Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

OS EVENTOS EXTREMOS COMO INSTRUMENTOS DE INFORMAÇÃO NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

The extreme events as information instruments in the management of water resources

Los eventos extremos como instrumentos de información en la gestión de los recursos hídricos

Gutieres Camatta Barbino
Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Universidade Federal de Rondônia
gutieres.barbino@gmail.com

Jonathan Moreno Silva
Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Universidade Federal de Rondônia
jonathanmorenosilva@gmail.com

Nubia Deborah Araújo Caramello
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
nubia.caramello@ifap.edu.br

Nara Luísa Reis de Andrade
Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Rondônia
naraluisar@gmail.com

Resumo: O gerenciamento dos recursos hídricos tem ganhado destaque em debates ao redor do mundo, principalmente visando satisfazer à crescente demanda de usos múltiplos da água. Para um gerenciamento eficiente, é imprescindível compreender como fatores diversos impactam os recursos hídricos, como por exemplo, os eventos extremos. O estudo objetivou analisar a influência dos eventos extremos na gestão dos recursos hídricos, fazendo o enquadramento no sistema de informação, levando em consideração a Política Nacional de Recursos Hídricos, com a finalidade de fortalecer bases teóricas para gestão das águas. Diversos são os eventos extremos que podem impactar os recursos hídricos, com destaque, entretanto, para eventos de precipitação. Chuvas intensas aumentam a disponibilidade hídrica, podendo causar enchentes, ocasionando problemas econômicos, sociais e de saúde, principalmente em áreas de ocupação inadequada. Enquanto eventos de pouca precipitação, com longos períodos de seca provocam escassez, aumentando conflitos por usos múltiplos da água.

Após a análise da influência de eventos extremos nos recursos hídricos, constatou-se que sua avaliação é de grande importância como instrumento de gestão de recursos hídricos, visto que, levantamento de informação acerca deste aspecto é fundamental para uma eficiente gestão pública.

Palavras-chave: Instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Eventos extremos. Mudanças climáticas.

Abstract: The management of water resources has gained prominence in debates around the world, especially aiming to meet the growing demand for multiple uses of water. For efficient management, it is essential to understand how different factors affects water resources, such as extreme events. The study aimed to analyze the influence of extreme events on water resources management, framing the information system, taking into account the National Water Resources Policy, in order to strengthen theoretical bases for water management. Several extreme events can impact water resources, highlighting, however, precipitation events. Intense rains increase water disponibility, but cause flooding, causing economic, social and health problems, especially in areas of inadequate occupation. While, low rainfall events, with long periods of drought, cause scarcity, increasing conflicts over multiple uses of water. After analyzing the influence of extreme events on water resources, it was found that its evaluation is of great importance as an instrument of water resources management, since the collection of information about this aspect is fundamental for an efficient public management.

Keywords: Water resources management instruments. Extreme Events. Climate changes.

Resumen: La gestión de los recursos hídricos ha ganado protagonismo en debates alrededor del mundo, especialmente con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de múltiples usos del agua. Para una gestión eficiente, es esencial comprender cómo los diferentes factores afectan los recursos hídricos, como eventos extremos. El estudio tuvo como objetivo analizar la influencia de eventos extremos en la gestión de los recursos hídricos, enmarcando el sistema de información, teniendo en cuenta la Política Nacional de Recursos Hídricos, con fin de fortalecer las bases teóricas para la gestión del agua. Existen varios eventos extremos que pueden impactar los recursos hídricos, destacándose, mientras tanto, los eventos de precipitación. Las lluvias intensas aumentan la disponibilidad de agua, pero provocan inundaciones, lo que genera problemas económicos, sociales y de salud, especialmente en áreas de ocupación inadecuada. Mientras tanto, eventos de baja precipitación, con largos períodos de sequía, provocan escasez, aumentando conflictos por los múltiples usos del agua. Luego de analizar la influencia de los eventos extremos sobre los recursos hídricos, se encontró que su evaluación es de gran importancia como instrumento de gestión de los recursos hídricos, ya que la recopilación de información sobre este aspecto es fundamental para una gestión pública eficiente.

Palabras clave: Instrumentos de gestión de los recursos hídricos. Eventos extremos. Cambios climáticos.

Submetido em: 09/11/2022
Aceito para publicação em: 22/01/2024
Publicado em: 25/01/2024

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos têm ocupado local de destaque global no que diz respeito à sua gestão, principalmente no âmbito de atender à crescente demanda de usos múltiplos da água. Tal preocupação está diretamente atrelada às mudanças climáticas, sendo esta considerada o principal problema ambiental da atualidade (YEHIA *et al.,* 2017).

Os recursos hídricos são impactados por diversos fatores naturais e antrópicos. Entre os impactos naturais destacam-se a variação da qualidade natural da água observada de acordo com a sazonalidade da região (YEHIA *et al.,* 2017), visto que esta aumenta ou diminui o aporte de sedimento e matéria orgânica para o curso hídrico (EVANS; MONTEITH; COOPER, 2005).

