A ocorrência de eventos extremos de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí

Resumo

As mudanças climáticas globais podem aumentar a variabilidade associada à duração, à intensidade e ao local de ocorrência de eventos extremos de precipitação. Neste cenário, a gestão dos recursos hídricos tende a se tornar cada vez mais dependente da compreensão dos efeitos locais desses fenômenos. Em 2014, o estado de São Paulo passou por uma das secas mais intensas já registradas, o que afetou a disponibilidade hídrica. Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é avaliar como a Bacia do Rio Jundiaí, que contempla um dos principais polos econômicos do estado de São Paulo, tem sofrido com a ocorrência de eventos extremos de precipitação. Para cumprir este objetivo, dados de precipitação correspondente ao período 1961-2014 foram utilizados para calcular o *Standardized Precipitation Index* (SPI). Os principais resultados mostram: aumento do volume de precipitação nos últimos anos, com exceção de 2014; concentração de anos extremamente chuvosos entre 2009 e 2012; tendência de aumento da ocorrência de eventos de excesso de precipitação no longo prazo com base nas análises do SPI. A sociedade precisa aprender a conviver com a variabilidade natural do clima, o que inclui os eventos climáticos extremos. Esse seria o primeiro passo para adaptar-se às mudanças climáticas globais e locais.

Palavras-chave: mudanças climáticas locais; *Standardized Precipitation Index*; secas; enchentes.

La présence de précipitations extrêmes dans le bassin de la rivière Jundiaí

**Résumé**

Les changements climatiques globaux peuvent augmenter la variabilité associée à la durée, à l'intensité et à l'emplacement des événements de précipitations extrêmes. Dans ce scénario, la gestion des ressources en eau tend à devenir de plus en plus tributaire de la compréhension des effets locaux de ces phénomènes. En 2014, l'état de São Paulo a connu une des sécheresses les plus intenses jamais enregistrées, ce qui a affecté la disponibilité de l'eau. Dans ce contexte, l'objectif principal est d'évaluer comment le bassin de la rivière Jundiaí, qui envisage l'un des principaux pôles économiques de l'État de São Paulo, a souffert de l'apparition de précipitations extrêmes. Pour atteindre cet objectif, les données sur les précipitations pour la période 1961-2014 ont été utilisées pour calculer l'indice de précipitations normalisé (SPI). Les principaux résultats montrent: augmentation du volume de précipitations ces dernières années, à l'exception de 2014; concentration d'années extrêmement pluvieuses entre 2009 et 2012; augmentation de la survenue d'événements de précipitations excédentaires à long terme sur la base des analyses SPI. La société doit apprendre à faire face à la variabilité naturelle du climat, qui comprend des phénomènes météorologiques extrêmes. Ce serait la première étape pour s'adapter au changement climatique mondial et local.

Mots-clés: changement climatique local; Indice de précipitations normalisé; séché; inondations.

The occurrence of extreme precipitation events in the Jundiaí River Basin

Abstract

Global climate change may increase the variability associated with the duration, intensity, and location of extreme precipitation events. Water resource management tends to be more dependent on the knowledge about the local effects of these phenomena. In 2014, the state of São Paulo experienced one of the most intense droughts ever recorded, which affected water availability. Therefore, the main objective is to evaluate how the Jundiaí River Basin, which contemplates one of the main economic regions of the state of São Paulo, has suffered from the occurrence of extreme precipitation events. To meet this objective, precipitation data for the period 1961-2014 were used to calculate the Standardized Precipitation Index (SPI). The main results highlights: increase in precipitation volume in the recent years, except for 2014; concentration of extremely rainy years between 2009 and 2012; tendency to increase the occurrence of excess precipitation events in the long term based on SPI analyzes. Based on the SPI analyzes, there is a long-term tendency to increase the occurrence of excessive precipitation events. Society must learn to cope with natural climate variability, which includes extreme weather events. This would be the first step in adapting to global and local climate change.

**Keywords**: local climate changes; Standardized Precipitation Index; drougths; floodings.

# Introdução

As discussões a respeito das mudanças climáticas têm se concentrado em seus efeitos na escala global (IPCC, 2015). Isso tem contribuído para colocar em segundo plano os efeitos já em curso há séculos na escala local, tais como cheias e inundações, alterações no microclima e a elevada emissão e concentração de gases de efeito estufa (Barbi, 2015; Barros, Mendes, & Castro, 2015; Ecological & Footprint, 2014). As mudanças no uso e na ocupação das terras representam uma importante fonte das alterações na dinâmica climática na escala local. As mudanças climáticas tem sua origem na escala local a partir das mudanças no uso e ocupação das terras. O aumento da escala de intervenção humana no meio ambiente tem levado ao surgimento dos problemas ambientais em escala global (Marques, 2015), e não o contrário. O desmatamento, por exemplo, contribui para a redução quase imediata da capacidade natural de retenção do solo e da taxa de infiltração da água, acelerando a erosão hídrica, o assoreamento dos corpos d’água e a ocorrência de cheias e inundações (GIBB et al., 2014; MEA, 2003).

Em um contexto de agravamento da ocorrência de eventos climáticos extremos em todo o mundo (Agência de Notícias dos Direitos da Infância – ANDI, 2010; Alexander et al., 2006; Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres – CEPED, 2013; J. A. Marengo et al., 2011; J. A. Marengo, Schaeffer, Pinto, & Zee, 2009; Ministério da Integração Nacional, 2017; National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, 2017), a discussão dos efeitos climáticos na escala local se torna fundamental para subsidiar a definição de políticas ambientais e a gestão dos recursos naturais. O Relatório do IPPC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* – *Climate Change 2014: Synthesis Report* (IPCC, 2014) apresenta um conjunto de evidências sobre a ocorrência de eventos extremos em várias partes do mundo, especialmente nos países menos desenvolvidos de clima tropical. O relatório destaca que as (IPCC, 2014, p. 53), “mudanças extremas no clima e eventos climáticos extremos têm sido observados desde a década de 1950”.

