

Análise da distribuição e variabilidade da precipitação na bacia do rio Paraná, Brasil

Beatriz Siqueira
Unicamp

Jonas Teixeira Nery
Unesp – Ourinhos

p. 380-393

Como citar este artigo:

SIQUEIRA, B.; NERY, J. T. Análise da distribuição e variabilidade da precipitação na bacia do rio Paraná, Brasil. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 22, n.2, p. 380-393, mês. 2018. ISSN 2179-0892.

Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/issue/view/10704>. doi: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2018.127350>.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 4.0 License.

revista

Geo 
USP
espaço e tempo

Volume 22 • nº 2 (2018)

ISSN 2179-0892

Análise da distribuição e variabilidade da precipitação na bacia do rio Paraná, Brasil

Resumo

A finalidade deste trabalho é estudar e analisar a distribuição e a variabilidade da precipitação na bacia do rio Paraná de 1970 a 2014 utilizando dados diários em ponto de grade, um conjunto de dados disponível para a América do Sul que ajudam a compreender melhor a variabilidade da precipitação espacial. Esse conjunto de dados é público, e o formato do arquivo é NetCDF, selecionado para compatibilidade entre plataformas e incorporação de coordenadas de grade e outros metadados úteis, disponível no *site* da Earth System Research Laboratory. Buscou-se compreender a variabilidade da precipitação na área de estudo por sua concentração diária e mensal e fazendo uso de dois índices estatísticos aplicados à Climatologia: o índice de concentração (IC), quantificação diária, e o índice de precipitação concentrada (IPC), quantificação mensal, ambos calculados no *software* R. A região estudada apresentou clima com marcada variabilidade e susceptibilidade a eventos extremos de inundações, especialmente no extremo sul da bacia, onde a concentração diária da precipitação é intensa, $IC = 0,64$.

Palavras-chave: Índice de concentração. Precipitação. Bacia hidrográfica. Variabilidade da precipitação.

Analysis of the distribution and variability of precipitation in the Paraná River Basin

Abstract

The purpose of the present work was to study and analyze the distribution and variability of precipitation in the Paraná river basin, in a period that includes the years from 1970 to 2014, using daily data in grid point, a set of data available for South America which help to improve understanding of the variability of spatial precipitation. This data set is public and the file format is NetCDF, selected for cross-platform compatibility and incorporation of grid coordinates and other useful metadata, available on the Earth System website Research Laboratory. The aim of this study was to understand the variability of precipitation in the study area by daily and monthly concentration using two statistical indexes

applied to Climatology: the Concentration Index (CI), daily quantification, and the Concentrated Precipitation Index (CPI), quantification, both calculated in software R. The studied region presented a climate with marked variability and susceptibility to extreme flood events, especially in the southern end of the basin, where the daily concentration of precipitation is intense, $CI = 0,64$.

Keywords: Concentration index. Precipitation. Hydrographic basin. Precipitation variability.

Introdução

Todos os organismos vivos, incluindo os seres humanos, necessitam de água para sua sobrevivência, sendo a disponibilidade e o fornecimento desta essenciais para a sobrevivência humana. Embora a Terra seja frequentemente chamada “O Planeta Azul”, advertências relativas ao aumento do consumo da água no mundo e a disponibilidade de água potável para consumo humano ensejam grande preocupação.

Na era do Antropoceno, quando os impactos humanos nos processos naturais são grandes e difundidos, já não tem sentido estudar apenas os ciclos hidrológicos naturais. Por essa razão, alguns estudos começaram a considerar o impacto das intervenções humanas nos ciclos, simulando mais realisticamente os ciclos hidrológicos em escala global. Esses estudos abordam as interferências e alterações realizadas pelos seres humanos nos recursos hídricos, no fluxo dos rios e na regulação do regime desses fluxos, incorporadas em importantes reservatórios, por exemplo (Oki; Kanae, 2006).

A distribuição regional dos recursos hídricos no Brasil é de 70% para a região Norte, 15% para a Centro-Oeste, 12% para as regiões Sul e Sudeste, que apresentam o maior consumo de água e 3% para a Nordeste. Essa região, além da carência de recursos hídricos, tem sua situação agravada por um regime pluviométrico irregular e pela baixa permeabilidade do terreno cristalino (Borsoi; Torres, 1997).

A gestão de recursos hídricos através de bacia hidrográfica tem papel fundamental na gestão ambiental porque a água é um indicador que se presta a modelagens de simulação. É possível reproduzir o funcionamento hidráulico e ambiental a partir de uma base técnica: informação sobre apropriação (uso e poluição) da água e características fisiográficas da bacia e do corpo d'água em si (Borsoi; Torres, 1997).

A bacia hidrográfica é crescentemente reconhecida como unidade espacial utilizada em estudos de gestão para o planejamento territorial, tendo os estudos relativos à rede de drenagem função relevante para a compreensão do espaço geográfico e o desenvolvimento de projetos e ações para melhoria das condições ambientais (Briguenti, 2005).