De acordo com Santos *et al.* (2018) a variação natural da precipitação pode ocasionar danos ambientais, sociais e econômicos, advindo de sua influência sobre os recursos hídricos, tanto por meio da escassez, quanto por meio de eventos de precipitação anômalos. Entre os quais citam-se inundações (GOMES; ZANELLA; OLIVEIRA, 2022; OLIVEIRA *et al.,* 2020; SANTOS; LUCIO; SILVA, 2016), secas (GOMES; ZANELLA; OLIVEIRA, 2022), na agricultura (SENA; MORAES NETO; LUCENA, 2018), e problemas de infraestrutura (PAGANO *et al.,* 2018; SOBRAL *et al.,* 2018; YEHIA *et al.,* 2017).

Os impactos antrópicos sobre os recursos hídricos são os mais preocupantes, visto seu elevado e rápido incremento, além da capacidade de potencializar impactos que ocorrem de forma natural. Como impactos antrópicos prevalecentes tem-se o desenvolvimento urbano, por meio de impermeabilização do solo, ocupação desordenada, crescimento populacional (YEHIA *et al.,* 2017) e desmatamento (SANTOS *et al.,* 2017). Este último, se configura como um dos fatores de maior responsabilidade na aceleração das mudanças climáticas.

Dentre os diversos impactos do desmatamento nos recursos hídricos, enfatiza-se, neste contexto, a remoção de vegetação ciliar e sua influência em eventos extremos. Barros *et al.* (2017) destacam que a ocupação inadequada em regiões florestadas causa desequilíbrios ambientais, visto que com a retirada da vegetação ciliar ocorre redução da disponibilidade hídrica, devido a impactos nas nascentes, intensificação de processos erosivos, o que consequentemente resulta em maiores conflitos pelos usos múltiplos da água. Os autores relatam ainda que com a preservação de nascentes e de matas ciliares, ou

recuperação destas áreas, estas passam a agir no ciclo hidrológico, contribuindo para uma maior disponibilidade de água e equilíbrio da bacia hidrográfica.

As áreas de preservação permanente (APP), com destaque para nascentes e matas ciliares, prestam serviços ecossistêmicos fundamentais que preservam a disponibilidade hídrica (GARCIA; ROMEIRO, 2019) tais como melhorar a capacidade de infiltração do solo, contribuindo com a recarga do lençol freático, e consequentemente reduzindo impactos do escoamento superficial (BARROS *et al.,* 2018).

Além disso, o desmatamento ocasiona impactos em maiores proporções, visto que o mesmo altera o regime de chuvas, localmente, regionalmente e no caso da Amazônia, continentalmente, ocasionando maior duração da estação seca (SANTOS *et al.,* 2017), além de estar diretamente relacionado à maior frequência e intensidade de eventos extremos (ALVES *et al.,* 2017; MARENGO; ESPINOZA, 2016; SORRIBAS *et al.,* 2016; ZHANG *et al.,* 2015).

Eventos extremos têm forte influência sobre o ciclo hidrológico de uma determinada região e este, por sua vez, está intimamente relacionado à disponibilidade hídrica. Diversos estudos têm investigado os impactos dos eventos extremos e desmatamento sobre o balanço hídrico (BRÊDA *et al.,* 2020; CASAGRANDE *et al.,* 2021; CAVALCANTE *et al.,* 2020; CAVALCANTE *et al.,* 2019; COUTINHO *et al.,* 2018; FARINOSI *et al.,* 2019). Entre os resultados observados, destacam-se a redução da precipitação (BRÊDA *et al.,* 2020), redução na evaporação e transpiração (BRÊDA *et al.,* 2020; CASAGRANDE *et al.,* 2021) e na vazão dos rios (BRÊDA *et al.,* 2020).

Além disso, tem-se estudado os impactos de eventos extremos na gestão dos recursos hídricos, através da disponibilidade hídrica (CUNHA *et al.,* 2014; MIRANDA, 2020; OLIVEIRA *et al.,* 2020; SOBRAL *et al.,* 2018) e em sistemas de abastecimento de água (PAGANO *et al.,* 2018; YEHIA *et al.,* 2017).

Portanto, visando uma gestão sustentável dos recursos hídricos como preconiza a Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997), se torna fundamental o conhecimento de como alguns fatores, tais como ocorrência de eventos extremos, impactam de forma negativa ou positiva os cursos hídricos, visando estabelecer estratégias ou abordagens apropriadas que contribuam para uma adequada gestão da água.

Neste contexto, estudos como o de Yehia *et al.* (2017) avaliam as características climáticas e qualidade da água. Por meios das análises e resultados encontrados possibilitam

identificar os possíveis impactos potenciais dos eventos climáticos extremos na sustentabilidade do abastecimento de água abastecimento de água e em conjunto com as análises de políticas públicas locais ensejam medidas que visam minimizar os efeitos adversos na rede pública de abastecimento de água.

Considerando a Política Nacional de Recursos Hídricos e com a finalidade de fortalecer bases teóricas para gestão das águas, o presente estudo tem por objetivo analisar a influência dos eventos extremos na gestão dos recursos hídricos.

2. METODOLOGIA

Para atingir o objetivo proposto pelo estudo, realizou-se uma pesquisa de revisão bibliográfica e documental, de caráter descritivo, sobre como a ocorrência de eventos extremos podem influenciar na gestão pública dos recursos hídricos. Uma pesquisa de caráter descritivo consiste em descrever características do objeto de estudo ou estabelecer relação entre variáveis (GIL, 2008).

