



Análise dos eventos hidrológicos críticos no bairro do Jardim Botânico, Rio de Janeiro

Analysis of critical hydrological events in the Jardim Botânico neighborhood, Rio de Janeiro

DOI: 10.55905/rdelosv16.n45-030

Recebimento dos originais: 27/07/2023

Aceitação para publicação: 25/08/2023

Patrícia Guedes Pimentel

Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Endereço: Rio de Janeiro - RJ, Brasil

E-mail: engpatríciapimentel@gmail.com

Wenceslau Geraldtes Teixeira

Doutor em Geoecologia pela Universidade de Bayreuth - Alemanha

Instituição: Embrapa Solos - Rio de Janeiro - RJ

Endereço: Rio de Janeiro - RJ, Brasil

E-mail: wenceslau.teixeira@embrapa.br

RESUMO

Atualmente, é possível observar eventos hidrológicos extremos cada vez mais frequentes na cidade do Rio de Janeiro, esses eventos causam grandes transtorno a cidade. Isso é devido aos diversos fatores contribuintes, destacando-se falhas no planejamento urbano que, conseqüentemente, estão associados às modificações na bacia hidrográfica e nos componentes do balanço hídrico. Este estudo teve como objetivo compreender a dinâmica hidrológica do bairro Jardim Botânico, na cidade do Rio de Janeiro. A partir de um levantamento dos episódios recentes de alagamentos e inundações, verificou-se maior concentração dos eventos extremos de precipitação entre os meses de janeiro a abril. Os valores de Tempo de Retorno (TR) foram estimados para as precipitações máximas, com duração de uma hora, no período compreendido entre 2009 e 2019. Estimou-se ainda, uma probabilidade de cerca de 2% de ocorrência para um evento pluviométrico de 88 mm em um ano qualquer, cálculo realizado pelo inverso do TR. Por meio de avaliações estatísticas com uso da ferramenta *Planilha de Previsão* do programa *Excel*, os resultados demonstraram uma tendência de crescimento gradativo de precipitações intensas até o ano de 2029.

Palavras-chave: precipitação, intensidade pluviométrica, drenagem urbana, previsão.

ABSTRACT

Extreme hydrological events are becoming increasingly frequent in the city of Rio de Janeiro, causing major disruption to the city. This is due to various contributing factors, including shortcomings in urban planning, which are consequently associated with changes in the watershed and in the components of the water balance. The aim of this study was to understand



the hydrological dynamics of the Jardim Botânico neighborhood in the city of Rio de Janeiro. Based on a survey of recent episodes of flooding and waterlogging, there was a greater concentration of extreme rainfall events between the months of January and April. The Return Time (RT) values were estimated for the maximum one-hour rainfalls between 2009 and 2019. A probability of around 2% was also estimated for a rainfall event of 88 mm in any given year, calculated using the inverse of the TR. Through statistical evaluations using the Forecast Spreadsheet tool in the Excel program, the results showed a gradual upward trend in intense rainfall until the year 2029.

Keywords: precipitation, rainfall intensity, urban drainage, forecasting.

1 INTRODUÇÃO

Com relação ao potencial de riscos hidrológicos, alguns fatores podem tornar um bairro mais suscetível a alagamentos, como topografia plana, drenagem inadequada, os tipos de cobertura vegetal e a impermeabilização do solo, enchentes de rios e córregos pela reduzida vazão, que normalmente está associado ao crescimento urbano desordenado. Com relação à topografia, a inclinação do terreno pode afetar o escoamento da água durante chuvas intensas, concentrando o fluxo de água em áreas mais baixas e aumentando os riscos de alagamentos. Além disso, a carência de sistemas de drenagem eficientes, como bueiros, canais ou galerias pluviais, pode levar ao acúmulo de água nas ruas e terrenos, favorecendo os alagamentos.

O município do Rio de Janeiro é caracterizado por sua diversidade topográfica e variações regionais de uso e ocupação do solo que, aliadas ao crescimento populacional e urbanismo desordenado apresentando obstáculos relacionados à infraestrutura de uma drenagem eficiente, em especial para eventos de alto volume de precipitação. Associados aos problemas de drenagem, os eventos considerados extremos ocasionam efeitos que afetam direta ou indiretamente o meio ambiente e a sociedade como um todo.

