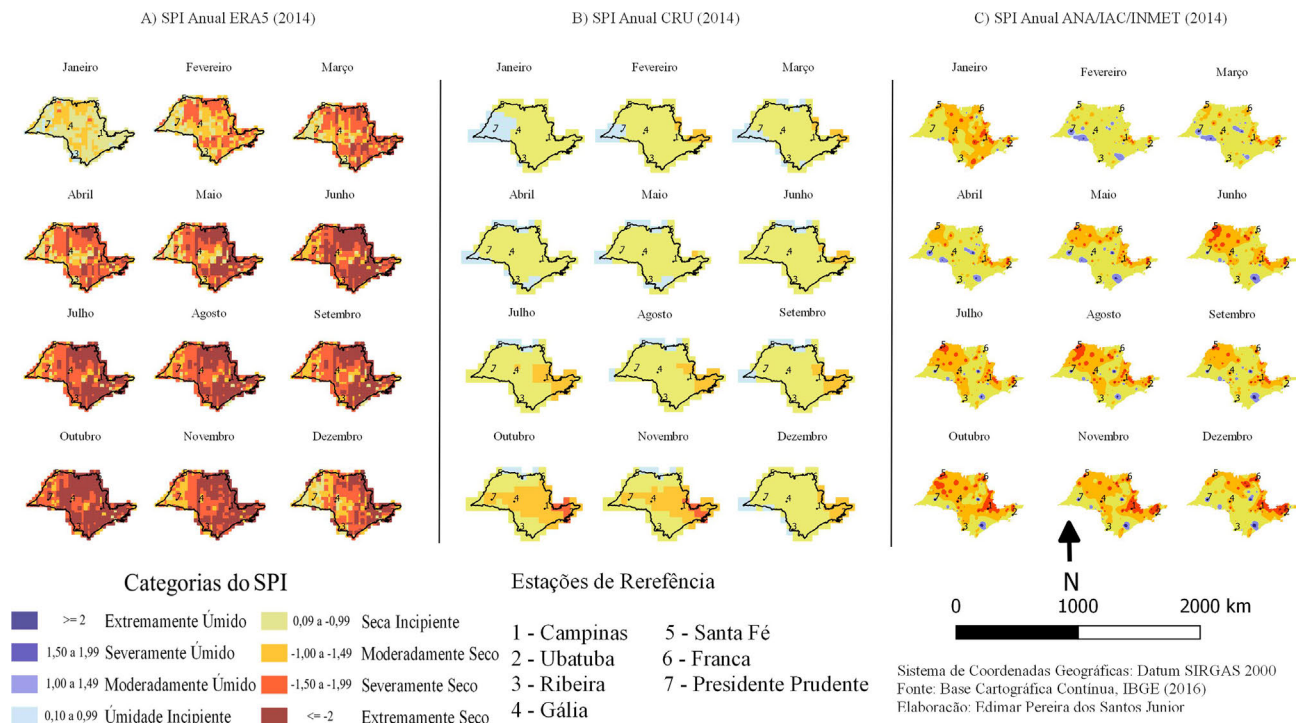


Figura 8 - Índice de Precipitação Padronizado (SPI) pelos dados do ERA5 (A), CRU (B) e estações de superfície (C) para o ano de 2014 na escala de tempo anual.

se comparados com os dados de P-ETP. A Fig. 16 B mostra que valores entre 0,6 e 0,8 foram mais frequentes entre

os meses de abril e outubro chegando a representar quase 75% nos meses de julho e julho. Conforme pode ser

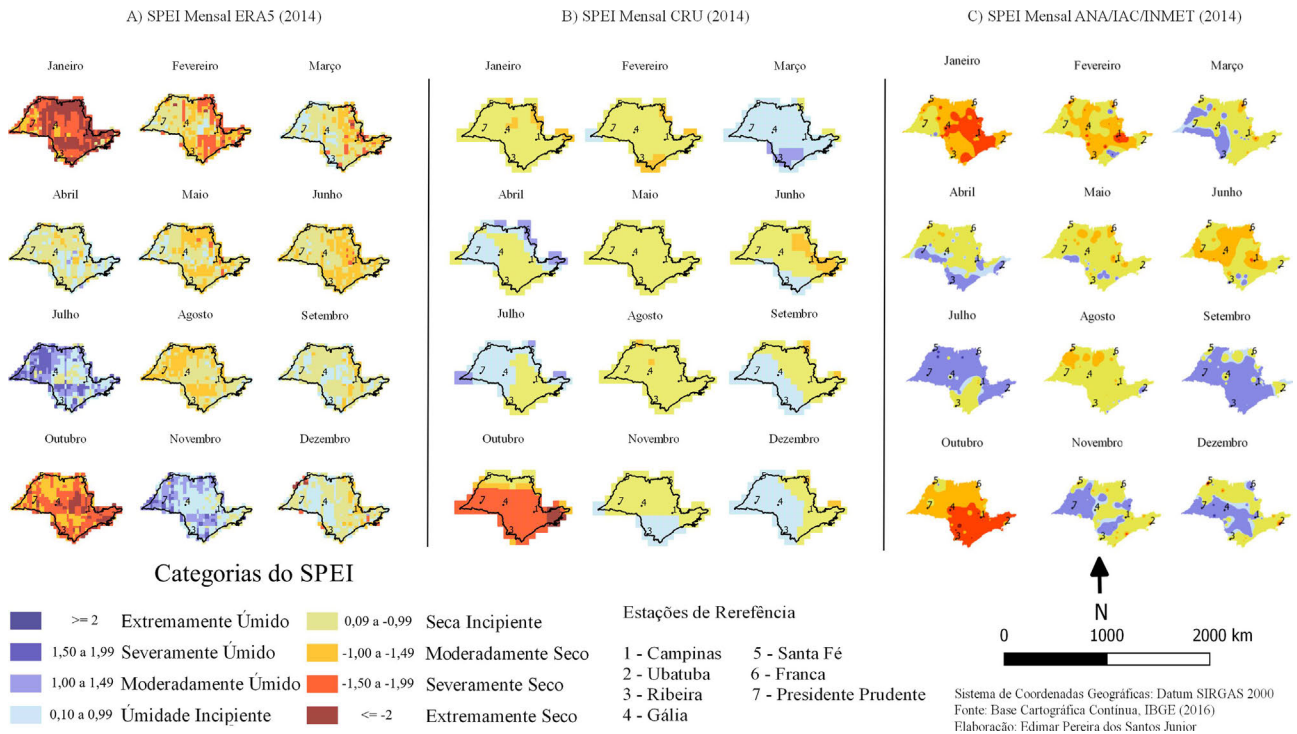


Figura 9 - Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI) pelos dados do ERA5 (A), CRU (B) e estações de superfície (C) para o ano de 2014 na escala de tempo mensal.