A fim de estabelecer e analisar como a influência dos eventos extremos impactam os recursos hídricos e como tais informações podem compor uma base teórica que contribua para uma melhor gestão pública de recursos hídricos, foi realizado um levantamento bibliográfico em artigos científicos, monografias, dissertações, teses e outros materiais técnico e científico sobre a problemática.

No processo de levantamento de informações, foram considerados estudos onde foram abordados eventos extremos climáticos, por meio de alterações nos padrões pluviométricos e também como estes poderiam influenciar em alterações hidrológicas, sobretudo no nível dos rios. Tal segregação se dá em função da natureza da pesquisa, que visou buscar informações de como tais eventos extremos podem influenciar no sistema de gestão de recursos hídricos.

Para a operacionalização foram elencadas diretrizes de Planejamento, Instrumentos, Implementação, Avaliação e Feedback, e para cada uma delas foi estipulado os Pontos Principais, Secundários e Mecanismos Sugeridos, segundo recomendações de Yehia *et al*. (2017). Para tal, foram consideradas os principais impactos dos eventos extremos levantados, os cenários das legislações brasileira, observando seus principais desafios e limitações para

que assim, fosse possível dar diretrizes das etapas fundamentais a serem realizadas para minimização de tais impactos.

3. DISCUSSÃO

Eventos extremos são anomalias climáticas que destoam do que é considerado o padrão médio de variáveis como enchentes, secas, furacões, tornados, tufões, terremotos, ondas de calor, friagens, entre outros (DIAS, 2014). Entretanto, a variável mais avaliada para determinação de eventos extremos, principalmente na região amazônica, é a precipitação. Compreender a variação temporal e espacial da precipitação é de fundamental importância para elaborar planos de gestão de recursos hídricos eficientes. A partir de sua caracterização, atrelada às análises de uso e ocupação do solo, e padrões climáticos da região, é possível entender alguns dos fatores primordiais na regulação de processos hidrológicos, tal como a vazão (SOBRAL et al., 2018).

Eventos extremos de precipitação e seus impactos são avaliados em todo o planeta. No Brasil, estudos sobre a temática são desenvolvidos em todas as regiões, bem como seus impactos na disponibilidade hídrica, flutuações nos níveis dos rios, entre outros.

Tais estudos são amplamente desenvolvidos por meio de análises de dados de sensoriamento remoto e modelagem matemática, haja visto seu potencial para avaliação de cenários futuros a partir das condições pré-existentes, possibilitando a elaboração de planos de gestão e medidas de controle (ALVES; MARTINS; REBOITA, 2020; BRÊDA *et al.,* 2020; CASAGRANDE *et al.,* 2021; FARINOSI *et al.,* 2019) e os mais convencionais e mais confiáveis, por meio de análises de séries históricas de dados hidroclimatológicos obtidos por meio de estações meteorológicas (CHECCHIA *et al., 2007;* GOMES; ZANELLA; OLIVEIRA, 2022; MUNIZ, 2013; SANTOS *et al.,* 2018; SOBRAL *et al.*, 2018; SOUZA *et al.,* 2014).

Entretanto, vale ressaltar ainda, que tais estudos encontram diversos entraves para sua realização, como por exemplo a concentração de estações em determinadas regiões do país, enquanto em outras, como a região amazônica, possui um subdimensionamento na cobertura de estações para aquisição de dados, além da falta de coleta de dados para o entendimento em microescala do comportamento hidroclimatológicos da região (SILVEIRA; TUCCI, 1998; SILVEIRA; TUCCI; SILVEIRA, 1998).

Gomes; Zanella; Oliveira (2022); Marengo *et al.* (2011); Sobral *et al.* (2018) são alguns dos estudiosos que avaliaram impactos de eventos extremos de precipitação na região Nordeste do Brasil. Estes constataram que houveram mudanças nos padrões de precipitação a partir do ano de 1980. Gomes; Zanella; Oliveira (2022) e Sobral *et al.* (2018) utilizaram o método de índice de anomalia de chuva para avaliar o padrão da precipitação, onde perceberam que antes da década de 80 havia um padrão majoritariamente positivo, ou seja, chuvas acima da média, porém não sendo caracterizados como extremos. Entretanto, após esse período, foram identificadas maiores ocorrências de padrões negativos, indicativos de seca, destacando-se três anos com secas severas, 1993, 1998 e 2012.

Mediante o descrito acima, os autores frisam a importância desses estudos e sua possibilidade de uso na elaboração de planos de gestão. Sobral *et al.* (2018) destaca a necessidade de elaboração de novas medidas e adequação das já existentes, visto que, se o padrão de seca continuar progredindo, este irá se configurar um grave problema de falta de água na região (que já não é abundante em água), ocasionando problemas de abastecimento humano e de geração de energia, consequentemente aumentando conflitos pela água. Gomes; Zanella; Oliveira (2022) ressaltam ainda, a necessidade de mapeamento de zonas de riscos a eventos extremos, visto seus impactos econômicos, sociais e de saúde pública.

Na região sudeste, os principais eventos observados são de chuvas intensas em curtos períodos de tempo. Estas ocasionam graves enchentes, intensificadas pelo elevado grau de urbanização e deslizamentos de terra, devido ao desmatamento e ocupação inadequada de áreas de declive acentuado. Cita-se também o ano de 2014, onde houve uma redução drástica na precipitação, levando os reservatórios de abastecimento de água a funcionar com níveis críticos, sendo necessário o racionamento de água em várias cidades (DIAS, 2014).