Outro fator que contribui para o aumento dos alagamentos é a substituição da vegetação natural sob o solo natural, por áreas impermeabilizadas, como o asfalto e o concreto, que reduz a capacidade do solo de infiltrar e conduzir a água no solo, como consequentes aumentos do escoamento superficial e os riscos de inundação. Quando se tem rios e córregos próximos, este cenário se torna mais suscetível ao risco de alagamentos, especialmente durante períodos de chuvas intensas e cheias.

Ao longo dos anos, o processo de urbanização se caracterizou pelo gradativo crescimento populacional e a consequente e inadequada ocupação em áreas marginais aos cursos d'água, com



alterações na paisagem natural, como a diminuição da vegetação nativa, a impermeabilização do solo e a canalização/retificação dos córregos. No ano de 2019, o bairro Jardim Botânico apresentou episódios hidrológicos extremos, sendo um dos dez bairros de maior precipitação pluviométrica no período de 24 horas, com um total de 334,4 mm/h registrado em 09 de abril desse ano (RIO DE JANEIRO, 2022).

Os eventos extremos de precipitação são fenômenos atmosféricos caracterizados por chuvas intensas e de elevado volume precipitado. Gonçalves (2003) explica que a sociedade se organizaria para assimilar esses eventos, ajustando-se ao seu padrão e incorporando-os como parte do cotidiano. De acordo com Vicente (2005), a capacidade de previsão da ocorrência de tais fenômenos extremos, assim como o conhecimento do limiar de estabilidade dos sistemas naturais e antrópicos, da dinâmica climática do lugar, são pontos fundamentais que precisam ser estudados para a diminuição da vulnerabilidade humana frente aos eventos climáticos extremos.

Segundo Miguez *et al.* (2018), a vulnerabilidade é um atributo inerente ao sistema socioeconômico que, por sua vez, os autores afirmam estar intimamente ligada à fragilidade do mesmo, o que aumenta a possibilidade de ocorrência de danos quando exposto a perigos ou ameaças. Para minimizar a vulnerabilidade a eventos hidrológicos, várias medidas podem ser adotadas como o mapeamento e planejamento urbano adequado. Mapear áreas propensas a inundações, deslizamentos de terra e outros eventos hidrológicos extremos, permite que as autoridades identifiquem zonas de risco e evitem o desenvolvimento inadequado nessas áreas, contribuindo para um melhor direcionamento do crescimento urbano para regiões mais seguras.

Além disso, a melhoria da infraestrutura é importante na atenuação dos fluxos de água no meio urbano. Rossi e Gonçalves (2012) apresentam ecotécnicas de drenagem urbana, especialmente para áreas em expansão. Dentre as estratégias mencionadas, os autores citam três categorias que englobam desde medidas de controle na fonte como telhados verdes até medidas de maior porte como bacias de retenção. O assunto também é abordado por Farias e Mendonça (2022) e Santos Junior, Bontempi e Fantin (2022) que discutem estratégias de planejamento relevantes para minimizar problemas causados, principalmente, pelos elevados fluxos superficiais de água.

Outra medida que pode ser implementada para minimizar a influência dos eventos hidrológicos extremos é a restauração de vegetação nativa, que contribui para estabilizar o solo e prevenir a erosão, o que por sua vez reduz o carreamento de sedimentos para corpos d'água



durante eventos de chuva intensa. Tambosi et al. (2015) apresenta as funções eco-hidrológicas das florestas em diferentes posições de relevo: topo de morro, encostas, áreas ripárias e nos intervalos. Os autores relacionam as alterações do Código Florestal com a redução da vegetação protegida em todas as posições do relevo. Para Tambosi et al. (2015) é preciso manter o potencial que as paisagens possuem, principalmente devido às crescentes demandas por recursos hídricos e do aumento frequente de eventos climáticos extremos.