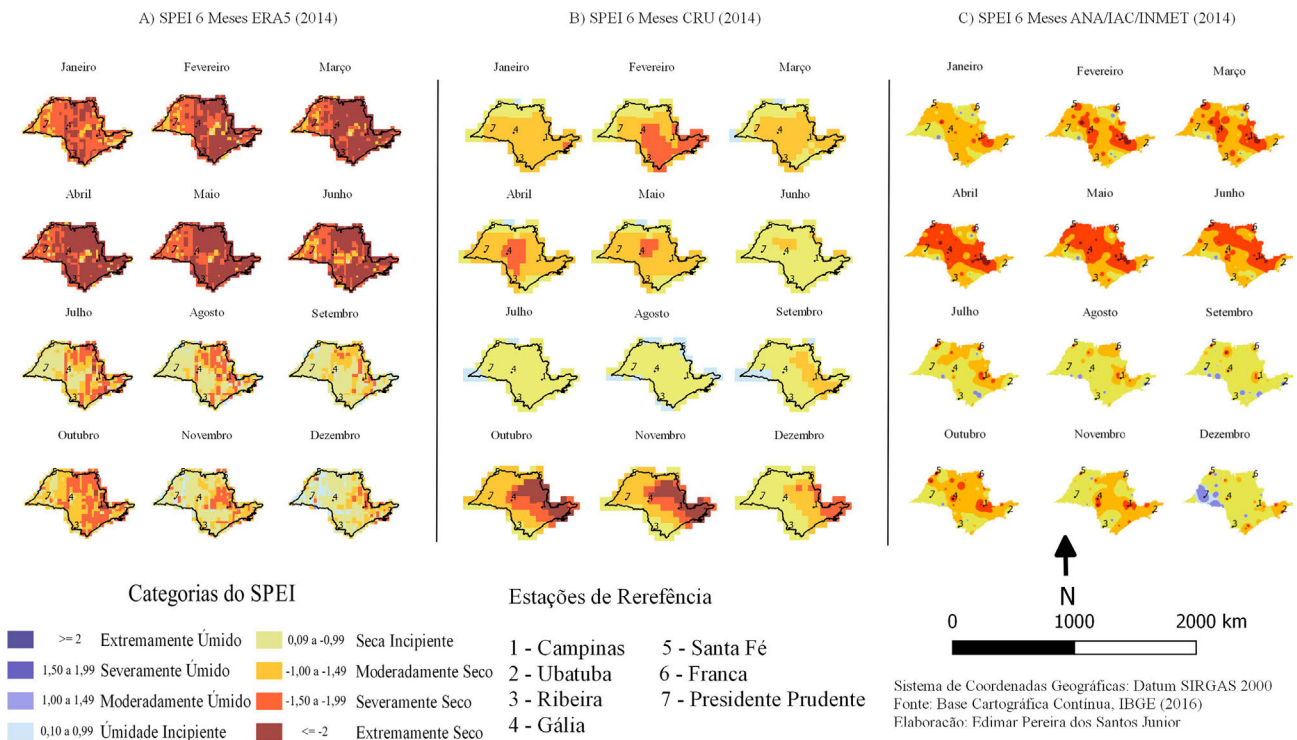


Figura 10 - Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI) pelos dados do ERA5 (A), CRU (B) e estações de superfície (C) para o ano de 2014 na escala de tempo semestral.

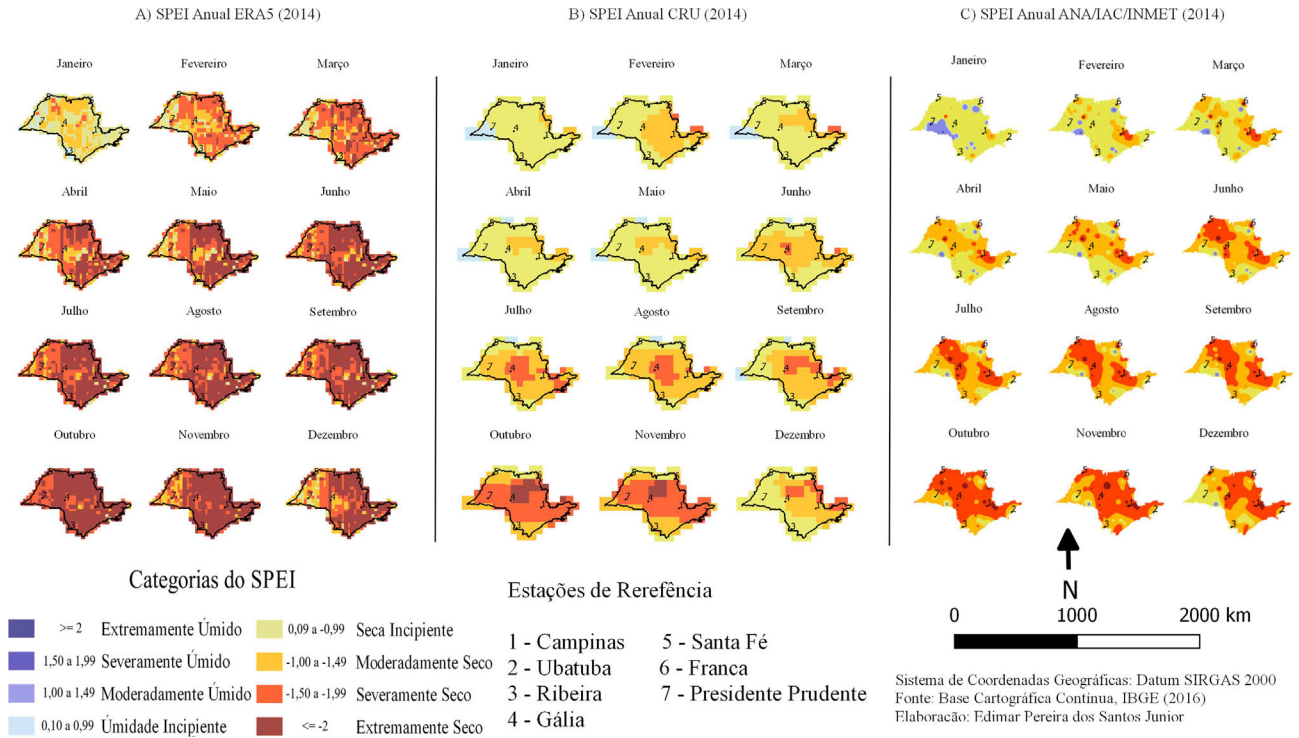


Figura 11 - Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI) pelos dados do ERA5 (A), CRU (B) e estações de superfície (C) para o ano de 2014 na escala de tempo anual.