Dentro da proposta geossistêmica, a bacia hidrográfica permite que se estabeleça uma relação de causa-efeito entre seus elementos e processos e suas interações condicionam localmente consequências que, na prática, são responsáveis por muitas das adversidades observadas atualmente nas cidades. É consenso que a degradação dos recursos de uma bacia hidrográfica está estreitamente relacionada a seus padrões de ocupação (Briguenti, 2005).

A bacia do rio Paraná, região de estudo deste trabalho, fica no continente sul-americano, numa área ampla e sedimentar que inclui porções territoriais do Brasil meridional, do Paraguai oriental, do nordeste da Argentina e do norte do Uruguai, em 1,5 milhão de quilômetros quadrados. A bacia tem uma forma ovalada e é contornada por limites erosivos relacionados ao passado geotectônico e mesocenoico do continente (Milani, 1997).

As atividades econômicas na bacia do rio Paraná são essencialmente dependentes da agricultura, bem como da geração de energia elétrica, devido à localização da Usina Hidrelétrica de Itaipu, a maior geradora de energia renovável do planeta, no município de Foz do Iguaçu, Paraná e em Hernandarias, Paraguai. Diante de tal consideração, existe uma ligação estreita entre as produções agrícolas e de energia e as condições de tempo, principalmente relativas às precipitações (Nery; Carfan, 2002).

Essa conexão entre a economia de uma região e as condições atmosféricas sugere um estudo aprofundado, do ponto de vista meteorológico, no sentido de um melhor entendimento físico da circulação atmosférica e da correspondência entre ritmo climático e calendário agrícola, por exemplo (Kousky; Casarin, 1986).

Sendo a qualidade e a quantidade das águas reflexos da atuação humana, e, por se tratar de uma área estratégica, de intensa industrialização e urbanização, a bacia do rio Paraná demanda estudos e análises no que tange à distribuição da precipitação em seu território. Trata-se de uma unidade territorial de planejamento para atuação não só do poder público, mas também da sociedade civil e de seus usuários e, entre as muitas ações que podem ser viabilizadas no planejamento ambiental de uma bacia, está a estimativa da variabilidade da precipitação local.

Para tanto, usam-se índices de quantificação diária e mensal denominados índice de concentração (IC) e índice de precipitação concentrada (IPC).

O IC é usado para medir a sazonalidade e a heterogeneidade diária da precipitação, desenvolvido por Javier Martin-Vide (2004). O IPC quantifica a precipitação mensal e a heterogeneidade da precipitação em um ano, desenvolvido por Oliver (1980) e De Luis et al. (1997).

Em grandes áreas da Península Ibérica da Espanha, segundo Martin-Vide (2004), os problemas hidrológicos são resultado da alta intensidade e dá má distribuição temporal das chuvas. Situação semelhante também ocorre no estado de São Paulo, por exemplo, que concentra altas porcentagens do total anual em poucos dias muitos chuvosos, especialmente na estação do verão (dezembro a março), e a região Nordeste, que sofre com longos e severos períodos de estiagem, bem como outros pontos do país.

As estimativas feitas por meio dos índices de concentração na Espanha mostraram quantidades anuais de precipitação modestas. Estima-se que a precipitação anual média não ultrapasse 600 mm, embora esse fato esconda extremos muito distintos (Martin-Vide, 2004).

Na China, desde a década de 1990, há uma alta frequência de inundações nos sete grandes vales fluviais, e tanto inundações quanto desastres geológicos aumentaram devido aos intensos eventos de precipitação e o conseqüente aumento do grau de concentração, gerando catástrofes frequentes causadas pelas inundações (Li, X.; Jiang; Wang, 2011; Feng; Wang; Li, J., 1998; Li, J.; Wang; Chen, J., 2000; Ren; Wu; Chen, Z., 2000; Yan; Yang, 2000; Zhang et al., 2009).

Em Xinjiang, China, os valores encontrados para IC da precipitação variam de 0,03 a 0,63, o maior valor alcançado foi 0,70 em Yanqi, na bacia do rio Kaidu e em Yutian e Ruoqiang, no sudeste de Xinjiang, onde aproximadamente 80% da precipitação contribui por 25% dos

dias mais chuvosos. Os valores mais baixos foram encontrados em Habahe, Tacheng, Yining e Tasgkuergan, localizados na parte oeste de Xinjiang (IC = 0,58), onde 69% da precipitação contribui para 25% dos dias mais chuvosos (Li, X.; Jiang; Wang, 2011).

