

# PLANEJAMENTO AMBIENTAL URBANO:

ALICERCES DE UMA CIDADE INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

ORGANIZAÇÃO:

EDILSON DE SOUZA BIAS  
VALDIR ADILSON STEINKE



caliandra

Universidade de Brasília  
ICH - Instituto de Ciências Humanas

# **PLANEJAMENTO AMBIENTAL URBANO:** ALICERGES DE UMA CIDADE INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

Organizadores:

Edilson de Souza Bias  
Valdir Adilson Steinke



**caliandra**

Brasília - DF  
2024



## **Conselho Editorial**

### **Membros internos:**

Prof. Dr. Bruno Leal (HIS/UnB) - Presidente

Prof. Dr. Herivelto Pereira de Souza (FIL/UnB)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Lucia Lopes da Silva (SER/UnB)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ruth Elias de Paula Laranja (GEA/UnB)

### **Membros externos:**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ângela Santana do Amaral (UFPE)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Joana Maria Pedro (UFSC)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marine Pereira (UFABC)

Prof. Dr. Ricardo Nogueira (UFAM)

### **Membros internacionais:**

Prof. Dr. Fernando Quiles García (Universidad Pablo de Olavide - Espanha);

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ilía Alvarado-Sizzo (Universidad Autonoma de México)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paula Vidal Molina (Universidad de Chile)

Prof. Dr. Peter Dews (University of Essex - Reino Unido)

© 2024.



Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens dessa obra é dos autores.

[1ª edição]

## Elaboração e informações

Universidade de Brasília

ICH - Instituto de Ciências Humanas

Campus Universitário Darcy Ribeiro, ICC Norte, Mesanino Bloco 01qr Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte, Brasília DF CEP: 70297-400 Brasília - DF, Brasil

E-mail: [ihd@unb.br](mailto:ihd@unb.br)

Contato: (61) 3107-7364

Site: [ich.unb.br](http://ich.unb.br)

## Equipe técnica

Parecerista: Charlei Aparecido da Silva (UFGD)

Editoração: Valdir Adilson Steinke e Edilson de Souza Bias

Revisão: Amabile Zavattini

Capa: Thamirys Verneque Silva dos Reis

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade de Brasília - BCE/UNB)

P712            Planejamento ambiental urbano [recurso eletrônico]  
                  : alicerces de uma cidade inteligente e  
                  sustentável / organizadores: Edilson de Souza  
                  Bias, Valdir Adilson Steinke. – Brasília :  
                  Universidade de Brasília, Instituto de Ciências  
                  Humanas, 2024.  
                  262 p. : il.

Inclui bibliografia.  
Modo de acesso: World Wide Web:  
<[caliandra.ich.unb.br](http://caliandra.ich.unb.br)>.  
ISBN 978-85-93776-08-3.

1. Planejamento urbano. 2. Sustentabilidade. 3.  
Cidades inteligentes. I. Bias, Edilson de Souza  
(org.). II. Steinke, Valdir Adilson (org.).

CDU 711.4

Heloiza dos Santos - CRB 1/1913





# Dedicatória

A organização de uma obra exige tempo, esforço, paciência e muito trabalho, o qual deve ser orientado por uma finalidade, um objetivo, um fator motivador. No caso deste trabalho, o fator motivador foi proporcionar a pesquisadores, estudiosos e estudantes das questões urbanas uma articulação de textos úteis e atuais para apoiá-los e orientá-los em seus estudos.

Dedicamos esta obra às nossas instituições, que nos proporcionam o ensino e a pesquisa contínua, bem como a todos os nossos estudantes, tanto de graduação quanto de pós-graduação. As atividades de docência representam para todos nós um rico manancial de reflexões, que possibilitam aprofundamentos sobre todos os temas abordados nesta obra.