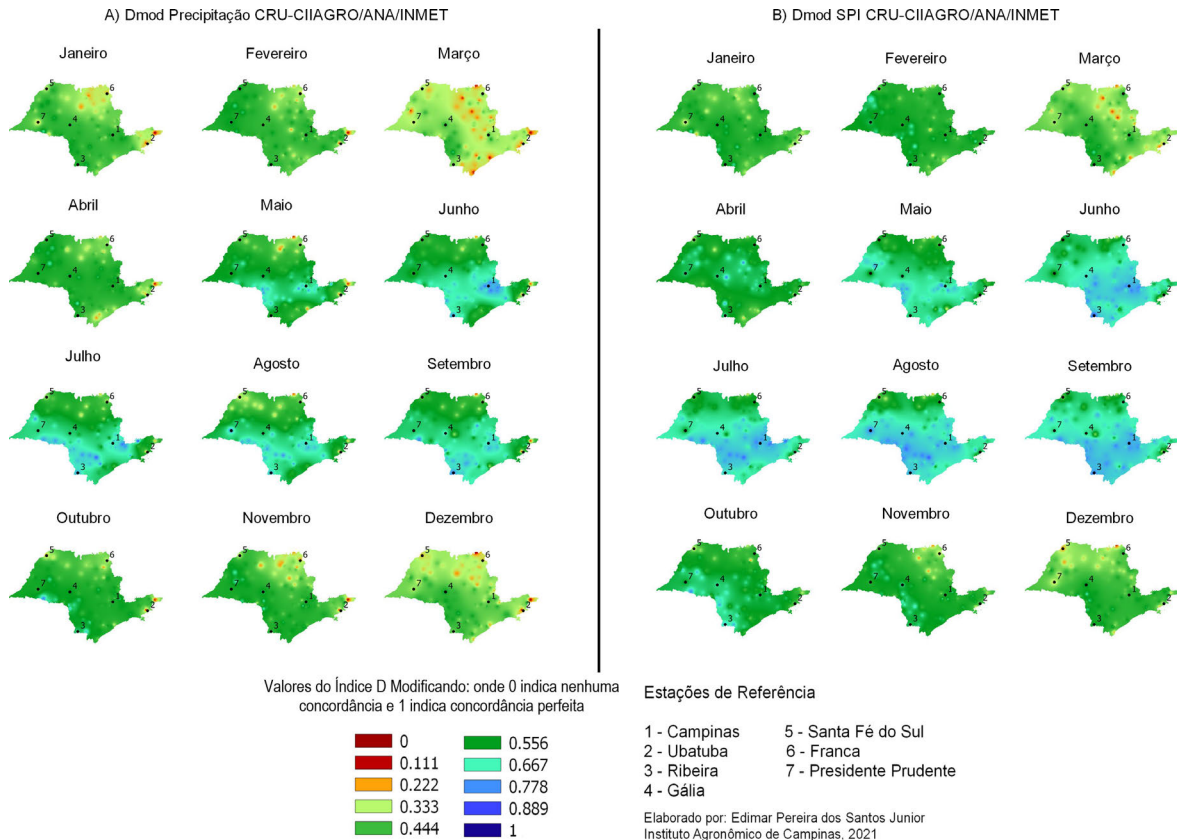


Figura 12 - Configuração Geográfica do Índice D de Willmott Modificado para os dados de precipitação do CRU (A) e SPI (B).

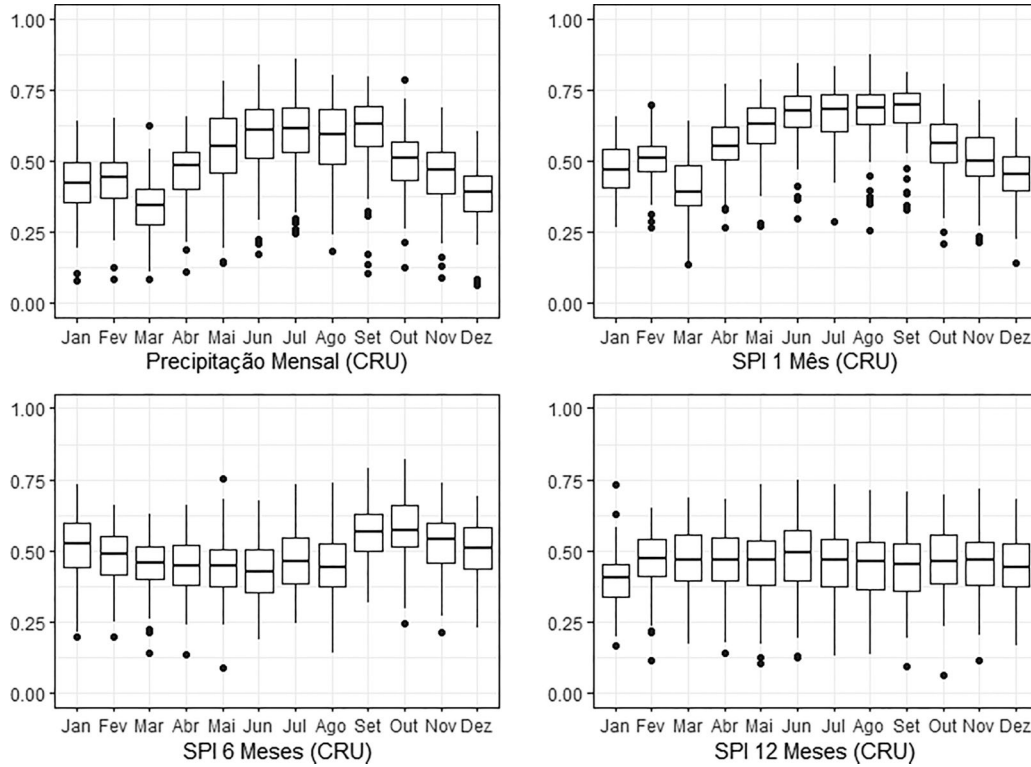


Figura 13 - Índice D de Willmott Modificado para os dados mensais de precipitação e para as escalas de 1, 6 e 12 meses de SPI do CRU.