Segundo (MARENGO, 2008, p. 86), “O Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e mais ainda às que se projetam para o futuro, especialmente quanto aos eventos climáticos extremos”. As informações disponíveis sugerem um aumento na ocorrência de eventos extremos no Brasil, os quais têm afetado o bem-estar das pessoas, perda material e econômica, de vidas humanas e da qualidade ambiental conforme revelado pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED, 2013), Zanirato e Ribeiro (2014) e as notícais publicadas pela Agência de Notícias dos Direitos da Infância (ANDI, 2010). Cabe destacar que o crescimento demográfico e da urbanização (IBGE, 2018) podem contribuir para amplificar os efeitos negativos dos eventos extremos sobre o bem-estar das pessoas. Essas evidências reforçam a tese de que o agravamento de um evento está diretamente relacionado à vulnerabilidade ambiental dos espaços ocupados pela sociedade (Barros et al., 2015).

O Brasil tem enfrentado inúmeros climáticos eventos extremos (Agência de Notícias dos Direitos da Infância – ANDI, 2010; Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres – CEPED, 2013; J. A. Marengo et al., 2009; Zanirato & Ribeiro, 2014), embora a população reconheça que estes eventos já estejam ocorrendo (Bursztyn, Eiró, Bursztyn, & Eiró, 2015), as ações adotadas ainda tem sido insuficientes para reverter o quadro de aumento do risco ambiental (Garcia & Buainain, 2017). As áreas urbanizadas têm sofrido com as secas, o aumento da temperatura média, a intensidade das precipitações, a ocorrência de ventos intensos (Barbi, 2015; Barros et al., 2015; Garcia, 2016; Ribeiro & Santos, 2016) e deslizamentos e movimentos de massa (Dias, Vieira, & Gramani, 2016). Em março de 2011, por exemplo, o litoral do estado do Paraná sofreu com a intensidade de precipitação, resultando em inundações e deslizamentos e em um prejuízo estimado em mais de R$ 100 milhões (Barros et al., 2015).

No estado de São Paulo, o mais populoso do país (Egler, Bessa, & Gonçalves, 2013), que já sofre historicamente com as inundações nos centros metropolitanos (Museu da Cidade de São Paulo, 2017; Ross, 2001), observou-se uma das maiores secas em 2014[[1]](#footnote-1) (Jacobi et al., 2015; Senado Federal, 2015; Soriano et al., 2016). O caso do estado de São Paulo ilustra o aumento da variabilidade climática com a frequente ocorrência de inundações e agora com a seca. Desse modo, a identificação e análise da ocorrência de eventos extremos de precipitação (EEP) em áreas urbanas pode subsidiar as ações para aprimorar a gestão ambiental e as políticas ambientais. Neste contexto, o problema de pesquisa abordado neste estudo é em que medida a ocorrência de EEP tem impactado a Bacia do Rio Jundiaí (BRJ), que contempla um dos principais polos econômicos do estado de São Paulo?

A BRJ é de particular interesse por formar parte do território do Comitê das bacias do PCJ – Piracicaba, Capivari e Jundiaí –, considerado o mais organizado e eficiente do Brasil conforme pode ser verificado em PCJ (2017). Apesar disso, a disponibilidade da água continua sendo um fator limitante para o desenvolvimento econômico local, além dos problemas relacionados com a intensidade das precipitações. A hipótese de trabalho é de que os EEP estariam se intensificando na BRJ, exigindo a urgência de políticas ambientais que levem em conta este cenário. Para verificar a validade da hipótese, foi estimado o *Standardized Precipitation Index* (SPI) para a BRJ na tentativa de identificar a ocorrência e a intensidade dos EEP entre 1961 e 2014.

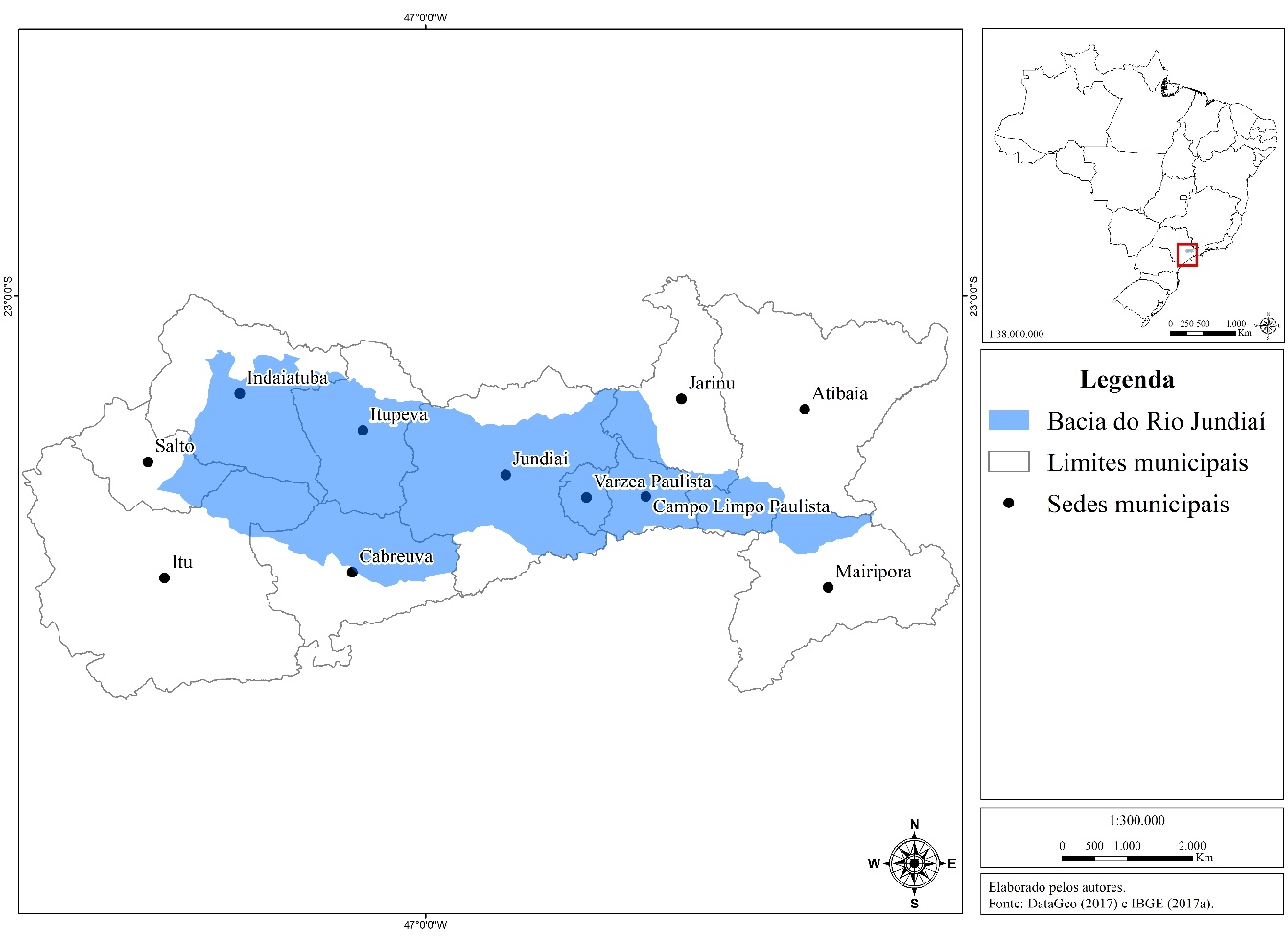
O trabalho está organizado em três seções além desta introdução e das considerações finais. A próxima seção apresenta as informações sobre os materiais e métodos usados no estudo. Nas duas seções seguintes são apresentados os principais resultados e a discussão.