# Índice

|   |            |
|---|------------|
| <b>Prefácio</b> _____   | <b>10</b>  |
| <b>Capítulo 1:</b> Planejamento Urbano e a construção de Indicadores de Sustentabilidade – O que aprendemos ou o que temos que aprender._____                 | <b>16</b>  |
| <b>Capítulo 2:</b> Cidades sustentáveis, ODS 11 - Educação ambiental: um desafio para o planejador urbano ou uma ferramenta indispensável?_____               | <b>50</b>  |
| <b>Capítulo 3:</b> Proposição de indicadores de qualidade ambiental urbana_____   | <b>64</b>  |
| <b>Capítulo 4:</b> O desenho da cidade e o conforto térmico ambiental: estratégias para obtenção de formas urbanas com maiores alternativas ecotérmicas._____ | <b>82</b>  |
| <b>Capítulo 5:</b> O planejamento com a infraestrutura da paisagem cerratense: a contribuição da arborização_____   | <b>102</b> |
| <b>Capítulo 6:</b> Mobilidade como um Serviço: Indicações de Estratégias Interventivas no Hábito de Usar Automóvel Baseadas na Revisão da Literatura_____     | <b>122</b> |
| <b>Capítulo 7:</b> Eventos pluviais extremos no Distrito Federal: desafios para adaptação às mudanças climáticas em busca de uma cidade sustentável_____      | <b>140</b> |
| <b>Capítulo 8:</b> Drenagem urbana sustentável, geotecnologias e cidades inteligente_____   | <b>170</b> |
| <b>Capítulo 9:</b> Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumento de análise da qualidade ambiental urbana: Uma abordagem metodológica_____         | <b>198</b> |
| <b>Capítulo 10:</b> Aplicações e Ferramentas Geotecnológicas para a Gestão Ambiental Urbana_____  | <b>222</b> |
| <b>Capítulo 11:</b> A integração de dados geográficos para o planejamento urbano sustentável – o que usar e como usar?_____                                   | <b>238</b> |

# CAPÍTULO 7

## Eventos pluviais extremos no Distrito Federal: desafios para adaptação às mudanças climáticas em busca de uma cidade sustentável



### **Ercilia Torres Steinke**

Possui graduação em Geografia pela Universidade de Brasília - UnB (1994), mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (1997) e doutorado em Ecologia pela Universidade de Brasília (2004). Professora Titular e pesquisadora do Departamento de Geografia da UnB. Fundadora do Laboratório de Climatologia Geográfica - LCGea da Universidade de Brasília. Coordenadora do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Geografia em Rede Nacional - PROFGEO desde 2021. Tem experiência na área de conhecimento de Geografia, com ênfase em Climatologia Geográfica, atuando principalmente no ensino de Climatologia.



### **Rafael Rodrigues da Franca**

Possui graduação em Geografia (Bacharelado) pela Universidade Federal de Minas Gerais (2006), Mestrado em Geografia (Análise Ambiental), com ênfase em Climatologia, pela Universidade Federal de Minas Gerais (2009) e Doutorado em Geografia, com ênfase em Climatologia, pela Universidade Federal do Paraná (2015). É professor do Departamento de Geografia da Universidade de Brasília e ministra disciplinas nesse curso e nos cursos de Engenharia Florestal e Ciências Ambientais. Tem experiência em Geografia Física, atuando principalmente em Climatologia, dinâmica e variabilidade climática, eventos climáticos extremos, desastres naturais, mudanças e emergência climática e clima urbano. É membro do Laboratório de Climatologia Geográfica da UnB.

# Eventos pluviais extremos no Distrito Federal: desafios para adaptação às mudanças climáticas em busca de uma cidade sustentável

Ercilia Torres Steinke  
Rafael Rodrigues da Franca

## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas não são um fenômeno novo. Elas sempre ocorreram ao longo das eras geológicas, com alternância de climas mais frios e mais quentes. Contudo, na era em que vivemos atualmente, o Antropoceno – termo usado para designar a era geológica que se distingue pelo papel central que a humanidade desempenha na realização de mudanças significativas no planeta Terra – há, praticamente, um consenso de que as mudanças climáticas estão sendo provocadas pela ação humana, e não mais por fatores geológicos, cósmicos etc., sendo que a maior materialização dessas atividades pode ser encontrada nas cidades.