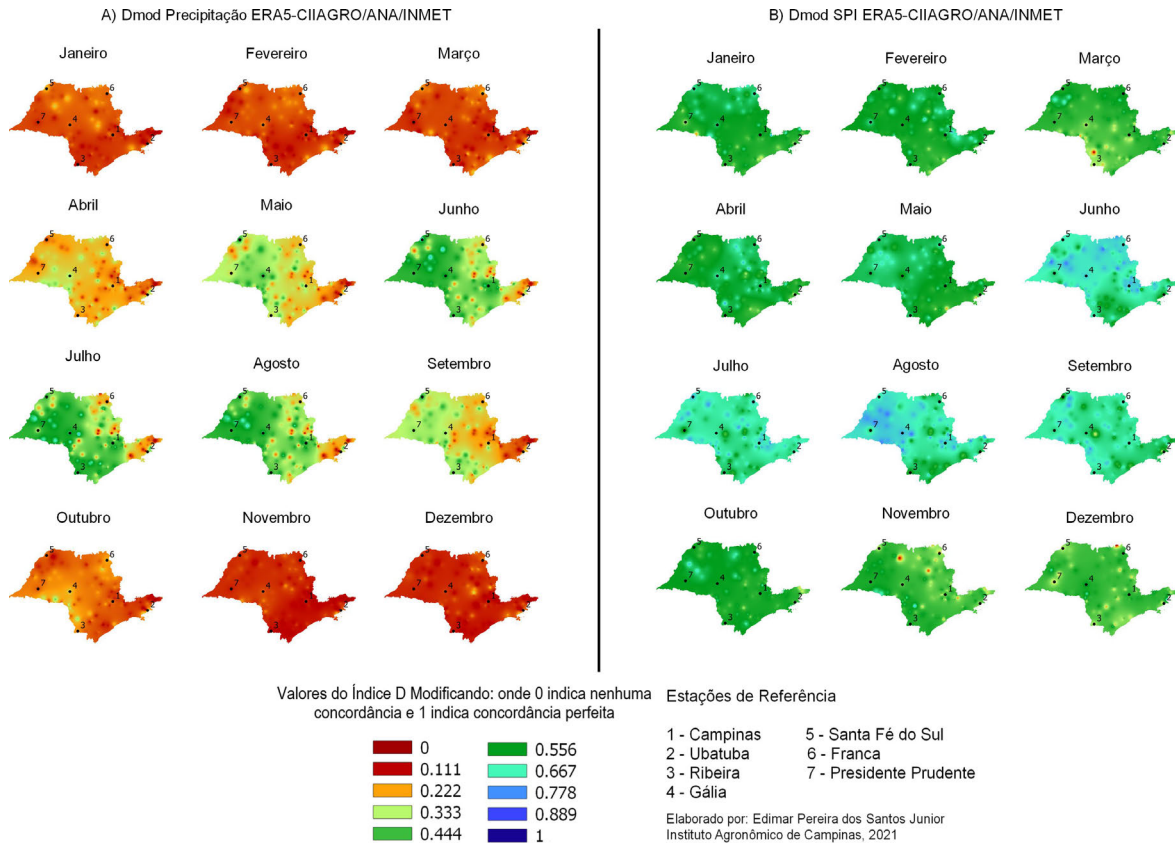


Figura 14 - Configuração Geográfica do Índice D de Willmott Modificado para os dados de precipitação do ERA5 (A) e SPI (B).

observado na Fig. 17, com o aumento da escala de tempo a tendência foi uma diminuição da concordância, especialmente para a escala anual quando todos os meses registraram cerca de 50% dos valores de Dmod inferiores à 0,5.

Os dados de P-ETP do ERA5 apresentaram baixa concordância com os dados das estações, com destaque para os meses de verão quando cerca de 75% dos valores de Dmod registrados nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro foram inferiores à 0,2 conforme exposto na Fig. 18. Nos meses de inverno os valores foram mais dispersos, mas todos os meses registraram 75% dos valores de Dmod inferiores à 0,6. Os dados de SPEI apresentaram melhor concordância em relação aos dados de P-ETP. A Fig. 19 mostra ainda que, na escala mensal, 75% dos valores de Dmod nos meses de janeiro a março foram superiores à 0,4. Nos meses de novembro e dezembro cerca de 75% dos valores de Dmod foram superiores à 0,3. Os melhores resultados foram registrados nos meses de junho e julho com 75% dos valores de Dmod superiores à 0,6. A Fig. 19 confirma que, assim como nas comparações anteriores, com o aumento da escala de tempo a concordância tende a diminuir de modo que 75% dos valores de Dmod registrados em todos os meses da escala anual foram inferiores à 0,6.

Em relação às inconsistências dos dados do CRU nos primeiros 50 anos das séries de dados de precipitação, não foi encontrada menção a isso na literatura, sendo que alguns trabalhos utilizaram as séries completas do CRU

como Limberger e Silva (2018), Tirivarombo *et al.* (2018) e Verma e Ghosh (2019). Por outro lado, Salviano *et al.* (2016) e Ullah *et al.* (2020) optaram por recortar as séries mesmo não tendo mencionado problemas com os dados.

No tocante à capacidade de detecção da seca, o estudo de caso da crise hídrica de 2014 mostrou que o CRU subestimou a ocorrência de seca naquele ano, principalmente se considerados os dados de SPI. Os dados do ERA5 mostraram seca severa e extrema com maior frequência, tanto pelos dados do SPI como com os dados de SPEI. Contudo, ambos os bancos de dados foram capazes de mostrar um comportamento sazonal (presente apenas nas escalas de tempo mensal e trimestral) de acordo com o que foi encontrado pela literatura científica (Salviano *et al.*, 2016; Limberger e Silva, 2018; Prado *et al.*, 2018). Em relação à diferença entre os dados do SPI e SPEI, Vicente-Serrano *et al.* (2010) preconizavam que o SPEI teria maior sensibilidade em detectar a seca que o SPI por considerar a demanda evapotranspirativa da atmosfera, o que foi confirmado por outras pesquisas (Tirivarombo *et al.*, 2018; Karimi *et al.*, 2020; Ullah *et al.*, 2020).

Quanto à concordância, o Dmod mostrou que os dados de entrada (precipitação e P-ETP) possuem baixa concordância com os dados das estações, sobretudo os dados provenientes do ERA5. Por outro lado, os dados dos índices (SPI e SPEI) obtiveram melhora na concordância que é mais visível nos dados do ERA5. Um dos principais resultados foi mostrar como o aumento da escala de tempo