# Material e Métodos

# Área de estudo: A Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí (BHRJ), localizada na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI PCJ) do estado de São Paulo (Mapa 1).

Mapa 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí



Fonte: preparado pelos autores com base em (DATAGEO – Sistema Ambiental Paulista, 2018; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018).

A área da BHRJ foi estimada em 118 mil hectares (1.180 km²), que inclui territórios de 11 municípios[[2]](#footnote-2), mas apenas 7 deles possuem suas sedes na BHRJ (Mapa 1), abrigando 1,3 milhão de pessoas em 2010, resultando em uma densidade demográfica de 800 hab./km2 e taxa de urbanização de 96,7% (Tabela 1)[[3]](#footnote-3).

Tabela 1 – Informações demográficas do estado de São Paulo e da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí (BHRJ) por município, dados do Censo Demográfico 2010

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Municípios** | **População** | **% da população** | **% da área do território¹** | **Taxa de urbanização** |
| **Município com sede na área da BHRJ** | | | | |
| Cabreúva | 41.604 | 3,1% | 10,3% | 84,8% |
| Campo Limpo Paulista | 74.074 | 5,6% | 6,7% | 100,0% |
| Indaiatuba | 201.619 | 15,2% | 15,4% | 99,0% |
| Itupeva | 44.859 | 3,4% | 13,7% | 86,8% |
| Jundiaí | 370.126 | 27,8% | 27,8% | 95,7% |
| Salto | 105.516 | 7,9% | 5,0% | 99,3% |
| Várzea Paulista | 107.089 | 8,0% | 3,0% | 100,0% |
| **Subtotal** | **944.887** | **71,0%** | **81,9%** | **96,7%** |
| **Município com sede fora da área da BHRJ** | | | | |
| Itu | 154.147 | 11,6% | 5,9% | 93,6% |
| Mairiporã | 80.956 | 6,1% | 3,3% | 87,4% |
| Atibaia | 126.603 | 9,5% | 4,7% | 91,0% |
| Jarinu | 23.847 | 1,8% | 4,2% | 77,3% |
| **Subtotal** | **385.553** | **29,0%** | 18,1% | **90,4%** |
| **Bacia do Rio Jundiaí** | **1.330.440** | **100,0%** | **100,0%** | **94,9%** |
| **Estado de São Paulo** | 41.262.199 | **3,2%** | **-** | 95,9% |

Fonte: preparado pelos autores com base em (Atlas Brasil, 2018; IBGE, 2018).

¹ a área da Bacia do Rio Jundiaí foi estimada com base em (DATAGEO – Sistema Ambiental Paulista, 2018).

Cabe destacar que a BHRJ é uma das regiões mais importantes do estado em termos econômicos, o Produto Interno Bruto (PIB) foi de R$ xxx bilhões em 201x, com um pujante parque industrial, o PIB Industrial foi de R$ xx bilhões em 201x, e que ainda apresenta um ritmo intenso de crescimento demográfico, entre 2000 e 201x a taxa de crescimento demográfico foi de xx% ao ano (IBGE, 2018). Apesar de sua importância econômica e social, a área de estudo abriga remanescentes do Bioma[[4]](#footnote-4) Mata Atlântica. A área original de ocorrência do Bioma Mata Atlântica no Brasil é de 1.110.182 km² (IBGE, 2004)[[5]](#footnote-5), mas restam apenas 8,5% de remanescentes com área maior que 100 hectares (SOSMA, 2017). Mesmo diante do elevado grau de degradação, os relatórios “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica” da ONG[[6]](#footnote-6) SOSMA (SOS Mata Atlântica), preparados em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), continuam indicando que ainda persiste a supressão da sua cobertura florestal. Entre 2014 e 2015 a área desmatada na Mata Atlântica alcançou 184 km² (18.433 hectares), representa 0,2% dos remanescentes florestais (SOSMA, 2017b).

Esse cenário revela que a taxa de cobertura vegetal por município reforça os dados sobre o elevado grau de degradação do Bioma na BHRJ, porque quase a totalidade da bacia apresenta taxas inferiores a 30% (DATAGEO, 2017). A vegetação representa um dos mais importantes elementos da qualidade ambiental de uma região. Neste sentido, o estado de conservação e de continuidade da cobertura vegetal influenciam no fluxo de bens e serviços ecossistêmicos (SE’s) essenciais para a sociedade e para a economia (MMA, 2017). Desse modo, a possibilidade de ocorrência de eventos extremos de precipitação pode elevar o grau de perda de bem-estar humano (MEA, 2003), resultando em prejuízos para toda a sociedade.

# *Standardized Precipitation Index (SPI)*

O *SPI* foi desenvolvido em 1993 para auxiliar na quantificação e no monitoramento de eventos de secas (Mckee, Doesken, & Kleist, 1993). Contudo, o SPI também passou a ser usado para quantificar e monitorar eventos relacionados ao excesso de precipitação (Seiler, Hayes, & Bressan, 2002). Um aspecto positivo do SPI é o uso apenas de dados de precipitação. Contudo, recomenda-se o uso de séries históricas com valores mensais superiores a 20 ou 30 anos, se possível, que as séries tenham 50 ou 60 anos (WMO – World Meteorological Organization, 2012).