Alijani, O'Brien e Yarnal (2008) estudaram a concentração da precipitação no Irã e relacionaram-na à urbanização intensa e ao crescimento desordenado dos centros urbanos iranianos, comparando-os com centros urbanos brasileiros como a cidade de São Paulo e ressaltando, por exemplo, o crescimento desses centros em detrimento de suas áreas rurais. Esse processo resultou na diminuição da cobertura vegetal e na erosão do solo, o que agrava as condições de inundações repentinas em áreas urbanas e também nas rurais.

O maior valor de IC encontrado no Irã está nas costas do Golfo Pérsico e do Mar Cáspio e é superior a 0,70 no sul e superior a 0,68 no norte, ou seja, nessas áreas, a maior parte da chuva cai em poucos dias. No sul e no sudoeste, valores altos de IC coincidem com inundações (Alijani; O'Brien; Yarnal, 2008).

O IC revela muitos problemas ambientais, incluindo erosão do solo, chuvas torrenciais e inundações repentinas, especialmente em áreas onde o total anual é baixo, inferior a 500 mm e a superfície terrestre está desnuda, como nas planícies costeiras do Golfo Pérsico (Alijani; O'Brien; Yarnal, 2008).

Coscarelli e Caloiero (2012) estimaram a concentração da precipitação em um ano no sul da Itália pelo IPC e constataram que uma distribuição desequilibrada de pluviosidade pode causar períodos de chuvas excessivas e períodos de seca, com um impacto negativo em plantas e culturas.

De um valor mínimo de 13,4 para um valor máximo de 20,5 o IPC no sul da Itália denotou sazonalidade na distribuição das chuvas, que não se dá de maneira uniforme em todo o território, pois a sazonalidade é mais acentuada no lado oriental da região, com picos no meio da costa do mar Jônico (Coscarelli; Caloiero, 2012).

De Luis et al. (2011) estudaram as mudanças na concentração da precipitação na Espanha, de 1946 a 2005. O IPC variou de 10, nos Pirineus centrais, a 20 no sudeste do país. Em geral, valores mais baixos estão concentrados no norte da Península Ibérica, contra valores mais elevados no sul e ao longo da costa mediterrânea. Assim, aumentos significativos nos valores de concentração de precipitação foram encontrados principalmente na região central dos Pirineus, na bacia do Ebro, a nordeste e na cordilheira Ibérica a leste e sudoeste.

Calculado em escala sazonal, o IPC mostrou padrões complexos de precipitação na Península Ibérica. Durante o inverno, valores mais elevados do índice foram detectados no leste da Península Ibérica, ao longo da costa mediterrânea, enquanto valores mais baixos foram detectados nas zonas do norte. Na primavera, a precipitação é geralmente distribuída de maneira mais regular entre os meses, enquanto o verão é a estação em que se observaram os valores mais altos do índice (De Luis et al., 2011). Este estudo analisou a concentração da precipitação na bacia do rio Paraná com uma base de dados que compreende 44 anos (1970-2014) e foi homogeneizada pelos índices supramencionados e isolinhas de precipitação elaboradas no *software* Golden Surfer 13.¹

¹ Trata-se de um fornecedor líder de *software* de gráficos científicos, especializado no desenvolvimento de *software* que transforma dados simples e complexos em ferramentas visuais compreensíveis como mapas, gráficos e modelos.

Material e métodos

Os índices utilizados neste trabalho são estatísticos e foram aplicados à Climatologia com o objetivo de quantificar volumes diários e mensais da precipitação na bacia do rio Paraná. Cada um deles tem uma metodologia própria, e, no caso desta pesquisa, foram calculados no *software* R, que é um algoritmo.

O IC indica a contribuição de precipitação extrema para certas durações de tempo. Precipitações extremas estão associadas a inundações, portanto, o estudo desse índice tem méritos científicos e práticos, pois possibilita uma melhor compreensão dos eventos de inundação em uma determinada área de estudo (Shi et al., 2014).

Alterações nos valores do IPC parecem ser complexas e podem estar relacionadas com as características globais e sinóticas da atmosfera e com fatores locais que afetam as tendências da precipitação (De Luis et al., 2011), o que confere a importância de seu estudo e uso em análises climáticas.

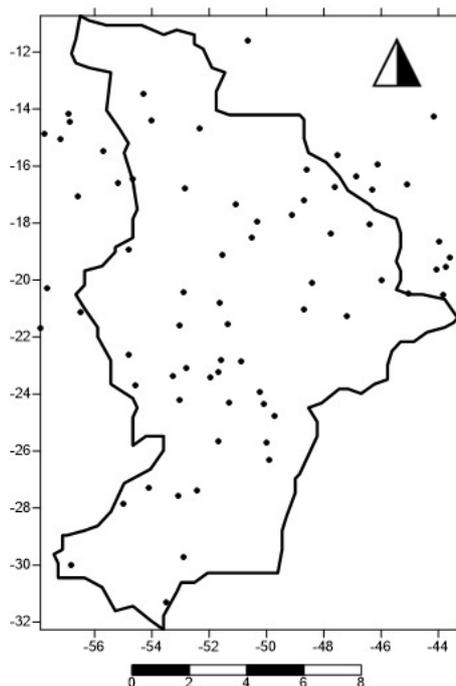
As estações meteorológicas com dados diários de precipitação foram coletadas no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA), no Portal SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Humanos). A área da bacia do rio Paraná (Figura 1) foi fragmentada, isto é, a coleta foi realizada individualmente em cada estado compreendido pela área de estudo no território brasileiro. Ao todo, são 67 estações pluviométricas distribuídas ao longo da área de estudo (Figura 2), e a escolha de cada uma delas obedeceu ao critério de melhor localização e distribuição espacial.