Em áreas consideradas vulneráveis a deslizamentos de encostas e alagamentos, por exemplo, os alertas e sistemas de emergência podem atuar preventivamente aos desastres, possibilitando minimizar os riscos de determinado evento hidrológico extremo atingir uma parcela da população. Amorim, Quelhas e Motta (2014) tratam sobre o tema e a resiliência das cidades frente a esses eventos, ou seja, demonstram como o planejamento estratégico pode contribuir para que as cidades aumentem sua capacidade de resistir e se recuperar de eventos hidrológicos extremos, minimizando danos, protegendo vidas e propriedades, e construindo comunidades mais seguras e adaptadas às mudanças climáticas.

De modo complementar, outras medidas podem ser tomadas a fim de minimizar os efeitos negativos dos eventos hidrológicos extremos, tanto por meio da implementação de infraestrutura verde e elementos que ajudam a absorver a água da chuva, reduzindo o escoamento superficial, quanto pela adoção de estratégias de educação e conscientização da população. Resíduos sólidos quando descartados de maneira inadequada podem se acumular em bueiros e nos demais sistemas de drenagem, impedindo o fluxo das águas para as galerias pluviais. Portanto, é fundamental que a população esteja ciente do seu papel perante aos episódios de alagamentos e inundações, que pode se intensificar caso práticas como estas se tornem parte do cotidiano.

Estratégias de cooperação regional e gestão integrada permitem o compartilhamento de informações sobre padrões climáticos, previsões meteorológicas, entre outras. Nesse sentido, é uma alternativa importante que auxilia a gerir situações de crise, a adotar medidas preventivas e, até mesmo, coordenar ações que promovam o desenvolvimento sustentável. Por sua vez, é preciso investir cada vez mais em sistemas de monitoramento hidrológico para coletar dados precisos sobre a intensidade e o volume das chuvas, níveis de água nos rios e rede de drenagem e condições de umidade e infiltrabilidade dos solos, o que poderia melhorar a previsão e a resposta eficiente aos eventos extremos.



Em bacias hidrográficas com a urbanização consolidada é possível criar soluções que aumentem as taxas de infiltração, como as medidas não estruturais baseadas em opções viáveis para minimizar o escoamento superficial e a percolação da água no solo. Silva e Cabral (2014) explicam a importância das alternativas compensatórias de drenagem urbana e sua aplicação através de infiltração e armazenagem do escoamento gerado, buscando aumentar o tempo de concentração da bacia e diminuir os picos de escoamento gerados por um evento de precipitação intensa.

Entende-se por medidas estruturais, intervenções físicas e construções projetadas para gerenciar o fluxo de água em áreas urbanas e rurais, reduzindo os riscos de inundações e enchentes. Essas medidas envolvem a criação de infraestrutura específica para controlar o escoamento de água da chuva e direcioná-la de maneira eficiente, como por exemplo canais e valas, barragens e reservatórios, diques e barragens de contenção, telhados verdes e pavimentos permeáveis. Por outro lado, as medidas não estruturais de drenagem estão apoiadas em planejamento, gestão e mudança de comportamento para gerenciar o fluxo de água e prevenir inundações. Elas envolvem ações que não requerem construção de infraestrutura física (TUCCI, 2007).

Atualmente, é possível encontrar estudos direcionados para estimar precipitações futuras, como o modelo de redução de escala baseado em perturbação de quantis utilizado na investigação das mudanças nas chuvas extremas. O estudo de caso realizado na cidade de Calcutá na Índia, mostrou incrementos significativos que representam mudanças na intensidade da chuva que, conforme apontam os autores, tais mudanças devem ser consideradas para o projeto de sistemas de infraestrutura de águas pluviais (HALDER *et al.*, 2021).

Analisar dados de precipitação ao longo do tempo fornece informações valiosas sobre os padrões climáticos, impactos ambientais e a capacidade de gerenciamento dos recursos hídricos. Considerando o exposto, este estudo tem como objetivo compreender a dinâmica hidrológica do bairro Jardim Botânico, na cidade do Rio de Janeiro, a fim de que se torne possível adequar as medidas preventivas já existentes e desenvolver novas metodologias capazes de contribuir para minimizar os impactos negativos que, cada vez mais, afetam o cotidiano da população.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na zona sul do município do Rio de Janeiro, e se encontra inserida na bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas com área drenante de aproximadamente 30 km², de acordo com informações do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas (PGALRG, 2013). Por sua vez, a Lagoa funciona como bacia de acumulação nas precipitações mais intensas além de receber contribuições dos Rios Cabeça, Macacos e Rainha. É uma região de grande importância turística e social na cidade, cercada por bairros residenciais e áreas urbanas (Figura 1).