As séries históricas devem ser ajustadas a uma distribuição de probabilidade para o cálculo do SPI. A distribuição mais usada para o cálculo é a Gama. Para auxiliar na interpretação dos resultados, transforma-se a série em uma distribuição normal, assim, o SPI para uma determinada localidade terá média zero (Shah, Bharadiya, & Manekar, 2015). O cálculo da função densidade de probabilidade para a distribuição Gama é dado por:

(1)

Onde α > 0 representa o parâmetro de forma, β > 0 o parâmetro escalar e x > 0 o volume de precipitação.

A função Gama – Γ(α) – é dada por:

(2)

Onde os parâmetros α e β são estimados para cada uma das localidades ou estação pluviométrica e para todos os meses do ano conforme:

(3)

(4)

Onde n é o número de observações.

Os parâmetros α e β são usados na integração da função de probabilidade g(x) em relação a x, cujo resultado é a probabilidade cumulativa de precipitação G(x) para um determinado mês:

(5)

Considerando t = x/β a (5) se torna a função Gama incompleta:

(6)

Cabe destacar que a Função Gama não é definida para x = 0, porque os valores de precipitação podem apresentar valores nulos, ou seja, sem a ocorrência de precipitação. Desse modo, a função de probabilidade é redefinida para:

(7)

Onde q representa a probabilidade de que a precipitação tenha valor zero.

Por último, H(x) é transformada em uma variável padrão Z, a qual corresponde ao valor do *SPI*:

(8)

(9)

Onde:

(10)

(11)

E os valores das constantes são: c0 = 2,515517; c1 = 0,802853; c2 = 0,010328; d1 = 1,432788; d2 = 0,189269; d3 = 0,001308 (Bordi et al., 2001).

A interpretação do SPI pode ser realizada com base no sistema de classificação (Quadro 1). Os eventos extremos são representados por valores de SPI superiores a 1,5, indicando um período muito ou severamente chuvoso, ou por valores do SPI inferiores a -1,5, que corresponde a um período severa ou extremamente seco.

Quadro 1 – Sistema de Classificação dos Valores do *SPI*

|  |  |
| --- | --- |
| **Intervalos do SPI** | **Interpretação** |
| De 2 ou mais | Extremamente chuvoso |
| De 1,5 a 1,99 | Muito chuvoso |
| De 1,0 a 1,49 | Moderadamente chuvoso |
| De -0,99 a +0,99 | Próximo ao normal |
| De -1,0 a -1,49 | Moderadamente seco |
| De -1,5 a -1,99 | Severamente seco |
| De -2 ou mais | Extremamente seco |

Fonte: preparado pelos autores com base em (Mckee et al., 1993).

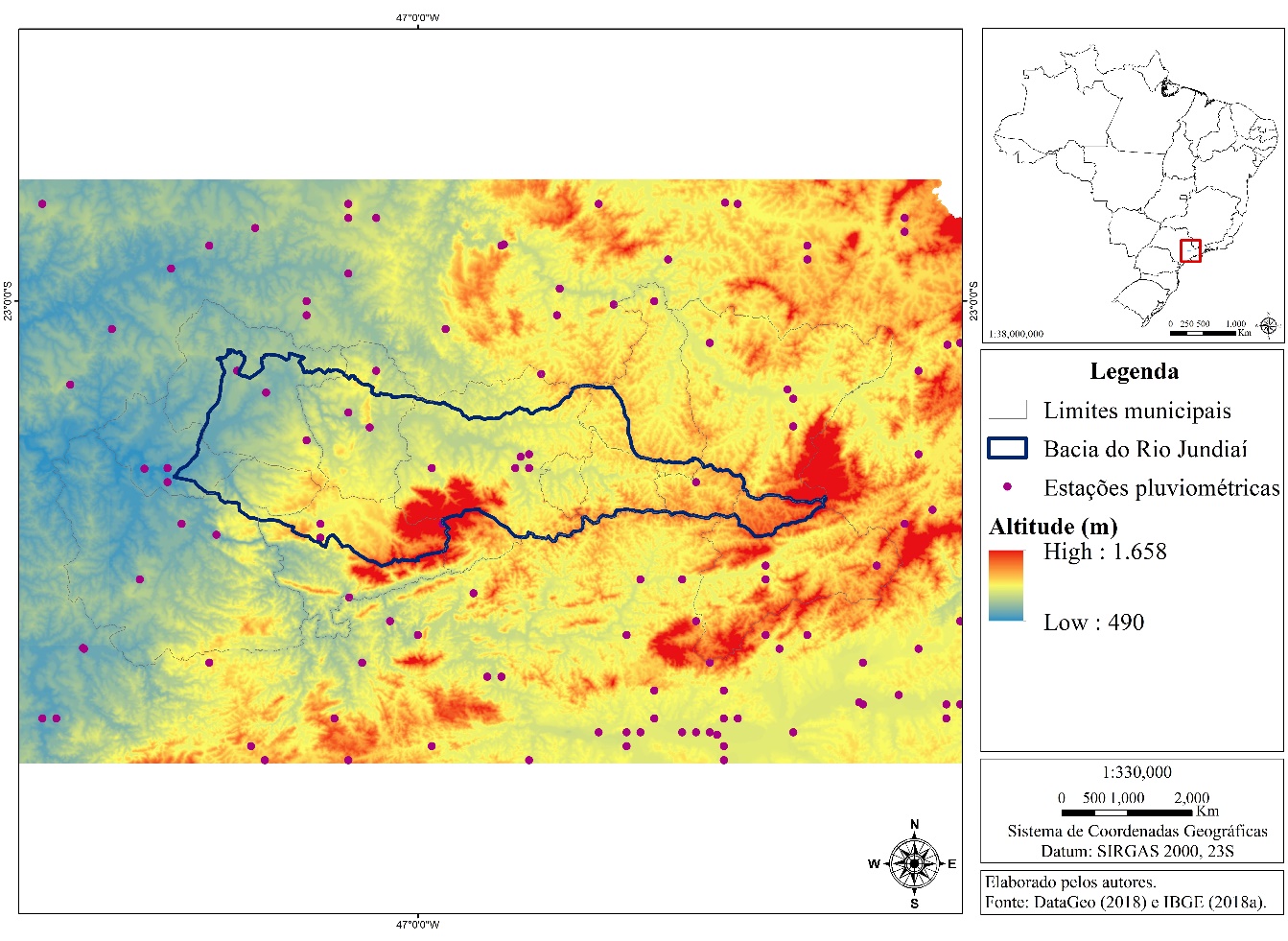
São considerados eventos extremos, excesso de precipitação ou seca, quando o SPI apresentar valores iguais ou superiores 2. O SPI também pode ser usado para identificar eventos extremos de precipitação em diferentes escalas de tempo: de 1 a 2 meses para secas meteorológicos; de 1 a 6 meses para secas agrícolas; de 6 a 24 meses para secas mais severas (WMO – World Meteorological Organization, 2012). O estudo analisa o SPI 6, SPI 12 e SPI 24, os quais permitirão a identificação de eventos extremos de média e longa duração na área de estudo. O cálculo do *SPI* foi realizado com auxílio do Pacote SCI do *Software* R (Stagge, Tallaksen, Gudmundsson, Van Loon, & Stahl, 2016).