Figura 1 – Localização da área de estudo



organização: Beatriz Siqueira e Jonas Teixeira Nery, 2017.

Figura 2 – Distribuição espacial das estações pluviométricas na área de estudo



fonte: ANA ([s.d.]).
organização: Beatriz Siqueira, 2017.

Os dados de precipitação no Brasil ainda são muito inconsistentes, o que dificulta bons resultados nas pesquisas realizadas. Na maioria das estações da ANA, faltam dados de longos períodos, que devem ser completados com dados de estações vizinhas.

Devido a essa problemática extremamente significativa nos resultados finais do trabalho, buscou-se uma nova metodologia no que tange à disponibilidade de dados. Assim, passou-se a utilizar dados em ponto de grade, em formato NetCDF, um conjunto de dados disponível para a América do Sul, combinados de forma simples em campos diários de 1° e 2,5° (Liebmann; Allured, 2005).

Esses tipos de dados ajudam a compreender melhor a variabilidade da precipitação espacial. Mesmo na falta de topografia, a rápida variabilidade espacial e temporal da precipitação torna extremamente desafiador o diagnóstico do componente regional em grande escala, ou seja, uma descrição precisa da precipitação é um requisito de primeira ordem para estudos de clima e validação de modelos (Liebmann; Allured, 2005).

Liebmann e Allured (2005) afirmam que os campos fornecidos são totais diários de precipitação e contagens que dão o número de estações incluídas em cada ponto de grade para cada dia. Esse conjunto de dados é público, e o formato do arquivo é NetCDF, selecionado para compatibilidade entre plataformas e incorporação de coordenadas de grade e outros metadados úteis, disponível no *site* da ESRL ([s.d.]).

Os IPC foram calculados no *software* R, uma implementação da linguagem S desenvolvido no Bell Laboratories por Rick Becker, John Chambers e Allan Wilks, e também forma a base dos sistemas S-Plus. Existem aproximadamente 25 pacotes fornecidos com o R e muitos mais estão disponíveis na família CRAN, que podem ser obtidos em *sites* na *internet* (Cran, [s.d.]) (Venables et al., 2004).

Para calcular os índices estatísticos trabalhados nesta pesquisa, usou-se o pacote Precintcon, desenvolvido por Povia e Nery (2016), em que há diversos parâmetros de entrada como o objeto a ser analisado e o período que se quer trabalhar, de que deve constar o número de dias ou meses a serem agrupados durante o cálculo dos índices. Por exemplo:

- *precintcon.ci.per.year.analysis(d1, interval = 1)* para IC
- *precintcon.pci.analysis(d1)* para IPC

As isolinhas de precipitação foram elaboradas no *software* Golden Surfer 13, após a interpolação dos dados pelo método de krigging. Trata-se de um processo de estimativa por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, considerados interdependentes por uma função denominada semi-variograma (Landim; Sturaro, 2002).

A concentração das precipitações diárias e mensais foi quantificada na bacia do rio Paraná pelo IC (diário) e pelo IPC (mensal).

O IC elaborado por Javier Martin-Vide (2004) foi usado para determinar o impacto relativo que as diferentes classes de precipitação exercem na heterogeneidade da precipitação diária.

O fato é que em determinado período e lugar, a probabilidade de pequenas quantidades diárias de precipitação  maior que grandes quantidades, ou seja, tem-se uma classe mais baixa de precipitações diárias, o que interfere nas frequências absolutas, que também diminuem conforme avançam para os intervalos consecutivos (Brooks; Carruthers, 1953; Martin-Vide, 2004).

A equação é determinada por uma curva de concentração ou curva de Lorenz e  utilizada em muitas áreas (Shaw; Wheeler, 1994). A curva  traçada com ambos os eixos variando entre 0,0 e 100,0%, integrando uma área total de 10.000.