Figura 1 - Bacia Hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro.



Fonte: PGALRG, 2013.

A fundamentação para a seleção da área de estudo, utilizou como base um levantamento dos eventos críticos mais recentes ocorridos na região. Para isso, foram consultadas informações de noticiários e jornais que demonstram a magnitude dos efeitos causados pelos alagamentos e inundações, eventos estes que causam prejuízos à população do bairro do Jardim Botânico e do entorno até os dias atuais (Figura 2).



Figura 2 - Episódios de alagamentos e inundações no Jardim Botânico.



Legenda: 1) Rua Jardim Botânico, (G1, 2016); 2) Rua Jardim Botânico (G1, 2017); 3) Saída do Túnel Rebouças (JORNAL DO BRASIL, 2018); 4) Rua Pacheco Leão (O GLOBO, 2020).

No mês de março de 2016 o Sistema Alerta Rio registrou uma precipitação máxima de 81,8 mm/h, enquanto que o evento de 20 de junho do ano seguinte, registrou 59,2 mm/h. Em novembro de 2018, uma precipitação de 35 mm/h foi suficiente para interditar vias e causar transtornos no bairro. O evento de setembro de 2020, ilustrado na Figura 2, faz referência a uma precipitação de 157 mm acumulada em 1 hora.

Para os cálculos hidrológicos, foram consultadas séries históricas da estação pluviométrica do Jardim Botânico, localizada no Jôquei Clube. Estes dados são provenientes do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, compreendendo o período de observações de 2009 a 2019. De forma a compreender os maiores eventos no período mencionado, foram utilizadas as informações dos Relatórios Anuais de Chuva, também disponibilizados pelo Sistema Alerta Rio (RIO DE JANEIRO, 2022).

Com base nos Relatórios Anuais de Chuva, foram selecionados os valores de precipitação máxima ocorridos durante uma hora, no período de 10 anos analisados. Os Tempos de Retorno (TR) estimados para cada ano consideraram os parâmetros contidos nas Instruções Técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana (RIO DE JANEIRO, 2019), referentes à equação intensidade-duração-frequência, assim como os parâmetros associados às características do bairro Jardim Botânico.



$$i = \frac{a Tr^b}{(t + c)^d}$$

Onde:

i é a intensidade pluviométrica em mm/h;

Tr é o tempo de retorno em anos;

t é o tempo de duração da precipitação em minutos;

a, *b*, *c* e *d* são os parâmetros da equação para o Jardim Botânico (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros da equação intensidade-duração-frequência.

Pluviômetro	a	b	c	d	Fonte
Santa Cruz	711,3	0,18	7,00	0,687	PCRJ-Cohidro
Campo Grande	891,6	0,18	14,0	0,689	PCRJ-Cohidro
Mendanha	843,7	0,17	12,0	0,698	PCRJ-Cohidro
Bangu	1208	0,17	14,0	0,788	PCRJ-Cohidro
Jardim Botânico	1239	0,15	20,0	0,740	Ulysses Alcântara
Capela Mayrink	921,3	0,16	15,4	0,673	Rio Águas (2003)
Via 11	1423	0,19	14,5	0,796	Rio Águas (2005)
Sabóia Lima	1782	0,17	16,6	0,841	Rio Águas (2006)
Realengo	1164	0,14	6,96	0,769	Rio Águas (2006)
Irajá	5986	0,15	29,7	1,050	Rio Águas (2007)
Eletróbrás - Taquara	1660	0,15	14,7	0,841	Rio Águas (2009)

Fonte: RIO DE JANEIRO, 2019.