De acordo com Relatório Mundial das Cidades 2022 (UN-HABITAT, 2022), nos dias de hoje, mais da metade da população mundial vive em cidades e espera-se que esse número cresça para, aproximadamente, 70% até 2050. Sendo assim, as cidades ocupam papel de destaque em relação às mudanças climáticas, já que tendem a ser os locais de maior emissão de gases de efeito estufa (GEE), causado pelas atividades antrópicas, e onde muitos dos impactos serão sentidos.

A relação entre as mudanças climáticas e as cidades pode ser compreendida por meio da verificação de como estas vêm sofrendo com os impactos advindos daquelas, como por exemplo: redução da mobilidade urbana, destruição da infraestrutura construída, perda de vidas etc. Dessa forma, o enfrentamento dessas questões, passa pela adaptação dos setores da sociedade, considerando, na sua maioria, as mudanças relacionadas ao aperfeiçoamento da infraestrutura e à recuperação de áreas degradadas, como a criação de infraestrutura verde e adaptação baseada na natureza.

Em todas as partes do mundo, a literatura sobre o papel das cidades frente às mudanças climáticas tem crescido significativamente. De acordo com Nobre e Young (2011), em todos os países onde há elevadas taxas de população urbana como o Brasil, as cidades são importantes agentes na constatação dos impactos das mudanças climáticas, principalmente porque podem concentrar áreas mais sujeitas a eventos extremos, como aumento de episódios de chuva de

grande intensidade e de temperaturas. Esses impactos tendem a agravar os riscos identificados nas cidades brasileiras, além de evidenciar a incapacidade dos governos locais para lidarem com as questões de infraestrutura e/ou a falta dela.

Em relação ao posicionamento do Brasil frente à essa questão, segundo Basso e Viola (2017), ainda que alguns esforços para integrar a questão climática em suas políticas e diretrizes tenham sido empreendidos, o Brasil tem desempenhado um papel relativamente conservador na mitigação e adaptação aos eventos extremos relacionados às mudanças climáticas.

Poucas são as cidades brasileiras que incorporaram mudanças climáticas como diretrizes para as políticas públicas em suas agendas. Um dos motivos apontados para isso está relacionado a um fato ainda comum em municípios brasileiros - a falta de ou as inadequações relacionadas ao incipiente registro de dados meteorológicos em áreas urbanas, fundamentais para tomada de decisão, monitoramento, proteção e ações de prevenção.

Os eventos extremos sempre existiram, porém, o que a comunidade científica demonstra é que a maior regularidade da ocorrência desses eventos possui relação com a ação antrópica. Até pouco tempo, o Brasil não possuía temporadas de eventos extremos, potenciais geradores de desastres, porém, de acordo com Giulio et al. (2019), eles estão se tornando parte da realidade no país. Por isso, é fundamental investir em sistemas de monitoramento integrados com a Defesa Civil e com sistemas de comunicação, a fim de produzir informações que subsidiem esses sistemas, para que seja possível atuar de forma efetiva na ocorrência de um desastre.

Esse tipo de investimento está associado ao conceito de cidade inteligente (smart city), que tem ganhado cada vez mais espaço, sendo uma das promessas para ajudar a solucionar os diversos problemas existentes nos centros urbanos, inclusive aqueles relacionados aos impactos das mudanças climáticas, como o enfrentamento aos eventos extremos de chuva. Segundo Bento et al. (2018), cidades inteligentes são cidades inovadoras que utilizam as tecnologias de informação e comunicação (TIC) para melhorar a qualidade de vida dos habitantes e incrementar a operação dos serviços urbanos, garantindo o atendimento das necessidades atuais e futuras relacionadas aos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais. O questionamento que se levanta, então, é: como as cidades, principalmente aquelas mais vulneráveis, podem se tornar mais inteligentes para o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas, como os eventos extremos de chuva?

Nesse contexto, o presente texto apresenta dados de ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial, em Brasília, Distrito Federal (DF), sua frequência, tempo de retorno e tendências, no período compreendido entre 1963 e 2019, associando esses eventos à uma análise geográfica dos pontos de alagamentos,

um dos principais impactos na área urbana do DF, derivados dos eventos extremos de chuva, e uma breve discussão de como o conceito de cidade inteligente pode colaborar para a minimização e/ou o combate desse problema.