Assim, o ndice de Gini ($2S/10.000$) foi usado para quantificar o grau de concentração, onde S  a área contida pela bissetriz do quadrante e, assim, a curva de Lorenz. A integral definida da curva exponencial entre 0 e 100  a área sob a curva A' e pode ser representada pela equação abaixo:

$$A' = \left[\frac{a}{b} e^{b \cdot \text{Sum}(N_i)} \left(\text{Sum}(N_i) - \frac{1}{b} \right) \right]_0^{100} \quad (1)$$

Baseado nas áreas A' e S' e comprimido pela curva, a linha de equidistribuição e N_i (= 100)  a diferença entre 5.000 e o valor de A' . Os coeficientes a e b podem ser estimados por meio do método dos mínimos quadrados. Então, o IC, que se assemelha ao ndice de Gini, pode ser definido como:

$$IC = \frac{S'}{5.000} = \frac{(5.000 - A')}{5.000} \quad (2)$$

Assim, o valor de IC é a fração de S' e a área de superfície do triângulo inferior delimitada pela linha equidistribuição (Martin-Vide, 2004).

De modo geral, segundo Martin-Vide (2004), valores acima de 0,61 significam que 70% da precipitação total está dentro de 25% dos dias mais chuvosos.



SIQUEIRA, B.; NERY, J. T.

O IPC é um indicador na distribuição espacial e temporal da precipitação, tradicionalmente aplicado em escalas anuais. Quando o valor aumenta, significa maior concentração da precipitação. Além disso, o índice advém de outro índice, o de Fournier, especializado na análise de sistemas naturais como, por exemplo, a erosão do solo (De Luis et al., 2011).

O IPC modificado é expresso por:

$$IPC = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2} \quad (3)$$

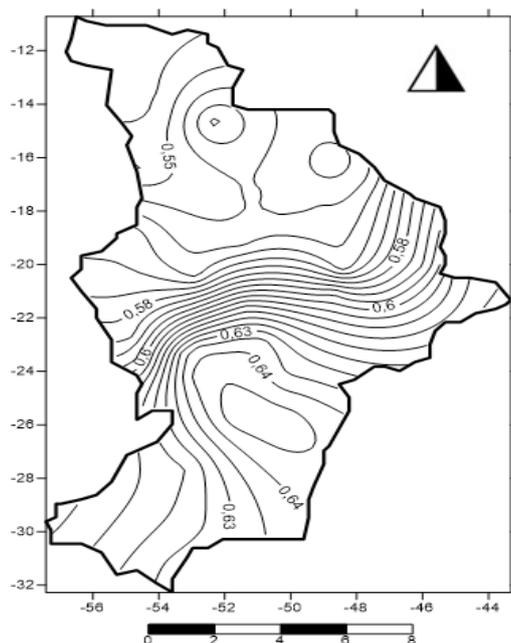
Onde p_i é a quantidade de chuvas do ith mês, calculado para cada um dos pluviômetros e para cada ano, durante o período de estudo. Conforme descrito por Oliver (1980), os valores de IPC anuais abaixo de 10 indicam uma distribuição de precipitação mensal uniforme, enquanto os valores entre 11 e 20 denotam sazonalidade na distribuição das chuvas. Valores acima de 20 correspondem a clima com marcada variabilidade mensal na quantidade de chuva.

Resultados e discussão

Os IC da foram calculados no período de 1970 a 2014, em todas as 67 estações pluviométricas. Os valores do IC variaram de 0,55 a 0,64 (Figura 3), e a concentração diária da precipitação aumenta de norte a sul, com IC máximo de 0,64 no centro-sul da bacia do rio Paraná, nos estados de São Paulo e Paraná. Esse resultado denota que 70% da precipitação cai em 25% dos dias mais chuvosos, de acordo com a classificação de Martin-Vide (2004), conotando à área uma condição de maior susceptibilidade a eventos extremos de inundações.

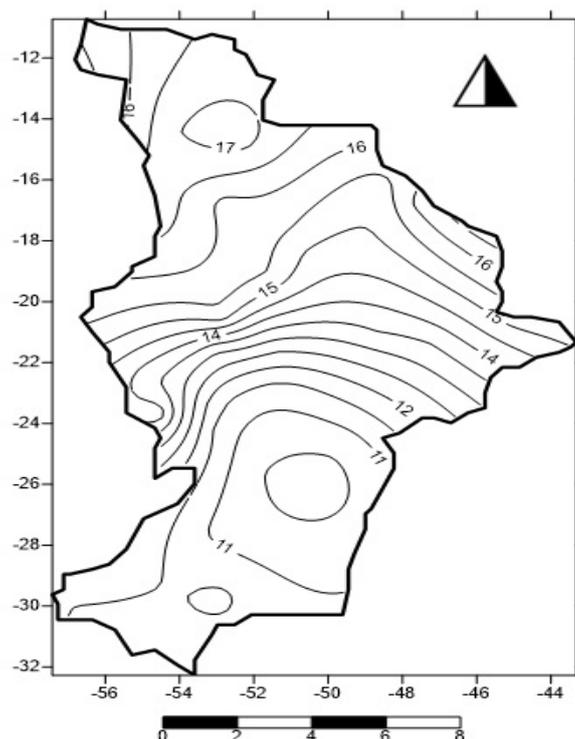
Os valores do IPC variam do mínimo 11 até o máximo 17 (Figura 4). A concentração mensal da precipitação ocorreu de maneira inversa à concentração diária, no extremo norte da bacia, próximo dos estados de Mato Grosso e Goiás, $IPC = 17$, denotando, segundo Oliver (1980), sazonalidade na distribuição das chuvas.