Após a seleção das precipitações máximas entre 2009 e 2019, estas foram utilizadas na equação intensidade-duração-frequência para estimativa dos tempos de retorno. Neste cálculo, o tempo de duração da chuva foi de 60 minutos, ou seja, 1 hora, e os parâmetros da equação foram aqueles referentes a área de estudo (Jardim Botânico). As probabilidades de precipitações extremas foram calculadas pelo inverso do TR, sendo representadas em termos percentuais.

O planejamento urbano atrelado à gestão das bacias hidrográficas necessita de instrumentos capazes de prever cenários futuros. Esta estratégia possibilita a implementação de medidas preventivas e de adaptação, minimizando riscos e impactos negativos. Sendo assim, foi



desenvolvida uma previsão das precipitações máximas, com duração de 1 hora, até o ano de 2029. Nesta etapa de análise estatística, foi utilizada a ferramenta *Planilha de Previsão* do programa *Excel*.

Este é um recurso do programa que estima valores futuros com base em dados históricos ou padrões existentes. É especialmente útil para análise de tendências, projeções financeiras, previsão de vendas, entre outros cenários onde é necessário fazer previsões baseadas em dados passados. Ao inserir os valores mais significativos de intensidade de precipitação (mm/h) para cada ano, entre 2009 e 2019, foram analisados os limites superior e inferior considerando os limites de confiança de 95%, bem como previstas as intensidades de precipitação para os anos seguintes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da Figura 3 indicam as precipitações máximas em 1 hora, para cada ano analisado. O valor médio estimado no período de 10 anos foi de 55,7 mm/h, considerada uma elevada intensidade pluviométrica dadas as condições topográficas e os históricos de alagamentos e inundações que a região apresenta. Os três maiores valores observados de intensidade de precipitação em 2010, 2016 e 2019, anos que registraram elevados volumes precipitados. Em 2010, por exemplo, um evento ocorrido em 27 de outubro trouxe caos para o bairro, deixando a cidade em estado de vigilância conforme informações do G1 (2010).

Figura 3 - Valores máximos de precipitação entre 2009 e 2019 ocorridos no período de 1 hora.



Fonte: AUTORES, 2021 (Dados extraídos dos Relatórios Anuais de Chuva do Sistema Alerta Rio).

O Tempo de Retorno (TR) é aquele em que se estima, em anos, quando um determinado evento poderá ser igualado ou excedido. Em outras palavras, é um conceito que se refere à



probabilidade de ocorrer um evento extremo em um dado tempo, também conhecido como período de recorrência. Com base nos maiores valores de precipitação, obteve-se uma estimativa de TR que variou entre 3 e 54 anos, aproximadamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Estimativa do Tempo de Retorno entre 2009 e 2019 para precipitações no bairro do Jardim Botânico, RJ.

ANO	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA (mm/h)	TR (anos)	PROBABILIDADE DE PRECIPITAÇÕES INTENSAS (%)
2009	45,6	0,67	148,64
2010	70,6	12,40	8,06
2011	36,2	0,14	692,64
2012	44,8	0,60	167,25
2013	56,6	2,84	35,19
2014	43,8	0,51	194,42
2015	37,4	0,18	557,30
2016	81,8	33,10	3,02
2017	59,2	3,83	26,09
2018	48,6	1,03	97,20
2019	88	53,87	1,86

Fonte: AUTORES, 2021.

Para uma precipitação de 88 mm e duração de uma hora, a maior no período analisado, o TR estimado é de 54 anos, ou seja, durante esse período é possível que a precipitação ocorrida em 2019 possa ser igualada ou superada. Estimou-se uma probabilidade de cerca de 2% de ocorrência do evento de 88 mm em um ano qualquer. Nota-se, portanto, que a metodologia explica o fenômeno em que um TR maior tem uma probabilidade de ocorrência menor em qualquer ano específico, enquanto eventos com um TR menor tem uma probabilidade de ocorrência maior.