Em seu estudo, Alves; Martins; Reboita (2020) utilizaram modelos para avaliar cenários futuros em uma cidade de Minas Gerais, onde os mesmos destacam a heterogeneidade na distribuição da precipitação, chovendo muito em curtos períodos de tempo e pouca precipitação em longos períodos do ano, ocasionando também aumento de temperatura, impactos na agricultura, alteração no balanço hídrico e problemas de saúde pública, visto esta variabilidade de difícil previsão. Os autores ainda relatam que tais impactos podem ser evitados ou amenizados por modelos de previsões, e assim, contribuir em planos de gestão, porém o sistema de monitoramento de variáveis é escasso, possui muita defasagem nos dados

e também não possuem séries temporais suficientes para tal.

A bacia amazônica, apresenta pesquisas realizadas por pesquisadores brasileiros e de todo o mundo, visto sua importância ecológica e capacidade de regular padrões climáticos a níveis continentais. Dentre os eventos extremos que ocorreram na região amazônica, mais comumente relatados em literatura estão os de cheia extrema 1997, 2006, 2009, 2012 (MUNIZ, 2013; MARENGO; ESPINOZA, 2016) e 2014 (MARENGO; ESPINOZA, 2016). Referente a seca, cita-se 2005, 2010 (MUNIZ, 2013; JIMENEZ-MUÑOZ *et al*., 2016; MARENGO; ESPINOZA, 2016) e 2016 (JIMENEZ-MUÑOZ *et al.,* 2016).

De acordo com Marengo e Espinoza (2016), conforme estes eventos de seca extrema foram ocorrendo, foram sendo classificados como eventos que ocorrem uma vez a cada 100 anos, entretanto, no evento seguinte, o mesmo era de intensidade semelhante ou superior. Evidenciando assim a necessidade e importância de estudos dessa temática serem avaliados a nível de bacias hidrográficas.

Alguns estudos são voltados a estudar cenários futuros de alterações climáticas e como estes podem afetar a bacia amazônica (BRÊDA *et al.,* 2020; CASAGRANDE *et al.,* 2021; FARINOSI *et al.,* 2019). Brêda *et al.* (2020) estudaram diferentes cenários onde alterações no balanço hídrico da bacia amazônica podem provocar diferentes consequências no clima, tais como redução na precipitação que impacta diretamente nas taxas evapotranspirativas e nas descargas dos rios. Além disso, tais acontecimentos também são altamente influenciados por ocorrências de *el niño* e *la niña*, haja visto que sua ocorrência interfere na pressão atmosférica do oceano pacífico, fazendo com que ocorra alterações na circulação atmosférica, ocasionando na região amazônica, eventos de seca (*el niño*), cheias (*la niña*) e variações no clima global (FERREIRA *et al*., 2013; MARENGO; ESPINOZA, 2016; SHIMIZU *et al*., 2017; SUN *et al*., 2015; TANAKA *et al*., 2014).

Casagrande *et al.* (2021) avaliaram influências de diferentes coberturas do solo, floresta e pastagem, sobre componentes do balanço hídrico, sendo observado que a conversão da vegetação nativa para pastagem reduz consideravelmente componentes do balanço hídrico, como transpiração e interceptação. Em áreas de floresta observou-se que estes, juntos, correspondem a aproximadamente 65% do balanço hídrico anual, enquanto na pastagem, sua contribuição reduz para 42%, provocando alterações nos padrões de precipitação e vazão. Farinosi *et al.* (2019) observaram redução na precipitação,

evapotranspiração e aumento na temperatura do ar, o que consequentemente reduziu o escoamento de água superficial e subsuperficial impactando a disponibilidade hídrica.

Alguns estudos são voltados especificamente para a bacia do Rio Madeira e para o estado de Rondônia (CHECCHIA *et al.,* 007; MUNIZ, 2013; SANTOS *et al.,* 2018; SOUZA *et al.,* 2014), contribuindo fortemente para um maior entendimento sobre os impactos desses eventos, e a partir destes traçar estratégias de gestão pública, além de identificar possíveis lacunas que possibilitem uma melhor aplicação destas investigações.

Muniz (2013) avaliou a variabilidade de cotas nos rios da bacia do Rio Madeira no território brasileiro, onde o mesmo constatou que na bacia são mais frequentes eventos extremos de cheia. Tais eventos ocasionaram cheias históricas na bacia do Rio Madeira, destacando-se a cidade de Porto Velho, capital de Rondônia. Foi observado maior ocorrência desses eventos em menores intervalos de tempo.

Entretanto vale ressaltar que sua duração também tem diminuído, informação que contribui para elaboração de planos de gestão e minimizar impactos ambientais. Referente a anos de seca extrema, Muniz (2013) constatou diminuição significativa na variação da cota dos rios, indicando menor disponibilidade de água, sobretudo no estado de Rondônia, região a montante da bacia e com menores tributários, resultando em problemas de escassez de água decorrente de secas mais intensas.

Os trabalhos realizados por Santos *et al.* (2018) e Souza *et al.* (2014) referem-se a estudos limitados ao estado de Rondônia ou seus municípios. Santos *et al.* (2018) estudaram eventos de precipitação em Cacoal, região central do estado, entre 2008 e 2016, onde constataram maiores ocorrências de chuvas intensas em 2014 e eventos mais secos em 2016, eventos de cheia e seca extrema, respectivamente, como já relatado anteriormente.