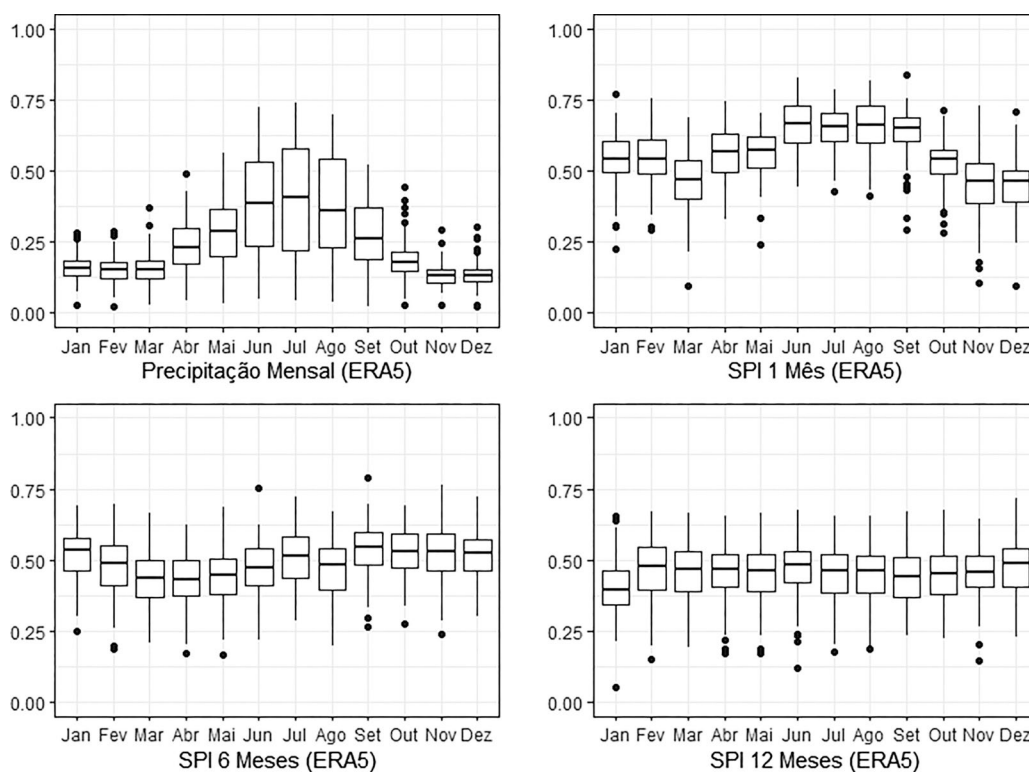


Figura 15 - Índice D de Willmott Modificado para as séries mensais de precipitação e para as escalas de 1, 6 e 12 meses de SPI do ERA5.

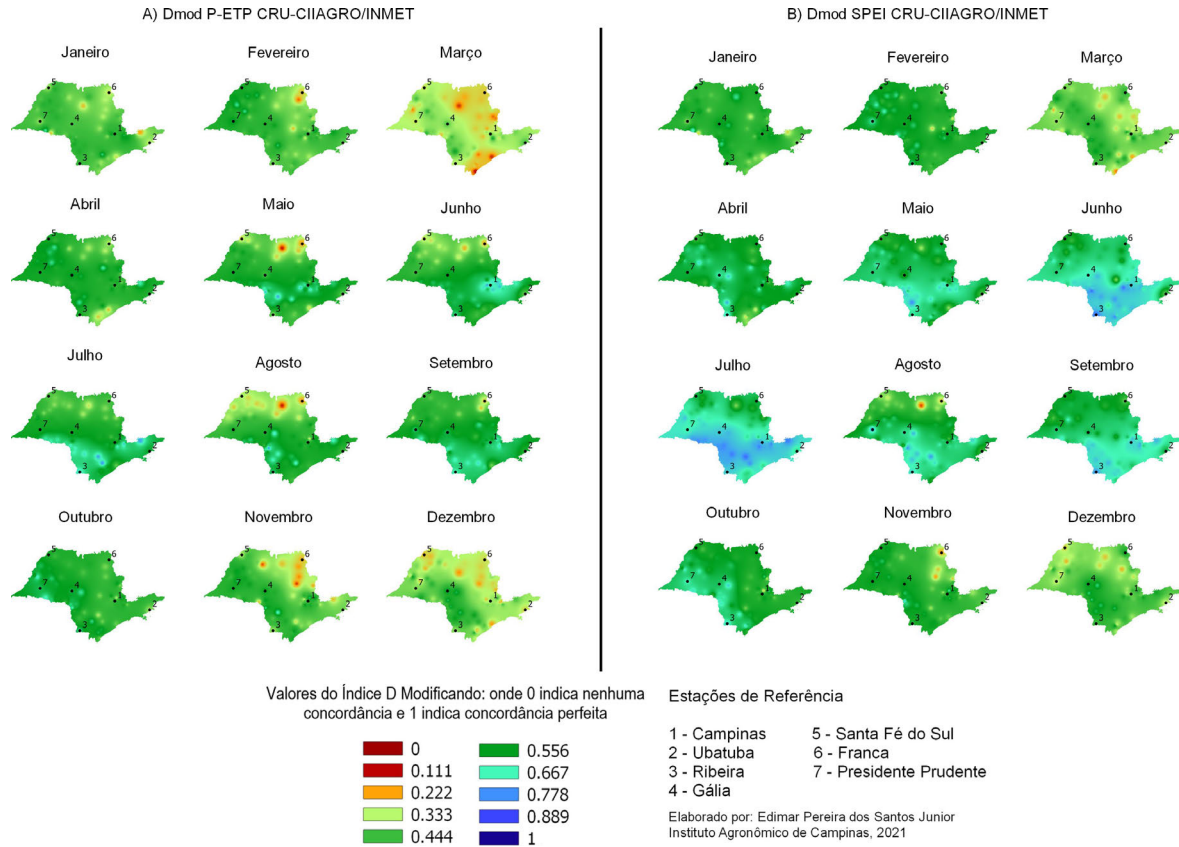


Figura 16 - Configuração geográfica do Índice D de Willmott Modificado para os dados de P-ETP do CRU (A) e dos dados de SPEI (B).