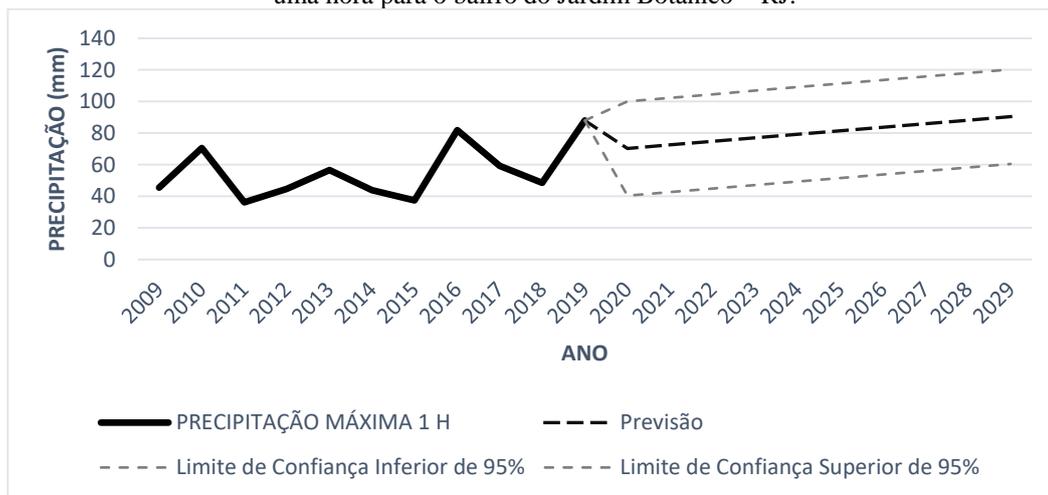
Por sua vez, as probabilidades de precipitações extremas estimadas com base no TR demonstraram valores percentuais expressivos, principalmente para os anos de 2011 e 2015, eventos de menores intensidades de precipitação no período de 1 hora. Essa valiosa ferramenta contribui para o planejamento de infraestruturas, gestão de riscos e tomada de decisões relacionadas a eventos climáticos extremos, como inundações. Além disso, a relação entre o TR e a probabilidade permite compreender a frequência esperada de ocorrência de eventos específicos, como por exemplo a alta probabilidade de uma chuva de 36,2 mm/h ocorrer novamente.

A partir dos valores máximos de precipitação entre 2009 e 2019 ocorridos no período de 1 hora, foi possível estimar uma previsão das precipitações máximas até o ano de 2029,



considerando os limites de confiança de 95% (Figura 4). A avaliação mostra uma tendência crescente ao longo dos anos, o que indica um aumento gradativo na frequência de precipitações intensas, com uma hora de duração, como se verifica através da linha laranja no gráfico.

Figura 4: Previsão das precipitações máximas até o ano de 2029 com intervalo de confiança de 95% no período de uma hora para o bairro do Jardim Botânico – RJ.



Fonte: AUTORES, 2021.

A tendência crescente de eventos intensos de precipitação pode ser explicada por uma combinação de fatores naturais e influências antrópicas que a região está condicionada. No entanto, é importante destacar que o clima é um sistema complexo que interage com outros elementos e pode provocar mudanças nos padrões de precipitação, mudanças climáticas, aquecimento das superfícies terrestres, mudanças nos padrões de circulação atmosférica, fenômenos climáticos extremos, mudanças nos usos da terra como desmatamento e expansão urbana, entre outros.

A previsão de eventos de precipitação extrema estimada até o ano de 2029 evidencia a importância da implementação de medidas não estruturais de drenagem urbana, como ações de regulamentação do uso e ocupação do solo, programas de educação ambiental voltados para o controle da poluição difusa, erosão e resíduos, entre outras. Considerando os recorrentes casos de alagamentos e inundações na região, observa-se necessidade da aplicação de um planejamento detalhado de prevenção e resposta aos eventos.



4 CONCLUSÕES

O estudo demonstrou a importância em desenvolver estudos hidrológicos e análises estatísticas de dados de precipitação no âmbito de eventos extremos entre 2009 e 2019, no qual foi possível perceber um padrão de ocorrência desses eventos entre os meses de janeiro a abril. Os valores encontrados de precipitação até o ano de 2029, reforçam a importância em acompanhar os eventos de natureza hidrológica e, ainda mais, acende um alerta quanto aos riscos potenciais que as cidades vulneráveis a esses eventos podem estar cada vez mais expostas.