Souza *et al.* (2014) avaliaram a precipitação em todo o estado de Rondônia, constatando eventos de precipitação de até 665 mm/d, sendo este valor observado na cidade de Porto Velho. Tal valor é equivalente a aproximadamente 2/3 da precipitação média esperada na cidade no trimestre mais chuvoso, que de acordo com Franca (2015) é de 983 mm. Além disso, Souza *et al.* (2014) relataram que o tempo de retorno para eventos de precipitação dessa magnitude foi de 77,78 anos, ou seja, eventos de chuva extrema são observados em curtos períodos de tempo. Esse tipo de análise favorece planos de gestão pública, principalmente no que diz respeito à construção de infraestruturas, visto a

possibilidade de minimizar impactos referentes a intensos eventos de precipitação.

De acordo com estudo realizado por Sales *et al.* (2020), em cenários de projeções, a precipitação pode sofrer redução entre 30 e 40% em decorrência do desmatamento na região central do Estado de Rondônia. Por sua vez, estudos realizados por Checchia *et al*. (2007) e Souza *et al.* (2014) não encontraram relação entre o desmatamento no estado de Rondônia e diminuição na precipitação. Entretanto, vale ressaltar que, estudos que relatam tais decréscimos, como os já citados anteriormente, avaliam isto como um resultado lento e progressivo ao longo dos anos, não sendo observado resposta imediata.

O estudo realizado por Leite-Filho *et al.* (2021) avalia ainda que, com retirada de pequenas parcelas de vegetação, há um incremento na precipitação, frisando que estas ocorrem com maior intensidade. Porém, conforme se aumenta a área desmatada, há uma tendência de redução da precipitação, que vai se agravando com o decorrer do tempo. Ressalta-sendo ainda que o desmatamento desenfreado na região amazônica desencadeia um preocupante cenários de queimadas que podem ser intensificadas pela ocorrência de evento extremo de seca liberando alto volume de dióxido de carbono para atmosfera, que consequentemente impacta diretamente no clima global, intensificando eventos extremos futuros (MARENGO *et al*., 2001, 2011; LEWIS *et al*., 2011; LIMA, 2013).

Apesar dos impactos ocasionados por eventos extremos sobre a disponibilidade hídrica, poucos são os estudos que avaliam seus impactos diretamente sobre a gestão pública de saúde, saneamento e infraestrutura.

Yehia *et al.* (2017) avaliaram impactos de eventos extremos no sistema de abastecimento público de água no Egito. De acordo com os levantamentos realizados por Yehia *et al.* (2017) foi encontrado padrão similar ao que vem acontecendo na amazônia brasileira, com ocorrência de grandes precipitações em intervalos de poucos dias e longos períodos de estiagem. É sugerido ainda que, a partir deste tipo de levantamento, concessionárias de abastecimento urbano podem gerir melhor seus reservatórios a fim de evitar a falta de água.

É observado que com a incidência de grandes eventos de chuva, a carga de poluentes na água aumenta, há maior aporte de carga orgânica, elevação da turbidez e de sólidos totais.

Apesar da queda da qualidade da água, ocasionada por um elevado aporte de carga

orgânica proveniente de lançamentos de esgoto nos corpos hídricos, por interferências nos padrões de chuva e aumento do consumo, as estações de abastecimento em sua maioria são capazes de realizar o tratamento de forma adequada. Contudo, deve-se estar atento a uma maior periodicidade na manutenção do sistema de abastecimento, visto que filtros e outros apetrechos essenciais no tratamento perdem sua eficiência mais rapidamente, e caso não seja feita essa manutenção. Dessa forma o sistema de tratamento falhará, não tratando a água da forma devida, fazendo-se necessário o interrompimento no abastecimento domiciliar (YEHIA *et al.*, 2017). Isso faz com que a população procure fontes alternativas de água, que em muitas ocasiões estão contaminadas por microrganismos patológicos, levando a problemas de saúde pública (WHO, 2005).

Torna-se imprescindível a proposta de planos e medidas de gestão, além de adaptação dos já existentes, que levem em consideração diversas abordagens que contribuam com melhoria na gestão integrada das águas. No Quadro 1 podem ser observadas algumas sugestões de etapas a serem seguidas.

Ressalta-se que no âmbito de políticas públicas, é comum discussões que visam tomada de decisões que estabeleçam preferências, decisões, mecanismos a serem adotados, e que estes, por sua vez, devem ser submetidos a fases de planejamento, implementação e avaliação (MELAZZO, 2010).

Nesse contexto, a fase de planejamento configura-se como umas das mais importantes no processo de criação de uma política pública. Nesse momento, há o estabelecimento de um espaço para a proposição de ideias e soluções para enfrentar a problemáticas das gestão dos recursos hídricos. De acordo ainda com Silva; Melo (2000) o momento de planejamento fundamenta-se a partir de um diagnóstico prévio, que deve ser estruturado em um sistema adequado de informações, onde dessa forma é possível estabelecer objetivos, metas, recursos e tempo de atividade.