Por fim, foi efetuada uma avaliação de tendência nas séries históricas de SPI utilizando o teste de Mann-Kendall modificado (Debortoli et al., 2015; Group, 2012; Tozato, Dubreuil, & Mello-Théry, 2014). Esse teste, não paramétrico, é usado para detectar tendências monotônicas lineares e não-lineares em séries históricas aucorrelacionadas.

# Base de dados

Os dados diários de precipitação foram obtidos das estações pluviométricas pertencentes a rede da Agência Nacional de Águas (ANA), via HidroWeb, para o período de 1961 a 2014 (ANA, 2017) (Mapa 2). Como pode ser observado no mapa 2, o relevo da BHRJ não apresenta elevada cotas. O tratamento dos dados envolveu a remoção de valores discrepantes ou não condizentes com os níveis de precipitação observados na região, tais como valores inferiores a 0 mm ou superiores a 200 mm diários. Após o tratamento, os dados diários de precipitação das estações pluviométricas foram interpolados para os municípios da Bacia do Rio Jundiaí usando o método do Inverso da Distância Ponderada (IDP), disponível no pacote *gstat* do *Software* R (Pebesma, 2004). Como os dados de precipitação não estão disponíveis para toda a BHRJ, a sua espacialização pode auxiliar na realização do estudo. Conforme destacaram Mello et al. (2003), a interpolação pelo Inverso da Distância Ponderada pode ser utilizada para a espacialização dos dados de precipitação.

Mapa 2 – Modelo Digital de Elevação (MDE) e estações pluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí



Fonte: preparado pelos autores com base em Agência Nacional de Águas (ANA, 2017); DATAGEO – Sistema Ambiental Paulista (2018); IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018).

Em seguida, os dados diários de precipitação estimados para os municípios foram agregados para a escala mensal. As etapas de tratamento, interpolação e agregação dos dados foram efetuadas com o auxílio do *Software* R, do Suporte do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) *MySQL* e do pacote *RMySQL* (Ooms, James, Debroy, Wickham, & Horner, 2017). Por fim, os valores mensais de precipitação dos municípios foram utilizados para o cálculo do *SPI.*

# Resultados

O primeiro importante resultado é a curva de precipitação da média mensal da Bacia do Rio Jundiaí (Gráfico 1). Os resultados mostram que o período seco é junho a agosto – média mensal de 45 mm –, o chuvoso de setembro a abril – média mensal de 141 mm. Os meses mais chuvosos são dezembro, janeiro e fevereiro. O volume médio anual é da ordem de 1.400 mm.

Gráfico 1 – Amplitude de variação das precipitações (Pluviograma) médias mensais totais entre 1961 e 2014 na Bacia do Rio Jundiaí (mm)¹

Fonte: preparado pelos autores com base em (Agência Nacional de Águas - ANA, 2017).

Nota: ¹ média de janeiro de 1961 a dezembro de 2014.

A análise das médias anuais entre 1961 e 2014, preparada com base nos dados da Agência Nacional de Águas (ANA), revelou um aumento no volume precipitado na região (Gráfico 2), apesar da forte queda verificada em 2014. Entre 2006 e 2012 o volume médio alcançou 1.647 mm, mas em 2014 há uma drástica redução, média para 1.089 mm. Ao todo foram 271 dias sem a ocorrência de precipitações em 2014.

Gráfico 2 – Variação das precipitações anuais totais na Bacia do Rio Jundiaí (mm): 1961-2014

Fonte: preparado pelos autores com base em (Agência Nacional de Águas - ANA, 2017).

Para identificar a ocorrência de anos secos e chuvosos na BRJ, considerou-se como seco os anos em que a precipitação foi inferior ao percentil 10% em toda a série histórica, e chuvoso quando a precipitação foi superior ao percentil 90% em toda a série histórica. Os resultados revelaram que a região registrou 6 anos secos e 6 anos chuvosos no período analisado. Os períodos secos foram registrados nos anos de 1961, 1963, 1968, 1969, 1985 e 2014. Um aspecto interessante é que metade dos anos chuvosos foram registrados nos anos 2000, mais especificamente em 2009, 2011 e 2012. Esse resultado é interessante, porque as projeções do (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014) indicam um aumento do volume de chuvas na região Sudeste do Brasil (J. A. Marengo et al., 2009; Ministério da Ciência, 2016). Os demais anos chuvosos foram 1976, 1982 e 1983.