Figura 3 – IC na bacia do rio Paraná – 1970-2014



organização: Siqueira (2017).

Figura 4 – IPC na bacia do rio Paraná – 1970-2014



organização: Siqueira (2017).

Essa inversão de concentração das chuvas, se diária, maior no centro-sul da bacia e, se mensal, no extremo norte, deve-se à grande diversidade climática existente na área de estudo, composta por oito estados, distribuídos em três regiões, com diferentes dinâmicas climáticas atuantes.

A região Sul é influenciada por sistemas de altitudes médias associados à localização latitudinal, onde os sistemas frontais são a principal causa de chuvas ao longo do ano (Nery; Carfan, 2014). Sistemas frontais e vórtices ciclônicos de altos níveis operam nessa região durante o inverno (Gan; Rao, V., 1991).

Rao, V. e Hada (1990) mostraram que a variabilidade da precipitação no extremo sul do Brasil é significativa e algumas anomalias globais no comportamento atmosférico podem afetar a precipitação nessa região, o que fica evidente na Figura 3, pois a maior concentração diária de precipitação na área de estudo está no extremo sul do país. Essa variabilidade foi analisada por Berlato (1992), que concluiu ser ela um fator primário na flutuação da produção agrícola na região em tela.

A concentração intensa da precipitação no extremo sul do país e da bacia do rio Paraná também está associada à temperatura da superfície do Pacífico e do Atlântico Sul, pois o fenômeno meteorológico El Niño-Oscilação Sul desempenha um papel fundamental na variabilidade interanual das chuvas nesta região (Diaz; Studzinski; Mechoso, 1998).

A vasta área costeira do sul da bacia do rio Paraná também é considerada um fator determinante na dinâmica da precipitação, sofre influência do oceano Atlântico e, sendo assim, além da entrada dos sistemas frontais, apresenta outras dinâmicas importantes que delimitam seu regime de chuvas, como as frentes frias e a advecção de ar úmido que vem deste oceano (Nery; Carfan, 2014).

As demais áreas da bacia, que compreendem os estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal mostraram um IC entre 0,55 e 0,58, bem abaixo do IC encontrado no extremo sul do país, a partir de Santa Catarina e, especialmente, no Rio Grande do Sul.

Entretanto, a concentração mensal da precipitação foi maior nesses estados, atingindo a concentração máxima no extremo norte da bacia, em uma área próxima dos estados de Mato Grosso e Goiás.

No estado de São Paulo, a precipitação está marcada por uma onda anual com máximas em dezembro, janeiro e fevereiro (verão) e mínimas em junho, julho e agosto (inverno), variação explicada por Nery, Vargas e De Lourdes (2000) pela análise harmônica dessa onda anual que mostrou maior precipitação na região leste e nordeste do estado, o que está coerente com alguns aspectos físicos (orografia) e dinâmicos (circulação marítima) atuantes e que, também explica o aumento de IPC de 12 para 16 em direção ao nordeste do estado.

No Paraná, a variabilidade da precipitação se deve a diversos fatores, tanto estáticos quanto dinâmicos. Cortado ao norte pelo Trópico de Capricórnio, o estado apresenta uma orografia que varia até 1.000 m em relação ao nível do mar (Nery; Vargas; De Lourdes, 2000).

O IC nesse estado atinge o valor máximo de 0,64, com 70% da precipitação em 25% dos dias mais chuvosos, o que permite concluir que as chuvas são frequentes e intensas, em contraste com a concentração mensal, que é menor, entre 11 e 12.

Nery, Martins e Santanna (2002) estudaram as flutuações na escala anual e sazonal das precipitações no Brasil Meridional e constataram que os estados de São Paulo e do Paraná apresentam uma maior precipitação na costa; no primeiro, a precipitação aumenta de oeste para leste e é máxima na parte nordeste, onde a orografia concorre para esse aumento; já o Paraná tem a região costeira influenciada pela orografia e advecção de ar úmido do oceano Atlântico, apresentando uma precipitação maior.

A bacia do rio Paraná também abrange o extremo oeste de Minas Gerais, onde a concentração mensal começa a aumentar até atingir o seu máximo, IPC entre 16 e 17. Por sua localização geográfica, o estado sofre influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais, e podem-se identificar duas estações bem definidas: uma seca (inverno), na qual atuam a Frente Polar Atlântica (FPA) e o anticiclone subtropical do Atlântico Sul; uma chuvosa (verão), na qual predominam os sistemas convectivos associados ao aquecimento continental e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (Quadro; Abreu, 1994; Nobre, 1988; Rocha; Gandu, 1996).