A análise que combinou dados históricos com projeções climáticas, buscou entender como os eventos extremos podem evoluir no futuro. A estimativa de 2% de probabilidade de um evento extremo de 88 mm de precipitação ocorrer novamente, indica a relevância deste tipo de abordagem. Analisar eventos hidrológicos já registrados em conjunto com projeções futuras que indicam um aumento nos índices pluviométricos é uma abordagem importante que permite discutir quais ações podem ser adotadas em relação às características hidrológicas de uma área e os impactos associados a essas mudanças.

5 RECOMENDAÇÕES

Para minimizar a vulnerabilidade a eventos hidrológicos, várias medidas podem ser adotadas como o mapeamento e planejamento urbano adequado. Mapear áreas propensas a inundações, deslizamentos de terra e outros eventos hidrológicos extremos, permite que as autoridades identifiquem zonas de risco e evitem o desenvolvimento inadequado nessas áreas, contribuindo para um melhor direcionamento do crescimento urbano para regiões mais seguras. Além disso, a melhoria da infraestrutura é importante na atenuação dos fluxos de água no meio urbano.

Outra medida que pode ser implementada para minimizar a influência dos eventos hidrológicos extremos é a restauração de vegetação nativa, que contribui para estabilizar o solo e prevenir a erosão, o que por sua vez reduz o carreamento de sedimentos para corpos d'água durante eventos de chuva intensa. De modo complementar, outras medidas podem ser tomadas a fim de minimizar os efeitos negativos dos eventos hidrológicos extremos, tanto por meio de construções resilientes quanto pela adoção de estratégias de educação e conscientização da população.



As práticas de cooperação regional e gestão integrada, possibilitam o compartilhamento de informações sobre padrões climáticos e previsões meteorológicas, gestão de situações de crise, adoção de medidas preventivas e, até mesmo, incentivos e ações que promovam o desenvolvimento sustentável. Por sua vez, a estratégia voltada para pesquisas permite investir em sistemas de monitoramento hidrológico para a coleta de dados cada vez mais precisos sobre a intensidade e o volume das chuvas, níveis de água nos rios, rede de drenagem e condições de umidade e infiltrabilidade dos solos, que certamente melhoram as previsões e aumentam a eficiência das respostas aos eventos extremos.

A combinação destas e outras estratégias visam contribuir para a melhoria da resiliência das comunidades e ecossistemas, reduzindo os danos causados por eventos hidrológicos extremos. Portanto, é essencial que os esforços sejam coordenados e implementados de forma colaborativa, envolvendo governo, sociedade civil e setor privado para uma abordagem eficaz na gestão dos riscos hidrológicos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.



REFERÊNCIAS

Amorim, M. F.; Quelhas, O. L. G.; MOTTA, A. L. T. S. (2014). A resiliência das cidades frente a chuvas torrenciais: Estudo de caso do plano de contingência da cidade do Rio de Janeiro. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 26 (3), p. 519-534. <https://www.scielo.br/j/sn/a/Ls3CfsprPXXGqB6p6skB7mpJ/?format=pdf&lang=pt>

Farias, A.; Mendonça, F. (2022). Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 34, p. 1-18. <https://www.scielo.br/j/sn/a/vnWCPJvXm86C3hXLzwkG93B/?format=pdf&lang=pt>

G1 Rio (2017, junho 21). Chuva inunda pelo menos 15 bairros do Rio com o temporal das últimas horas. *Jornal G1 - Globo*. <https://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/pelo-menos-15-bairros-ficaram-inundados-com-o-temporal-das-ultimas-horas-no-rio.ghtml>

G1 Rio (2010, outubro 27). Em 24h chove mais da metade do mês de outubro em 3 bairros do Rio. *Jornal G1 - Globo*. <https://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2010/10/choveu-mais-da-metade-prevista-para-este-mes-em-3-bairros-do-rio.html>

Gonçalves, N.M.S. (2003) *Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador*. In: Monteiro, C.A.F.; Mendonça, F. (Org.) *Clima Urbano*, p. 69-91. Rio de Janeiro: Contexto.