Os resultados revelam a ocorrência de eventos extremos secos e chuvosos na BRJ (Gráfico 3). Ao todo foram identificados 20 eventos extremamente chuvosos no SPI6 – concentrados em três períodos: de 07/1976 a 11/1976; de 03/1983 a 11/1983; de 11/2009 a 04/2010. Os 20 extremamente secos no SPI6 concentrados em cinco períodos: 10/1961 e 11/1961; de 06/1963 a 10/1963; de 12/1963 e 01/1964; de 03/1964 a 05/1964; de 11/1968 a 04/1969, além de duas ocorrências isoladas (07/1984 e 12/1999). O SPI12 revelou a ocorrência de 24 extremamente chuvosos concentrados em três períodos: de 08/1976 a 11/1976; de 03/1983 a 01/1984; de 12/2009 a 07/2010; além de uma ocorrência isolada (01/1977). Os 20 extremamente secos no SPI 12 ocorreram de 12/1963 a 08/1964 e de 01/1969 a 09/1969, além de duas ocorrências isoladas (10/1963 e 06/2000). No SPI24 os resultados indicam 22 extremamente chuvosos de 05/1983 a 05/1984 e de 01/2011 a 08/2011, e uma ocorrência isolada (09/1984). Os 21 extremamente secos no SPI 24 ocorreram de 03/1964 a 08/1964; de 10/1964 a 02/1965; de 02/1969 a 04/1969; de 06/1969 a 12/1969. Os resultados revelam que a BHRJ vem sendo impactada com a ocorrência de eventos extremos. Apesar da sua ocorrência, existe uma tendência de aumento?

Gráfico 3 – Resultados do SPI 6, SPI 12 e SPI 24 para a Bacia do Rio Jundiaí: 1961-2014

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |

Fonte: preparado pelos autores com base nos resultados do *Standardized Precipitation Index* (*SPI*).

Nota: os registros acima da linha azul representam a ocorrência de eventos extremamente chuvosos (eventos extremos chuvosos) e abaixo da linha vermelha eventos extremamente secos (eventos extremos secos).

Para identificar se há ou não tendência na ocorrência de eventos extremos foi realizado o teste Mann-Kendall modificado para SPI 6, SPI 12 e SPI 24. Os resultados revelam uma tendência de aumento do SPI 12 e SPI 24, da ocorrência de eventos de excesso de chuva de médio/longo e de longo prazo na BHRJ. Apesar da grande seca registrada em 2014, os resultados indicam que pode estar curso na região um aumento na ocorrência de eventos extremos relacionados com o excesso de chuvas. Como a área BHRJ não é grande, os eventos estariam ocorrendo em toda a sua extensão.

# Discussão

Segundo resultados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres – CEPED, 2013), entre 1991 e 2012 foram registrados no Brasil quase 39 mil ocorrências de origens “naturais”, tais como secas e estiagens, inundações, ciclones, granizo, geadas, incêndio florestal, movimento de massa, erosão fluvial, entre outros (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Totais de registros dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil, no período de 1991 a 2012

Fonte: preparado pelos autores com base em (Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres – CEPED, 2013).

Observa-se que as principais ocorrências registradas no período foram: estiagens e secas (20.009); enxurradas (8.056); inundação (4.694). No estado de São Paulo foram registradas 593 de enxurradas (18 na bacia do Rio Jundiaí); 236 inundações (8 na bacia do Rio Jundiaí); 116 ocorrências oficiais de estiagens e secas (; 112 alagamentos (2 na bacia do Rio Jundiaí). Cabe destacar que a ocorrência de eventos extremos na escala local envolve elementos exógenos – mudanças climáticas globais, aquecimento da temperatura do Planeta etc. – e endógenos – mudanças no uso e ocupação das terras, impermeabilização do solo etc. –, o que dificulta seu enfrentamento. Desse modo, a identificação da ocorrência de EEP na Bacia Rio Jundiaí coloca em discussão a necessidades de ações locais para amenizar os seus impactos, especialmente em termos de melhoria da qualidade ambiental.

Neste sentido, segundo Gondim et al. (2010), a sociedade precisa aprender a conviver com as mudanças na variabilidade natural do clima, o que inclui os eventos extremos, seria o primeiro passo para adaptar-se às mudanças climáticas globais e locais. Esse entendimento ajudaria na adoção de ações preventivas aos efeitos dos eventos extremos, tais como ações para o controle de inundações, sistemas de gestão ambientais mais adequados, zoneamentos de áreas inundações e mesmo de ocorrência de secas, sistemas de alertas e seguros. A gestão ambiental deveria incluir as seguintes medidas[[7]](#footnote-7): recuperação de séries históricas de dados climáticos e hidrológicos; criação ou aprimoramento do monitoramento hidrometeorológico; investimentos em ciência e tecnologia para aprimorar os modelos de previsão; estimular a adoção de práticas conservacionistas de uso e ocupação das terras na área rural e urbana; investimentos em saneamento básico em sentido amplo; fortalecimento do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos; regulamentação e fiscalização do uso do solo rural e urbano; envolvimento da comunidade local; reconhecimento da capacidade de suporte do ecossistema local (ou da bacia hidrográfica); inclusão da valoração dos recursos naturais e dos impactos ambientais no processo decisório; ações para redução da pobreza; educação ambiental que inclui a conscientização; entre outros. Os desafios postos pelo século XXI exigem uma profunda revisão da relação sociedade-economia-natureza, na tentativa de minimizar os seus custos socioeconômicos e ambientais.

# Conclusão

O elevado grau de urbanização da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí, que está relacionado à perda da cobertura vegetal, aumento da impermeabilização do solo, redução da taxa de infiltração da água, aumento do escoamento superficial em sua velocidade, redução do escoamento sub-superficial e subterrâneo, aumento das vazões máximas e a redução da evapotranspiração e aumento da temperatura local – contribuindo para as “ilhas de calor”, a ocorrência de eventos extremos de precipitação é algo que deve ser melhor investigado, afim de fornecer informações mais adequadas à gestão ambiental. Cabe destacar que a centralidade das discussões nas mudanças climáticas globais tem colocado em segundo plano as mudanças na dinâmica ambiental já em curso na escala local.

A ocorrência de eventos extremos de precipitação exige mais investimentos em infraestrutura hídricas, tais como reservatórios, canais, piscinões, entre outros, na tentativa de amenizar os efeitos sobre a disponibilidade hídrica, seja em períodos secos, seja com excesso de precipitação, os quais provocam enchentes, cheias ou inundações. Além disso, os sistemas de abastecimento de água das áreas urbanas podem operar com mais frequência no limite de sua capacidade em função da ocorrência de secas e estiagens. Em 2014, a crise hídrica da Região Metropolitana de São Paulo é uma importância evidência da gravidade da questão em função do tamanho da escala da demanda hídrica. O mesmo pode ocorrer com a produção agrícola em razão da ocorrência cada vez mais frequente de secas ou mesmo de excesso de precipitação. Em áreas urbanas ainda existe a possibilidade de ocorrência de deslizamentos de encostas, que podem ser agravados com o aumento da intensidade das precipitações, ou seja, com a ocorrência de eventos extremos de precipitação.