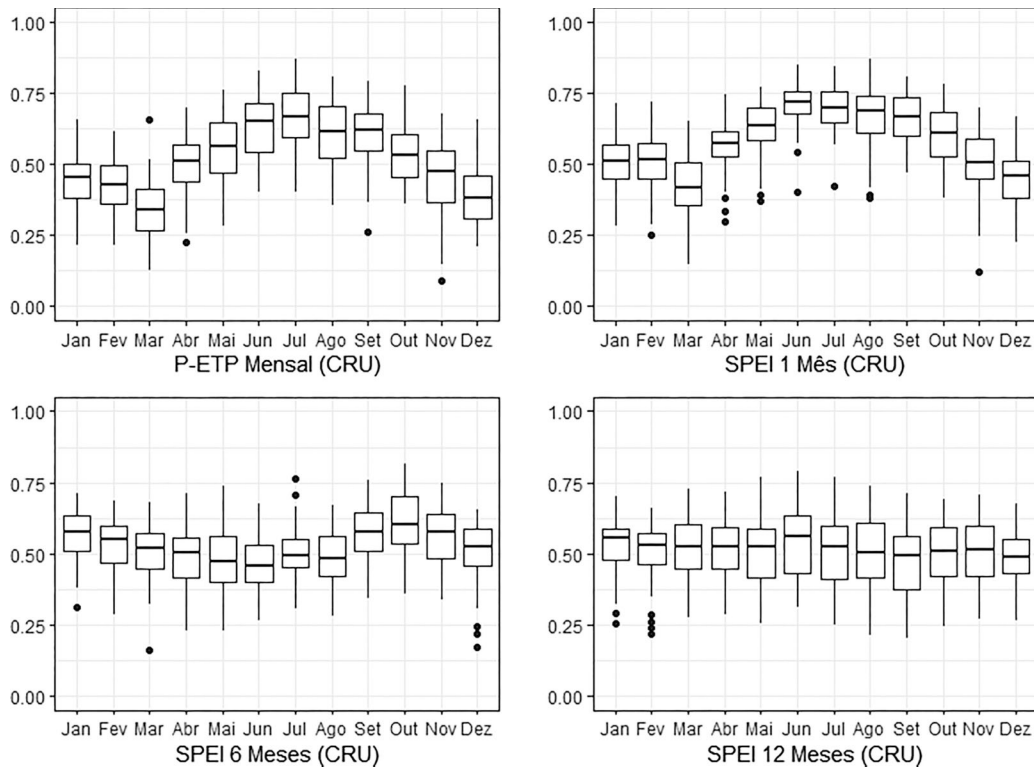


Figura 17 - Índice D de Willmott Modificado para as séries mensais de P-ETP e para as escalas de 1, 6 e 12 meses de SPEI do CRU.

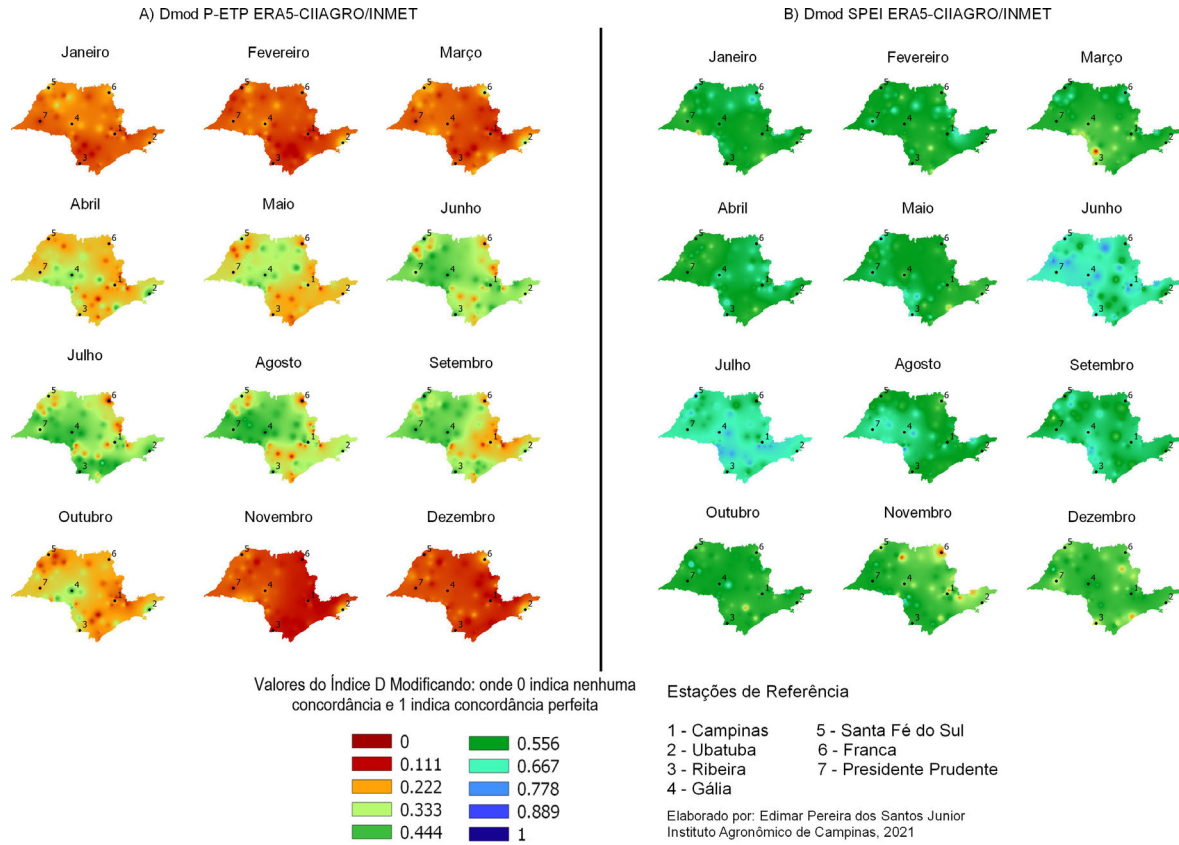


Figura 18 - Configuração geográfica do Índice D de Willmott Modificado para os dados de P-ETP do ERA5 (A) e dos dados de SPEI (B).

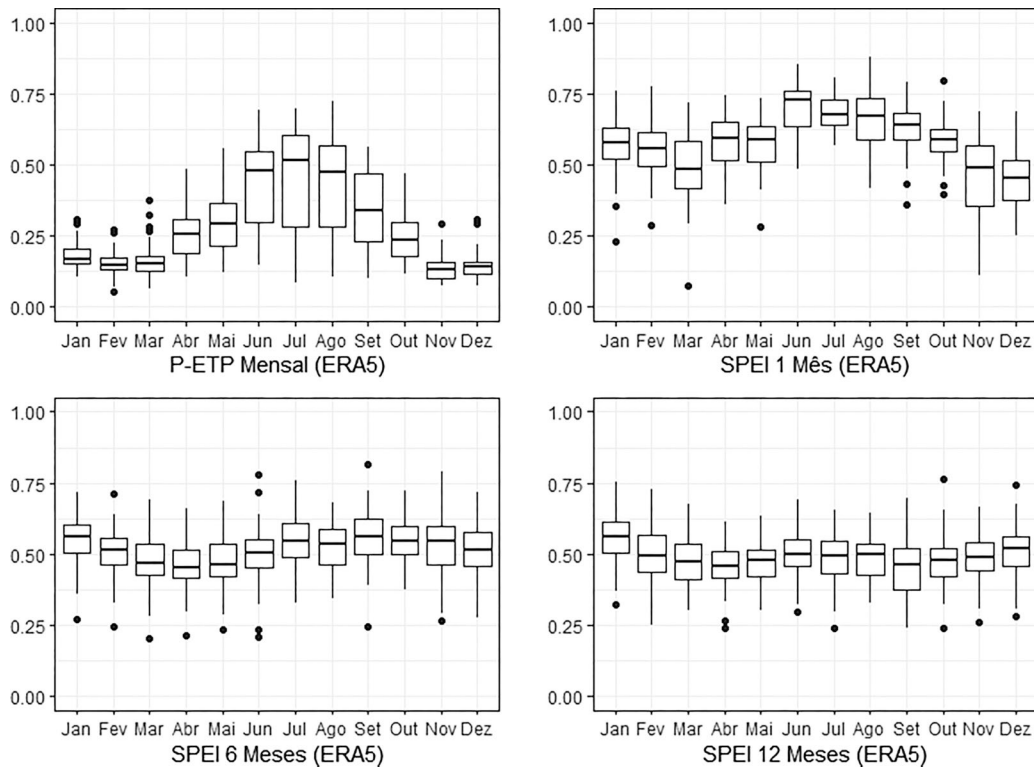


Figura 19 - Índice D Modificado para as séries mensais de P-ETP e para as escalas de 1, 6 e 12 meses de SPEI do ERA5.