Como os demais estados do Brasil, o Mato Grosso apresenta peculiaridades físicas e, entre elas, a altitude, fator que influencia diretamente a distribuição das chuvas. A bacia do rio Paraná abrange o sudoeste do estado, mais precisamente na região da Chapada dos Guimarães e da Serra da Estrela (Marcuzzo; Melo; Rocha, 2011).

Essa área do estado do Mato Grosso tem altimetria variada, entre 400 e 800 metros, influenciando diretamente o valor das chuvas. O clima é Tropical Continental e alternadamente úmido e seco (Marcuzzo; Melo; Rocha, 2011). A concentração diária de precipitação nessa região é baixa, IC menor que 0,55, no entanto, apresenta os maiores IC mensais, denotando grande variabilidade sazonal na distribuição das chuvas.

No Mato Grosso do Sul a concentração diária de precipitação fica entre 0,55 e 0,58 e a mensal, entre 14 e 16. A porção nordeste do Mato Grosso do Sul está sob o controle das correntes de leste das massas polares e da massa tropical continental em menores proporções. No noroeste do estado, as correntes de leste também dividem o controle com a massa tropical continental, que atua em maiores proporções comparada com a região nordeste. No noroeste do estado, a atuação das massas polares se dá de maneira idêntica a região nordeste, entretanto, as atuações das massas polares vindas do Atlântico são maiores (Zavattini, 2009).

Em Goiás e no Distrito Federal, com IC e IPC semelhantes aos do Mato Grosso do Sul, o regime de chuvas foi estudado por Costa et al. (2012) e se mostrou análogo nos anos de 1947 a 2008, com algumas variações no nordeste de Goiás advinda da massa de ar atlântica continental.

No período classificado como úmido, de outubro a abril, o valor acumulado de precipitação atinge 2.300 mm na região norte de Goiás; de maio a setembro é o período seco e o valor acumulado fica entre 100 e 400 mm (Costa et al., 2012).

Conclusão

Sendo a bacia do rio Paraná uma área extensa, que abrange diferentes estados e regiões brasileiras, o uso de índices para quantificar a concentração da precipitação e estimar sua variabilidade se mostrou uma ferramenta eficaz e consistente. Os resultados acusam grande variabilidade na área de estudo.

O IC indica a contribuição da precipitação extrema, que, por sua vez, está associada a inundações, conferindo ao índice a capacidade de ajudar a compreender e conhecer possibilidades de ocorrência desse tipo de evento na área de estudo. O IPC está relacionado à expressiva diversidade das características climáticas da área de estudo, que afetam as tendências da precipitação.

O centro-sul da bacia é a área que apresenta maior concentração diária da precipitação pluvial e, assim, a mais suscetível a enchentes e inundações, de acordo com a classificação de Martin-Vide (2004).

O centro-oeste e o extremo norte da bacia apresentam as maiores concentrações mensais de precipitação pluvial, que estão associadas a fenômenos meteorológicos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul, à atuação de frentes frias e a diferentes massas de ar.

Ao longo do trabalho, verificou-se a importância agrícola e energética da área de estudo, sendo os índices ferramentas interessantes para o planejamento dessas atividades, já que permitem compreender melhor a região no que tange à distribuição e à variabilidade da precipitação, especialmente quando associados à dinâmica climática e aos sistemas sinóticos atuantes.

Referências

ALIJANI, B.; O'BRIEN, J.; YARNAL, B. Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 94, n. 1, p. 107-124, 2008.

- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em: 8 abr. 2016.
- BERLATO, M. A. The climate forecasting application in the decision-making process for the southern region of Brazil. In: **Workshop report on ENSO and seasonal to inter-annual climate variability, socio-economic impacts, forecasting and applications to the decision making process**. Florianópolis, SC, Brasil, 1992. p. 14-16.
- BORSOI, Z. M. F.; TORRES, S. D. A. A política de recursos hídricos no Brasil. **Revista do BNDES**, v. 4, n. 8, p. 143-166, 1997.
- BRIGUENTI, E. C. **O uso de geoindicadores na avaliação da qualidade ambiental da bacia do Ribeirão Anhumas, Campinas-SP**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- BROOKS, C. E. P.; CARRUTHERS, N. Handbook of statistical methods in meteorology. **Handbook of statistical methods in meteorology**, 1953.
- COSCARRELLI, R.; CALOIERO, T. Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region). **Journal of Hydrology**, v. 416, p. 145-156, 2012.
- COSTA, H. C.; MARCUZZO, F.; FERREIRA, O. M.; ANDRADE, L. R. Espacialização e sazonalidade da precipitação pluviométrica do estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 1, p. 87-100, 2012.
- CRAN. THE COMPREHENSIVE R ARCHIVE NETWORK. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org>. Acesso em: 4 jul. 2018.
- DE LUIS, M.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M.; LONGARES, L. A. Precipitation concentration changes in Spain 1946-2005. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1259-1265, 2011.
- DE LUIS, M.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; RAVENTÓS, J.; SÁNCHEZ, J. R.; CORTINA, J. Distribución espacial de la concentración y agresividad de la lluvia en el territorio de la comunidad valenciana. **Cuaternario y Geomorfología**, v. 11, n. 4, p. 33-44, 1997. Disponível em: [http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol11_2/cuaternario11\(3-4\)_03_.pdf](http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol11_2/cuaternario11(3-4)_03_.pdf). Acesso em: 6 jul. 2018.
- DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.
- ESRL. EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY. Disponível em: http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/brant.liebmman/south_america_precip.html. Acesso em: 8 out. 2016.
- FENG, Q.; WANG, A. S.; LI, J. S. The variation of precipitation in time and space and heavy rain flood disaster in China. **Journal of Natural Disasters**, v. 7, p. 87-93, 1998.
- FERREIRA, J. H. D.; NERY, J. T. Análise de componentes principais da precipitação do estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu-PR, 2002. CD-ROM.

- GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v. 119, n. 5, p. 1293-1302, 1991.
- KOUSKY, V. E.; CASARIN, D. P. Anomalias de precipitação no Sul do Brasil e variação na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 83-90, 1986.
- LANDIM, P.M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro-SP: DGA, 2002.
- LI, J. S.; WANG, A. S.; CHEN, J.T. Spatial-temporal variation of precipitation leads to the serious flood and drought in Yangtze River Valley. **Disaster Reduction in China**, v. 9, n. 4, p. 27-40, 2000.
- LI, X.; JIANG, F; LI, L.; WANG, G. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 11, p. 1679-1693, 2011.
- LIEBMANN, B.; ALLURED, D. Daily precipitation grids for South America. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 86, n. 11, p. 1567-1570, 2005.
- MARCUZZO, F. N.; MELO, D. C. R.; ROCHA, H. M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 157-167, 2011.
- MARTIN-VIDE, J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. **International Journal of Climatology**, v. 24, n. 8, p. 959-971, 2004.
- MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- NERY, J. T.; CARFAN, A. C. Re-analysis of pluvial precipitation in southern Brazil. **Atmosfera**, v. 27, n. 2, p. 103-115, 2014.
- NERY, J. T.; MARTINS, M. L. O. F.; SANT'ANA, J. L. N. Variabilidade da precipitação no Brasil Meridional. **Technology –Acta Scientiarum**, v. 24, p. 1687-1695, 2002.
- NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; DE LOURDES, M. O. Estimativa da precipitação do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000.
- NOBRE, C. A. Ainda sobre a zona de convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, v. 3, n. 4, p. 30-33, 1988.
- OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, v. 313, n. 5790, p. 1068-1072, 2006.
- OLIVER, J. E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. **The Professional Geographer**, v. 32, n. 3, p. 300-309, 1980.

- POVOA, L. V.; NERY, J. T. **Manual do usuário do pacote Precintcon**. Laboratório Computacional da Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2016.
- QUADRO, M. F. L.; ABREU, M. L. Estudo de episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, 1994. **Anais...** São José dos Campos-SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994.
- RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the southern oscillations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.
- REN, G. Y.; WU, H.; CHEN, Z. H. Spatial patterns of change trend in rainfall of China. **Quarter Journal of Applied Meteorology**, v. 11, p. 322-330, 2000.
- ROCHA, A. M. G. C.; GANDU, A. W. A zona de convergência do Atlântico Sul. **Climanálise Especial**, p. 140-142, 1996. Número especial.
- SHAW, G.; WHEELER, D. **Statistical techniques in geographical analysis**. New York: Halsted Press, 1994.
- SHI, P.; QIAO, X.; ZHOU, M.; QU, S.; MA, X.; ZHANG, Z. Spatial distribution and temporal trends in daily and monthly precipitation concentration indices in the upper reaches of the Huai River, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, n. 2, p. 201-212, 2014.
- VENABLES, W. N.; SMITH, D. M.; R Development Core Team. An introduction to R. Bristol: Network Theory, 2004.
- VY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217-231, 1998.
- YAN, Z. W.; YANG, C. Geographic patterns of extreme climate changes in China during 1951-1997. **Climatic and Environmental Research**, v. 5, p. 267-271, 2000.
- ZAVATTINI, J. A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática**. São Paulo: Ed. Unesp, 2009.
- ZHANG, Q.; XU, C. Y.; MARCO, G.; CHEN, Y. P.; LIU, C. L. Changing properties of precipitation concentration in the Pearl River basin, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 23, p. 377-385, 2009.