Diante desse novo contexto revelado pelos resultados, a sociedade precisará aprender a conviver com os eventos extremos. Desse modo, a sociedade precisa iniciar a adaptação das estruturas sociais existentes para o enfrentamento desse desafio. A adoção de práticas de conservação do solo tanto em áreas rurais quanto urbanas torna-se um requisito obrigatório na tomada de decisão. As ações para o enfrentamento desta nova realidade incluem a construção de bancos de dados ambientais em múltiplas escalas espaciais e com variáveis hidrológicas e climáticas, ampliação dos sistemas de monitoramento, apoio à pesquisa para melhorar os modelos de simulação e de previsão climática, incentivos a adoção de práticas conservacionistas, otimização do uso da água, fortalecimento do Sistema Nacional e Regional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, fiscalização do uso do solo, especialmente em áreas urbanas, promoção do zoneamento ecológico, incluindo valoração dos recursos naturais.

**Referências**

Agência de Notícias dos Direitos da Infância – ANDI. (2010). *Mudanças climáticas na imprensa brasileira: Uma análise comparativa da cobertura feita por 50 jornais entre julho de 2005 a dezembro de 2008*. Brasília-DF. Retrieved from http://www.andi.org.br/publicacao/mudancas-climaticas-na-imprensa-brasileira

Agência Nacional de Águas - ANA. (2017). HidroWeb. Retrieved September 3, 2017, from http://www.snirh.gov.br/hidroweb/

Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., … Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, *111*(D5), D05109. https://doi.org/10.1029/2005JD006290

Atlas Brasil. (2018). Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Retrieved March 3, 2018, from http://atlasbrasil.org.br/2013/

Barbi, F. (2015). *Mudanc̦as climáticas e respostas políticas nas cidades : os riscos na Baixada Santista* (1a). Campinas: Editora da Unicamp. Retrieved from http://www.editoraunicamp.com.br/lancamento\_detalhe.asp?id=1080

Barros, M. V. F., Mendes, C., & Castro, P. H. M. de. (2015). Vulnerabilidade socioambiental à inundação na área urbana de londrina – PR. *Confins*, (24). https://doi.org/10.4000/confins.10228

Bordi, I., Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A., & Sutera, A. (2001). The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: regional patterns. *Annals of Geophysics*, *44*(5–6). https://doi.org/10.4401/ag-3550

Bursztyn, M., Eiró, F., Bursztyn, M., & Eiró, F. (2015). Mudanças climáticas e distribuição social da percepção de risco no Brasil. *Sociedade e Estado*, *30*(2), 471–493. https://doi.org/10.1590/S0102-699220150002000010

Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres – CEPED. (2013). *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – 1991 a 2012*. Florianópolis. Retrieved from http://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012/

DATAGEO – Sistema Ambiental Paulista. (2018). Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo – IDEA-SP - DataGeo. Retrieved March 3, 2018, from http://datageo.ambiente.sp.gov.br/

Debortoli, N., Dubreuil, V., Funatsu, B. M., Delahaye, F., De Oliveira, C. H., Rodrigues Filho, S., … Fetter, R. (2015). Rainfall Patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1970-2010). *Climatic Change*, *132*(2), 251–269. https://doi.org/10.1007/s10584-015-1415-1

Dias, V. C., Vieira, B. C., & Gramani, M. F. (2016). Parâmetros morfológicos e morfométricos como indicadores da magnitude das corridas de detritos na Serra do Mar Paulista. *Confins*, (29). https://doi.org/10.4000/confins.11444

Ecological, L., & Footprint, E. (2014). A pegada ecológica como instrumento de avaliação ambiental para a cidade de Londrina, 1–21.

Egler, C. A. G., Bessa, V. de C., & Gonçalves, A. de F. (2013). Dinâmica territorial e seus rebatimentos na organização regional do estado de São Paulo. *Confins*, (19). https://doi.org/10.4000/confins.8602

Garcia, J. R. (2016). Avaliação do agravamento de inundações na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira, Paraná. *Confins*, (28). https://doi.org/10.4000/confins.11025

Garcia, J. R., & Buainain, A. M. (2017). Os desafios do risco ambiental no século XXI para o setor de seguro. *Espacios*, *38*(31), 11. Retrieved from https://goo.gl/NyLmST

Gibb, C., Miller, C., Sloman, I., Sessa, R., Braatz, S. M., Youth and United Nations Global Alliance, … Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). *The youth guide to forests*.

Gondim, J., Maranhão, N., Coimbra, M. R. S. C., Tröger, F. H., Fioreze, A. P., & Amorim, B. de. (2010). *Os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos: desafios para a gestão*. Brasília\_DF. Retrieved from http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20151106083606\_Os Efeitos das Mudanças Climáticas sobre os Recursos Hídricos - desafios para a gestão\_Link dentro do texto da apresentação.pdf

Group, S. M. (2012). fume: FUME package. Retrieved January 9, 2017, from https://cran.r-project.org/package=fume

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2004). Mapa de Biomas e de Vegetação. Retrieved September 5, 2017, from http://goo.gl/iUSfTR

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). IBGE | mapas. Retrieved March 3, 2018, from http://mapas.ibge.gov.br/

IBGE, I. B. de G. e E. (2018). Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Retrieved March 3, 2018, from https://sidra.ibge.gov.br/home/scnt/brasil

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *IPCC*.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva. Retrieved from https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\_AR5\_FINAL\_full\_wcover.pdf

Jacobi, P. R., Cibim, J., Leão, R. de S., Jacobi, P. R., Cibim, J., & Leão, R. de S. (2015). Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. *Estudos Avançados*, *29*(84), 27–42. https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200003

Marengo, J. A. (2008). Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, *22*(63), 83–96. https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006

Marengo, J. A., Nobre, C. A., Chan Chou, S., Tomasella, J., Sampaio, G., Alves, L. M., … Kay, G. (2011). *Riscos das mudanças climáticas no Brasil*. São Paulo. Retrieved from http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/relatorioport.pdf

Marengo, J. A., Schaeffer, R., Pinto, H. S., & Zee, D. M. W. (2009). *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*. Rio de Janeiro. Retrieved from http://proclima.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/28/2014/05/mc\_eventos\_extremos\_brasil.pdf

Marques, L. (2015). *Capitalismo e Colapso Ambiental* (1a). Editora da Unicamp.