prejudica a concordância entre os dados, resultados similares foram mostrados por Ullah *et al.* (2020) e Wang *et al.* (2021) que mostraram como a correlação linear entre essas fontes de dados e estações de superfície tendem a oscilar negativamente com o aumento na escala de tempo. Quanto ao comportamento da sazonalidade, observado as escalas de tempo mensal e trimestral, notou-se que a concordância é maior nos meses de inverno. Comportamento similar foi encontrado por Tirivarombo *et al.* (2018) que mostrou que a correlação linear entre os dados do CRU e das estações é maior nos meses de inverno. Prado *et al.* (2018), utilizando dados do ECMWF, também mostraram comportamento similar na sazonalidade para o estado de São Paulo, onde a concordância entre os dados de reanálise com as estações é maior nos meses de inverno.

Foi observado que os dados tiveram baixa concordância especialmente nos meses de verão, o que pode ser bastante prejudicial no monitoramento do comportamento da seca nesse período que é o mais sensível a veranicos como relatado por Blain (2009).

A análise dos dados obtidos pelas medidas complementares do Índice D de Willmott Original, Erro Médio Absoluto e Erro Médio Quadrático levaram às mesmas conclusões do Dmod, sendo que o Dorig apontou valores mais elevados pois é menos rigoroso por conter a função quadrática em sua equação, conforme apontamentos feitos pela literatura científica. O Erro Médio Absoluto apresentou valores mais elevados nos meses de verão e com o aumento na escala de tempo a tendência foi de aumento dos valores. O mesmo ocorreu com o Erro Médio Quadrático.

4. Conclusões

Os dados de precipitação e P-ETP do CRU apresentaram baixa correlação com os dados das estações de superfície (Dmod frequentemente inferior à 0,5) o que impossibilita seu uso para diversas finalidades. Os dados de SPI e SPEI apresentaram correlação ligeiramente superior (Dmod frequentemente próximo de 0,6 ou superiores) se comparada com a correlação anterior, no entanto, os valores de Dmod ainda são insatisfatórios o que piora com o aumento da escala de tempo, impossibilitando explorar o principal potencial desses índices que é a multiescalaridade temporal.

Os dados de precipitação e P-ETP do ERA5 apresentaram baixíssima correlação com os dados das estações de superfície (Dmod frequentemente menor que 0,4), especialmente nos meses de verão. Com o uso dos índices SPI e SPEI a correlação apresentou melhora significativa principalmente nos meses de inverno (Dmod frequentemente próximo de 0,5 e 0,6), mas de modo geral os valores não são satisfatórios e, com o aumento da escala de tempo, a tendência é que a correlação diminua, impedindo o uso desses dados em escalas de tempo superiores como a de 12

meses, impossibilitando explorar a multiescalaridade temporal dos índices. Portanto, os resultados observados nesse estudo não permitem o uso dessas duas fontes de dados para monitorar a seca no estado de São Paulo, tornando necessário estudos futuros voltados ao aprimoramento das mesmas.

Agradecimentos

Agradecimentos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida e ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Agrônomo de Campinas bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela bolsa de produtividade (Processo 307616/2019/-3) concedida ao segundo autor.

Referências

- ALVES, J.C.B.; MARTINS, L.L.; MARTINS, W.A.; MORAES, J.F.L.; BLAIN, G.C. Uso de dados meteorológicos de reanálise para a simulação da vazão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira/SP. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 80, p. 234-252, 2021.
- APARECIDO, L.D.O.; ROLIN, G.S.; MORAES, J.R.S.C.; TORSONI, G.B.; MENESES, K.C., *et al.* Accuracy of ECMWF Era-Interim reanalysis and its application in the estimation of the water deficiency in Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 4, p. 515-528, 2019.
- BECK, H.E.; VERGOPOLAN, N.; PAN, M.; LEVIZZANI, V.; DIJK, A.I.J.M. *et al.* Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling. **Satellite Precipitation Measurement**, v. 21, n. 12, p. 625-653, 2020.
- BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da secretaria de agricultura e abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 12-23, 2009.
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. Quantificação da seca agrícola pelo Índice Padronizado de Evapotranspiração Real (IPER) no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 517-525, 2006.
- BLAIN, G.C. Revisiting the critical values of the Lilliefors test: towards the correct agrometeorological use of the Kolmogorov-Smirnov framework. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 192-202, 2014.
- BLAIN, G.C.; AVILA, A.M.H.; PEREIRA, V.R. Using the normality assumption to calculate probability-based standardized drought indices: selection criteria with emphases on typical events. **International Journal of Climatology**, v. 38, e418-e436, 2018.
- BLAIN, G.C.; KAYANO, M.T. 118 anos de dados mensais do Índice Padronizado de Precipitação: série meteorológica de Campinas, estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 137-148, 2011.
- BRUNINI, O.; ABRAMIDES, P.L.G.; BLAIN, G.C.; BRUNINI, A.P.C.; ROLIN, G. *et al.* O infoseca no monitoramento e