Dessa forma, conforme consta no Quadro 1, o planejamento de políticas públicas versadas à resolução de problemas de gestão advindas de eventos extremos parte da premissa de reconhecer tal problemática, estabelecer os níveis de responsabilidade e como estes deverão atuar em decorrência de cada ação. Porém, para isso, é de extrema importância o conhecimento da área a ser gerida, dos usos múltiplos da água e da situação atual do sistema de gestão hídrica.

Quadro 1 - Etapas de identificação, planejamento, implementação e avaliação de impactos de eventos extremos.

Diretrizes	Pontos Principais	Pontos Secundários	Mecanismos Sugeridos
Planejamento	• Trabalho individual: responsabilidade das concessionárias de abastecimento de água e visa desenvolver uma intervenção rápida durante os eventos extremos para mitigar e/ou evitar o corte de abastecimento de água; • Trabalho mútuo: trabalho integrado entre partes interessadas (em diferentes níveis) com base na compreensão e colaboração	• Gestão da demanda de água; • Adaptação relativa à operação; • Gestão da qualidade da água; • Capacitar os fornecedores de água para lidar com os eventos extremos.	• Calcular o balanço hídrico e a demanda hídrica; • Prontidão de recursos hídricos alternativos de qualidade; • Identificação de perigo; • Avaliação de risco e análise de risco; • Defina os limites de alerta operacional; • Definir alerta de riscos à saúde; • Definir os pontos de monitoramento e acompanhamento (ETA e pontos meteorológicos).
Instrumentos	• Sensibilização: aumentar a compreensão sobre as alterações climáticas e o seu impacto nos recursos hídricos; • Prognóstico: através da introdução o impacto de eventos climáticos extremos no abastecimento de água;	• Defina e distribua as responsabilidades de acordo com os principais interesses de cada entidade.	• Reuniões regulares; • Workshops e seminários Informativos; • Orientação da mídia para as questões climáticas; • Consulta com usuários de água; • Compartilhar pontos de vista.
Implementação	• Modificações na infraestrutura em áreas propensas a eventos extremos; • Estação de Tratamento de Água compacta; • Executar programas de capacitação e melhoria; • Executar manobras para garantir a preparação para eventos climáticos extremos; • Engenharia detalhada, compras, comunicação e gerenciamento		
Avaliação e Feedback	• Criação de um plano de avaliação e feedback ao comitê de direção; • Sugestão de planos de melhoria.		

Fonte: Organizado pelos autores, adaptado a partir de Yehia *et al.* (2017).

No que tange a fase de implementação, diferentemente da fase do planejamento que se baseia na lógica da atividade a ser desenvolvida, a implementação baseia-se na execução prática das atividades (SILVA; MELO, 2000). Assim, para uma efetiva implementação de políticas e programas que visem uma melhor gestão das águas, e no contexto do que vem sendo discutido, faz-se essencial a capacidade de modificar e executar medidas que sejam capazes de conter problemas relacionados a eventos extremos.

Por fim, em relação à avaliação, esta configura-se como parte fundamental do processo de uma política pública voltada a gestão dos recursos hídricos, pois nesta etapa é o momento de rever todas as etapas planejamento, instrumentação, implementação e avaliar se o que foi realizado está trazendo resultados efetivos, se há a necessidade de continuidade ou ainda se a mesma pode ser finalizada (em função de ter atingido o objetivo ou de não ter apresentado nenhum resultado) (RAMOS; SCHABBACH, 2012).

Sendo assim, fica evidenciado a importância do conhecimento sobre como eventos extremos impactam os recursos hídricos. A partir do conhecimento obtido, é possível direcionar políticas públicas, visando uma gestão mais eficiente acerca dos recursos hídricos, sobretudo no sistema de tratamento e abastecimento de água, atividade essencial ao bem estar da sociedade e de direito irrevogável à população. Vale ainda ressaltar, que o conhecimento sobre os eventos extremos, quando mais detalhado e direcionado a área de interesse, melhor e mais eficiente será o plano de gestão proveniente da análise.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após levantamento bibliográfico a respeito da influência de eventos extremos sobre os recursos hídricos, constatou-se que sua avaliação é de grande importância como instrumento de gestão de recursos hídricos, haja vista que esta problemática tem ganhado destaque devido a seu alto impacto nos recursos hídricos e consequentemente em sua gestão, uma vez que eventos extremos têm ocorrido com maior frequência e intensidade.

São evidentes os impactos dos eventos extremos na gestão dos recursos hídricos, pois estes são capazes de alterar a dinâmica dos rios, causando problemas de escassez hídrica, e consequentemente aumento dos conflitos pelos usos múltiplos da água. Além de problemas de escassez, tem-se problemas relacionados a inundações, resultando em perdas econômicas,

impactos sociais e problemas de saúde pública urbana.

Insta ressaltar, que devido a grande heterogeneidade do território brasileiro, há que se atentar que tais eventos irão impactar de diferentes formas, de acordo com as características da região ou bacia hidrográfica.

Em paralelo a estes impactos ambientais, sociais e econômicos resultantes das alterações nos componentes do balanço hídrico, tem-se os desafios atrelados aos impactos de eventos extremos à gestão de sistemas de abastecimento de água para consumo humano, haja visto que este se configura como a maior prioridade no quesito de gestão hídrica, sendo fundamental seu entendimento e proposições de estratégias visando a minimização destes problemas.