Martinelli, M., & Marcello. (2010). Clima do Estado de São Paulo. *Confins*, (8). https://doi.org/10.4000/confins.6348

Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). Relationship of Drought Frequency and Duration Times Scales. In *8th Conference on Applied Climatology* (pp. 179–184). Janvier: American Meteorological Society. Retrieved from http://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1879505

MEA. (2003). Ecosystems and Human Well-being: A framework for Assessment. In *MA Conceptual framework* (pp. 1–25).

Mello, C. R., Lima, J. M., Silva, A. M., Mello, J. M., & Oliveira, M. S. (2003). Krikagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. *Revista Bras. de Ci. Solo*, *27*, 925–933. Retrieved from http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n5/v27n5a17.pdf

Ministério da Ciência, T. e I. – M. (2016). *Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil*. Brasília-DF. Retrieved from http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/index.php/estantes/diversos/3617-modelagem-climatica-e-vulnerabilidades-setoriais-a-mudanca-do-clima-no-brasil

Ministério da Integração Nacional. (2017). Série Histórica de Reconhecimentos Realizados 2003-2016. Retrieved August 22, 2017, from http://www.mi.gov.br/reconhecimentos-realizados

MMA, M. do M. A.-. (2017). *Mapas de cobertura vegetal*. Brasília-DF. Retrieved from http://goo.gl/Qn0FuZ

Museu da Cidade de São Paulo. (2017). *Exposição: Inundações em São Paulo*. São Paulo. Retrieved from http://www.museudacidade.sp.gov.br/documentos/eFolder\_inundações.pdf

National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA. (2017). Extreme Events | National Centers for Environmental Information (NCEI) formerly known as National Climatic Data Center (NCDC). Retrieved September 3, 2017, from https://www.ncdc.noaa.gov/climate-information/extreme-events

Ooms, J., James, D., Debroy, S., Wickham, H., & Horner, J. (2017). Database Interface and “MySQL” Driver for R [R package RMySQL version 0.10.13]. Retrieved September 3, 2017, from https://cran.r-project.org/web/packages/RMySQL/index.html

PCJ, C. (2017). Bacias PCJ. Retrieved from http://agua.org.br/bacias-pcj/

Pebesma, E. J. (2004). Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, *30*(7), 683–691. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.03.012

Ribeiro, S. K., & Santos, A. S. (2016). *Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. Rio de Janeiro. Retrieved from http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio\_UM\_v10-2017-1.pdf

Ross, J. L. S. (2001). Inundações e deslizamentos em São Paulo. Riscos da relação inadequada sociedade-natureza. *Territorium*, (8), 15–23. Retrieved from https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5773244

Seiler, R. A., Hayes, M., & Bressan, L. (2002). Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. *International Journal of Climatology*, *22*(11), 1365–1376. https://doi.org/10.1002/joc.799

Senado Federal. (2015). *A crise hídrica e suas consequências* (Boletim Legislativo No. 27). Brasília-DF. Retrieved from https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/boletins-legislativos/bol27

Shah, R., Bharadiya, N., & Manekar, V. (2015). Drought Index Computation Using Standardized Precipitation Index (SPI) Method For Surat District, Gujarat. *Aquatic Procedia*, *4*, 1243–1249. https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.162

Soriano, É., Londe, L. de R., Di Gregorio, L. T., Coutinho, M. P., Santos, L. B. L., Soriano, É., … Santos, L. B. L. (2016). Water crisis in São Paulo evaluated under the disaster’s point of view. *Ambiente & Sociedade*, *19*(1), 21–42. https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc150120r1v1912016

SOSMA - SOS Mata Atlântica. (2017a). Atlas da Mata Atlântica. Retrieved September 5, 2017, from https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/

SOSMA - SOS Mata Atlântica. (2017b). Florestas. Retrieved September 5, 2017, from https://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/

Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F., & Stahl, K. (2016). Response to comment on ‘Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI).’ *International Journal of Climatology*, *36*(4), 2132–2138. https://doi.org/10.1002/joc.4564

Tozato, H. de C., Dubreuil, V., & Mello-Théry, N. A. de. (2014). Tendências e rupturas climato-hidrológicas no sitio ramsar PARNA Pantanal. *Revista Brasileira de Climatologia*, *13*. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v13i0.34111

WMO – World Meteorological Organization. (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide*. Geneva. Retrieved from http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO\_1090\_EN.pdf

Zanirato, S. H., & Ribeiro, W. C. (2014). Mudanças climáticas e risco ao patrimônio cultural em Ouro Preto – MG - Brasil. *Confins*, (21). https://doi.org/10.4000/confins.9673

1. O estudo realizado por Martinelli e Marcello (2010) apresenta uma síntese de mapas preparados por instituições de pesquisa sobre o clima do estado de São Paulo. [↑](#footnote-ref-1)
2. Os municípios com suas áreas integralmente dentro da BHRJ são: Cabreúva; Campo Limpo Paulista; Indaiatuba; Itupeva; Jundiaí; Salto; Várzea Paulista. Os municípios com áreas parciais e com a sede fora da BHRJ são: Itu; Mairiporã; Atibaia; Jarinu. [↑](#footnote-ref-2)
3. A análise demográfica é centrada apenas nos municípios com sede na BHRJ, porque a baixa população rural em todos os municípios indica que a população dos municípios com sede fora da área d BHRJ é pequena. [↑](#footnote-ref-3)
4. O Bioma representa um agrupamento com diversos tipos de vegetação contíguos, mas identificáveis na escala regional, inclui ainda características geoclimáticas similares e processos históricos compartilhados, resultando em diversidade biológica própria (IBGE, 2004). [↑](#footnote-ref-4)
5. A delimitação oficial do Bioma Mata Atlântica é aquela apresentada pelo IBGE, publicada no “mapa dos biomas brasileiros”, na escala 1:5.000.000 (IBGE, 2004). [↑](#footnote-ref-5)
6. Organização Não-governamental. [↑](#footnote-ref-6)
7. Baseado em (Gondim et al., 2010). [↑](#footnote-ref-7)