- mitigação de seca e adversidades hidrometeorológicas. In: **Congresso Brasileiro de Agroinformática**, 2005, pp. 1-15.
- CAMPAROTTO, L.B.; BLAIN, G.C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M.B.P. Validação de dados termoplúviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 665-671, 2013.
- CEPED UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: volume Brasil**. 2. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 104 p., 2013. Disponível em <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>, acesso em janeiro de 2022.
- CEMADEM. **Boletim: Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil**. Novembro de 2021. Ano 5, n. 42. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. Disponível em <https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/cemaden/conteudo/monitoramento/monitoramento-de-seca-para-o-brasil/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-2013-novembro-2021>, acesso em Janeiro de 2022.
- COELHO, A.S.; CARDOSO, D.H.F.; FIRPO, M.A.F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Climanálise**, v. 30, p. 55-61, 2016.
- CONTI, J.B. **Clima e Meio Ambiente**. São Paulo: Atual, 2011.
- GONÇALVES, S.T.N.; VASCONCELOS JUNIOR, F.C.; SAKAMOTO, M.S.; SILVEIRA, C.S.; MARTINS, E.S.P.R. Índices e metodologias de monitoramento de secas: uma revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3 p. 495-511, 2021.
- DI NAPOLI, C.; BARNARD, C.; PRUDHOMME, C.; CLOKE, H.L.; PAPPENBERGER, F. A global gridded historical dataset of human thermal comfort indices from climate reanalysis. **Geoscience Data Journal**, v. 8, n. 1, p. 2-10, 2021.
- DULLAART, J.C.; MUIS, S.; BLOEMENDAAL, N.; AERTS, J.C. Advancing global storm surge modelling using the new ERA5 climate reanalysis. **Climate Dynamics**, v. 54, n. 1, p. 1007-1021, 2020.
- HARRIS, I.; JONES, P.D.; OSBORN, T.J.; LISTER, P.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3. 10 Dataset. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 3, p. 623-642, 2014.
- HEIN JUNIOR, R.R. A review of twentieth century drought indices used in the United States. **American Meteorological Society**, v. 92, p. 1149-1163, 2002.
- HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRIDFORD, P.; HIRAHARA, S.; HORÁNYI, A. *et al.* The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D. *et al.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-472, 1996.
- KARIMI, M.; VICENTE-SERRANO, S.M.; REIG, F.; SHAHED, K.; RAZIEI, T.; MIRYAGHOUBZADEH, M. Recent trends in atmospheric evaporative demand in Southwest Iran: implications for change in drought severity. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 142, n. 3, p. 945-958, 2020.
- LIMBERGER, L.; SILVA, M.E.S. Precipitação observada na Amazônia brasileira: redes convencionais e dados da reanálise I do NCEP/NCAR, CRU e GPCC. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 20-37, 2018.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. **Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology**, p. 179-183, 1993.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp - Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, n. 3, p. 485-494, 2016.
- NEW, M.; HULME, M.; JONES, P. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate. **American Meteorological Society**, p. 2217-2238, 2000.
- PALMER, W.C. **Meteorological Drought**. Washington: US Weather Bureau Res., n. 45, 1965.
- PEREIRA, H.R.; MESCHIATTI, M.C.; PIRES, R.C.M.; BLAIN, G.C. On the performance of three indices of agreement: an easy-to-use r-code for calculating the Willmott indices. **Bragantia**, v. 77, n. 2, p. 394-403, 2018.
- PRADO, R.C.; BLAIN, G.C.; PICOLI, M.C.A. Rainfall data from the European Center for Medium-Range Weather Forecast for monitoring meteorological drought in the state of São Paulo. **Acta Scientiarum Technology**, v. 40, n. 1, 34947, 2018.
- PINTO, L.I.C.; COSTA, M.H.; DE LIMA, F.Z.; DINIZ, L.M.F.; SEDIYAMA, G.C. *et al.* Comparação de produtos de precipitação para a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 4, p. 461-472, 2009.
- RAMALHOSO, W. **Em SP, Hidrelétricas Usam Volume Morto para Gerar Energia**. São Paulo: UOL, 2015. Disponível em <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/01/23/em-sp-hidreletricas-usam-volume-morto-para-gerar-energia.htm>, acesso em 27 de fevereiro de 2019.
- ROLIM, G.S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.
- SALVIANO, M.F.; GROppo, J.D.; PELLEGRINO, G.Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.
- SANTOS, S.R.Q.; SANSIGOLO, C.A.; NEVES, T.; SANTOS, A.P.P. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: validação da série de precipitação mensal do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1721-1729, 2017.
- SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J.E.B.A. Agrometeorologia dos cultivos: informações para uma agricultura sustentável. In: Monteiro, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos Cultivos: O Fator Meteorológico na Produção Agrícola**. Brasília: INMET, p. 4-12, 2009.
- SOUZA, C.A.; REBOITA, M.S. Intensidade do vento de dois ciclones tropicais obtida por diferentes conjuntos de dados. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 067-075, 2020.

- STAGGE, J.H.; TELLAKSEN, L.M.; GUDMUNSDSSON, L.; LOON, A.F.; STHAL, K. Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). **International Journal of Climatology**, v. 35, p. 4027-4040, 2015.
- TORRES, F.; KUKI, C.; FERREIRA, G.; VASCONCELLOS, B.; FREITAS, A. *et al.* Validação de diferentes bases de dados de precipitação nas bacias hidrográficas do Sapucaí e São Francisco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, 368-404, 2020.
- TIRIVAROMBO, S.; OSUPILE, D.; ELIASSON, P. Drought monitoring and analysis: standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI) and standardised precipitation index (SPI). **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 106, p. 1-10, 2018.
- TOMAZELA, J.M. **SP tem 70 cidades afetadas por seca, onde vivem 13,8 mi.** Jornal ESTADÃO, São Paulo, 16 de outubro, 2014. Disponível em <https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,sp-tem-70-cidades-afetadas-por-seca-onde-vivem-13-8-mi,1577466>, acesso em 18 de novembro de 2020.
- ULLAH, I.; MA, X.; YIN, J.; ASFAW, T.G.; SYED, S. *et al.* Evaluating the meteorological drought characteristics over Pakistan using in situ observations and reanalysis products. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. 4437-4459, 2021.
- VALIENTE, Ó.M. Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. **Investigaciones Geográficas**, n. 26, p. 59-80, 2001.
- VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J.I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal of Climate**, v. 23, p. 1696-1718, 2010.
- WIJNGAARD, J.B.; KLEIN TANK, A.M.G.; KÖNNEN, G.P. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 679-692, 2003.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.
- WILHITE, D.A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: the role definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Drought and agriculture. WMO Tech. Note 138, Publ. WMO-392**. Geneva: WMO, 127 p., 1975.
- WU, H.; SVOBODA, M.D.; HAYES, M.J.; WILHITW, D.A.; WEN, F. Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 1, p. 67-79, 2007.
- XAVIER, A.C.; KING, C.W.; SCANLON, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.

Endereços de Internet

- Climatic Research Unit, https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.03/cruts.1905011326.v4.03/.
- 5th Generation of European ReAnalysis, <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/derived-near-surface-meteorological-variables?tab=overview>.
- INFOSECA, disponível em: <http://www.infoseca.agricultura.sp.gov.br/index.asp>.
- INPE: <http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt>.
- SPEI *Package*, <https://cran.r-project.org/web/packages/SPEI/index.html>.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (type CC-BY), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original article is properly cited.