Para tal, os resultados alcançados a partir da metodologia proposta por Yehia *et al.* (2017) foram satisfatórios para o presente estudo, ao permitir identificar e avaliar impactos dos eventos extremos e sugerir mecanismos de enfrentamento ou mitigação. Os mecanismos perpassam desde mecanismos de caracterização e acompanhamento sistemático e avaliação de risco, até a medidas de definição de responsabilidades dentro da perspectiva de gestão compartilhada das águas, bem como, divulgação ampliada das informações.

Os eventos extremos se configuram como um grande desafio no que tange a implementação de planos de gestão públicos eficientes e adequados, haja vista sua grande variabilidade, heterogeneidade e imprevisibilidade. Entretanto, com base em diversos estudos realizados e modelos de predição sendo desenvolvidos, a análise de eventos extremos pode contribuir fortemente para uma gestão hídrica de qualidade, ressaltando que quanto menor a escala de análise, melhor será a eficiência das medidas de gestão implementadas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior -Brasil (CAPES) -Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos -ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Agradeço ao Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia, pela bolsa concedida e por todo apoio durante a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. M. M. R.; MARTINS, F. B.; REBOITA, M. S. Balanço Climatológico para Itajubá – MG: Cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 26, n. 16, 2020. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.70387

ALVES, L. M. *et al*. Sensitivity of Amazon Regional Climate to Deforestation. **American Journal of Climate Change**, v. 6, p. 75-98, 2017. DOI: 10.4236/ajcc.2017.61005.

BARBOSA, L.M. **Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo: matas ciliares do interior paulista**. Guaratinguetá-SP. 2006.

BARROS, A. M.; CHAVES, C. O.; PEREIRA, G. M. Recuperação de nascentes: Formação de multiplicadores ambientais em área degradada de Assentamento rural, Eldorados dos Carajás, Pará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n. 04, p. 814-819, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i4.4167

BARROS, K. L. C. *et al.* A proteção de nascentes para conservação dos recursos hídricos em atenção à nova Lei florestal. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade,** v. 05, n. 10, p. 607-624, 2018. DOI: 10.21438/rbgas.051015

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm> Acesso: 29 de julho de 2022

BRASIL. **Lei 12.651 - 25 de maio de 2012 – Novo Código Florestal**. 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ ccivil_03/_ato20112014/2012/lei/l12651.htm> Acesso: 29 de julho de 2022.

BRÊDA, J. P. L. F. *et al.* Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. **Climatic Change**, v. 159, p. 503-522, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s10584-020-02667-9

CASAGRANDE, E. *et al*. Water balance partitioning for ecosystem service assessment. A case study in the Amazon. **Ecological Indicators**, v. 121, 107155, 2021. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107155

CAVALCANTE, R. B. L. *et al.* Terrestrial water storage and Pacific SST affect the monthly water balance of Itacaiúnas River Basin (Eastern Amazonia). **International Journal of Climatology**, v. 40, p. 3021-3035, 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.6380

CAVALCANTE, R. B. L. *et al.* Opposite Effects of Climate and Land Use Changes on the Annual Water Balance in the Amazon Arc of Deforestation. **Water Resources Research**, v. 55, p. 3092–3106, 2019. DOI: https://doi.org/10.1029/2019WR025083

CHECCHIA, T. *et al***.** Avaliação dos efeitos das modificações da cobertura da terra na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica de Pimenta Bueno - RO. **In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro - Oeste**, Cuiabá. Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro - Oeste, 2007.

COUTINHO, E. C. *et al*. Water balance in the Brazilian Amazon Basin. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 11, n. 06, p. 1926-1940, 2018.

CUNHA, A. C. *et al.* Evento extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, Amapá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n. esp., 95 - 110, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-778620130051

DIAS, M. A. F. S. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014.

EVANS, C. D.; MONTEITH, D. T.; COOPER, D. M. Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: observations, possible causes and environmental impacts. **Environmental Pollution**, v.137, n.01, p. 55–71, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.12.031

FARINOSI, F. *et al.* Future climate and land use change impacts on river flows in the Tapajós Basin in the Brazilian Amazon. **Earth's Future**, v. 07, p. 993-1017, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.12.031

FERREIRA, D. B. S., SOUZA, E. B.; MORAES, B. C. Ciclo horário da precipitação no leste da Amazônia durante o período chuvoso. **Revista Brasileira de Climatologia**, 13, 74-86, 2013.

FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. **Geografias: Artigos Científicos**, v. 11, n. 01, p.44-58, 2015. DOI: https://doi.org/10.35699/2237-549X.13392

GARCIA, J.; ROMEIRO, A. R. Pagamento por serviços ambientais em Extrema, Minas Gerais: avanços e limitações. **Revista Iberoamericana de Economia Ecológica,** v. 29, n. 01, p. 11-32, 2019. DOI: https://raco.cat/index.php/Revibec/article/view/354352

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, R. C.; ZANELLA, M. E.; OLIVEIRA, V. P. V. Identificação das áreas de riscos relacionadas aos eventos pluviométricos extremos na zona urbana de Independência-CE. **Rede – Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 15, n 2, p. 178 – 198, 2022. DOI: 1022411/rede2021.1502.17

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Cidades e Estados**. 2021. Disponível em < https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ro.html>. Acesso em: 27 jul. 2022.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C. *et al.* Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. **Scientific Reports**. 6:33130. DOI: 10.1038/srep33130

LEITE-FILHO, A. T. *et al.* Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**. 2021. doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7

LEWIS, S. L. *et al*. The 2010 drought in the Amazon. **Science**, v.331, n, 554, 2011.