Halder, S.; Saha, U. (2021). Future Projection of Extreme Rainfall for Flood Management due to Climate Change in an Urban Area. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, Vol. 7, Issue 3. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JSWBAY.0000954>

Jornal O Globo (2020, setembro 22). Chuva forte causa interdições e alagamentos em diversos pontos no Rio na chegada da primavera. *Jornal O Globo Rio*. <https://oglobo.globo.com/rio/chuva-forte-causa-interdicoes-alagamentos-em-diversos-pontos-no-rio-na-chegada-da-primavera-24653022>

Jornal do Brasil (2018, novembro 26). Forte chuva deixa vários bairros alagados no Rio. *Jornal do Brasil - Online*. <https://www.jb.com.br/rio/2018/11/959815-forte-chuva-deixa-varios-bairros-alagados--no-rio.html>

G1 Rio (2016, março 12). Chuva muito forte faz Rio entrar em estágio de crise. *Jornal G1 - Globo*. <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2016/03/chuva-muito-forte-faz-rio-entrar-em-estagio-de-crise.html>

Miguez, M. G.; Di Gregorio, L. T.; Veról, A. P. (2018). *Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos*. Rio de Janeiro: Elsevier.

Rio de Janeiro (2009 a 2019). *Relatório Anual de Chuvas*. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. <http://www.sistema-alerta-rio.com.br/documentos/relatorios-de-chuva/>

Rio de Janeiro (2013). *Plano de Gestão Ambiental da Lagoa Rodrigo de Freitas (PGALRG)*. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Obras. Fundação Instituto das



Águas do Município do Rio de Janeiro - RIO ÁGUAS.
<http://www.rio.rj.gov.br/documents/91265/2972533/10+-+RIOAGUAS+-+Plano+de+Gest%C3%A3o+Ambiental+da+Lagoa+Rodrigo+de+Freitas+-2013>

Rio de Janeiro (2019). *Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana*. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Obras. Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas - RIO ÁGUAS.

<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/8940582/4244719/InstrucaoTecnicaREVISAO1.pdf>

Rio de Janeiro (2022). *Maiores Chuvas*. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. <http://alertario.rio.rj.gov.br/maiores-chuvas/>

Rossi, E.; Gonçalves, L. M. (2012). Ecotécnicas de drenagem urbana: urbanização de impacto ambiental reduzido. In: Simpósio de pós-graduação em engenharia urbana, Maringá. Caderno de Resumos – SIMPGEU. Maringá: UEM, (3), p. 97-97.

https://www.researchgate.net/publication/306108767_ECOTECNICAS_DE_DRENAGEM_URBANA_URBANIZACAO_DE_IMPACTO_AMBIENTAL_REDUZIDO

Santos Junior, E. R. dos; Bontempi, R. M.; Fantin, M. (2022). Replanejar com a Paisagem: uma abordagem multimétodo sobre a adoção de infraestrutura verde para bacias hidrográficas em urbanização. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 3, p. 1478-1494. https://repositorio.usp.br/directbitstream/0262250c-2695-47aa-8ebe-ff2a722d869a/PROD002123_3109972.pdf

Silva, P. O.; Cabral, J. J. S. P. (2014). Atenuação de picos de vazão em área problema: estudo comparativo de reservatórios de retenção em lote, em logradouros e em grande área da bacia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19 (2), p. 7-18. <https://biblat.unam.mx/hevila/RBRHRevistabrasileiraderecursoshidricos/2014/vol19/no2/1.pdf>

Tambosi, L. R.; Vidal, M. M.; Ferraz, S. F. de B; Metzger, J. P. (2015). Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. *Estudos Avançados*, 29 (84), p. 151-162. <https://www.scielo.br/j/ea/a/vMhK9xjGrjyLMXgBcwmSM7Q/?format=pdf&lang=pt>

Tucci, C.E.M. (2007). *Inundações urbanas*. Porto Alegre: ABRH/RHAMA.

Vicente, A. K. (2005). *Eventos Extremos de Precipitação na Região Metropolitana de Campinas*. [Dissertação de mestrado em Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências]. Unicamp. <http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detail/332026>