LIMA, A. **Influência da Cobertura da Terra na Extensão e Configuração Espacial de Áreas Queimadas em Anos de Seca Extrema na Amazônia Oriental**. 2013. 110 p. (sid. inpe.br/mtc-m19/2013/03.08.16.30-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2013.

MARENGO, J. Á., et al. Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. Journal of Climate, v.14, n.5, p.833-852, 2001. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0833:OAEOTR>2.0.CO;2

MARENGO, J. A. *et al*. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas.** Campina Grande – B, 2011.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4420

MELAZZO, E. S. Problematizando o conceito de políticas públicas: desafios à análise e à prática do planejamento e da gestão**, Revista Tópos**, v.4, n. 2, p. 9-32, 2010.

MIRANDA, I. P. **Efeito da variabilidade temporal das precipitações sobre a disponibilidade hídrica**. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, Brasil, 2020.

MUNIZ, L. S. **Análise dos padrões fluviométricos da bacia do Rio Madeira – Brasil**. Dissertação. Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM. 2013.

OLIVEIRA, L. L. *et a*l. Efeitos dos eventos extremos climáticos na variabilidade hidrológica em um rio de Ecossistema Tropical Amazônico. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais,** v.11, n.4, p.145-153, 2020. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0013

PAGANO, A. *et al.* Dealing with Uncertainty in Decision-Making for Drinking Water Supply Systems Exposed to Extreme Events. **Water Resource Management**, v. 32, p. 2131–2145, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11269-018-1922-8

RAMOS, M. P.; SCHABBACH, L. M. O estado da arte da avaliação de políticas públicas: conceituação e exemplos de avaliação no Brasil, **Revista de Administração Pública**, v. 46, n. 5, p. 1271-294, 2012.

SALES, F. *et al.* Impacts of Protected Area Deforestation on Dry-Season Regional Climate in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, (2020) DOI: 10.1029/2020JD033048**.**

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Estimating return periods for daily precipitation extreme events over the Brazilian Amazon. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 126, p.585–595, 2016. DOI: 10.1007/s00704-015-1605-9

SANTOS, R. S. *et al.* Caracterização de extremos mensais de precipitação em Cacoal (RO). **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 22, n. 14, p. 267- 280, 2018. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55285

SANTOS, T.; FILHO, V.; ROCHA, V. MENEZES, J. Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão. **Revista Geográfica Acadêmica,** v. 11, n. 02, p. 157-181, 2017.

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental - SEDAM. **Atlas Geoambiental de Rondônia**. Porto Velho, 138p, 2002.

SENA, J. P. O.; MORAES NETO, J. M.; LUCENA, D. B. Variação da pluviometria e os eventos extremos no município de Juazeiro do Norte – CE. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**. 5p. 2018.

SHIMIZU, M. H., AMBRIZZI, T., LIEBMANN, B. Extreme precipitation events and their relationship with ENSO and MJO phases over northern South America. **International Journal of Climatology,** 37(6), 2977-2989. 2017. http://dx.doi.org/10.1002/joc.4893.

SILVA, P. L. B.; MELO, M. A. B. O processo de implementação de políticas públicas no Brasil: características e determinantes da avaliação de programas e projetos. **Caderno de Pesquisa. Campinas**, n. 48, 16 pp. 2000.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v, 3, n. 3, p. 97-110, 1998.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v, 3, n. 3, p. 111-131, 1998.

SOBRAL, M. C. *et al.* Impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco – Brasil. **Rede – Revista Eletrônica do PRODEMA,** v. 12, n. 3, p. 95-106, 2018. DOI: https://doi.org/10.22411/rede2018.1203.10

SORRIBAS, M. V. *et al.* Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. **Climatic Change**, v. 136, n. 3-4, p. 555-570, 2016. DOI 10.1007/s10584-016-1640-2

SOUZA, V. A. S. *et al*. Eventos de precipitações extremas na Amazônia Ocidental: Rondônia – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 14, n. 10, 2014. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v14i1.36816

SUN, X. *et al.* A global analysis of the asymmetric effect of ENSO on extreme precipitation. **Journal of Hydrology**, 530, 51-65. 2015. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.016.

TANAKA, L. M., SATYAMURTY, P., MACHADO, L. A. Diurnal variation of precipitation in central Amazon basin. **International Journal of Climatology**, 34(13), 3574-3584. 2014. http://dx.doi.org/10.1002/joc.3929.

VIANA, A. L. Abordagens metodológicas em políticas públicas. **Caderno de Pesquisa**. Campinas, n. 5, 40p. 1988.

World Health Organization – WHO. **Water Safety Plans: Managing Drinking-Water Quality from Catchment to Consume**r. Geneva, 2005.

YEHIA, A. G. *et al.* Impact of extreme climate events on water Supply sustainability in Egypt: case studies in Alexandria region and Upper Egypt. **Journal of Water and Climate Change,** v. 08, n. 03, p. 484-494, 2017. DOI: https://doi.org/10.2166/wcc.2017.111

ZHANG, K. *et al*. The fate of Amazonian ecosystems over the coming century arising from changes in climate, atmospheric CO2, and land use. **Global Change Biology**, v. 21, p. 2569–2587, 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.12903