## **Eventos extremos no Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC)**

Antes de apresentar a análise citada no parágrafo anterior, é importante indicar como a questão dos eventos extremos de chuva são tratados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), um órgão não governamental, fundado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), estabelecido com o objetivo de avaliar as pesquisas sobre mudanças climáticas, interpretá-las e reunir, em relatórios de fácil compreensão, seus resultados e informações mais importantes. Esses são os Relatórios de Avaliação (RA), pelos quais o IPCC é mais conhecido, amplamente reconhecidos, a princípio, como as fontes mais confiáveis de informações sobre a mudança do clima.

Até 2022, o IPCC publicou seis Relatórios de Avaliação (RA) (Assessment Reports - AR) e um Relatório Especial, o Special Assessment 1.5oC. Nos AR é possível encontrar o estado do conhecimento sobre a mudança do clima, onde há consenso na comunidade científica e em que áreas mais pesquisas são necessárias. Já o Relatórios Especial tratou de questões específicas acordadas entre os países membros. Normalmente, após a publicação dos relatórios acontecem as grandes reuniões, em que os governantes do mundo tentam encontrar soluções e definir metas para enfrentar as mudanças projetadas pelos documentos.

No mais recente relatório (AR6), publicado em 2021, afirma-se que tanto seres humanos como a natureza estão sendo pressionados além de sua capacidade de adaptação. O relatório mostra que eventos climáticos extremos e ligados às mudanças climáticas, como enchentes/alagamentos e ondas de calor, estão atingindo seres humanos, e outras espécies, de forma muito mais intensa do que as avaliações anteriores indicavam.

As projeções dos modelos climáticos do AR6 (2021) informam que a temperatura do planeta se elevará em 1.5°C em todos os cenários. Considerando as melhores projeções, ou seja, reduzindo consideravelmente a emissão de GEE em relação a emissão atual, em 2030 alcançaremos 1.5°C de temperatura, o que poderá provocar repercussões bastante negativas, sobretudo para as populações mais vulneráveis.

Pesquisas desenvolvidas em diversas partes do mundo têm alertado, ainda, para o aumento dos eventos extremos devido às mudanças climáticas. Episódios de chuvas intensas, secas prolongadas, ondas de calor e de frio são alguns dos eventos extremos que podem assumir importância significativa no cotidiano das sociedades, quer seja por sua frequência e intensidade de ocorrência, quer seja

pela vulnerabilidade socioambiental (SANTOS et al., 2017). Os eventos extremos, atrelados às vulnerabilidades sociais, resultam em elevados riscos ambientais e sociais, ameaçando, também, as atividades econômicas, além de impor limite para o uso e ocupação de determinadas áreas, inclusive das cidades.

De acordo com Marengo et al. (2021), os eventos extremos são comumente relacionados a valores anormais de um estado climático médio que pode ser observado em várias escalas de tempo, tanto de curto prazo, variando de horas e dias, por exemplo, quanto de médio e longo prazo (milênios). Tanto os eventos extremos de curto prazo, que estão relacionados com o tempo atmosférico, como os de médio prazo, associados ao clima, configuram-se como os mais importantes para as atividades humanas, uma vez que são potenciais causadores de impactos significativos. Vale destacar que, segundo Stephenson (2008), definir um evento climático extremo depende de diferentes índices climáticos capazes de avaliar sua frequência, duração, tempo de retorno e intensidade, distinguindo-se pelos danos que exercem sobre o ambiente natural e a economia.

O IPCC considera que um evento climático extremo ocorre quando é observado um valor muito acima ou muito abaixo do valor normal no comportamento de alguma variável climática. No caso da precipitação pluvial, o IPCC acrescenta que eventos extremos de chuva têm se tornado mais frequentes e intensos, sobretudo na América do Norte, América Central e Europa, fato atribuído ao incremento da temperatura global, que entre 1880 e 2012 aumentou cerca de 0,85°C (IPCC, 2012; 2013). Sobre isso, encontra-se a seguinte afirmação no último Relatório Especial:

*A mudança do clima causada pelo homem já está afetando muitos extremos de tempo e clima em todas as regiões do planeta. As evidências das mudanças observadas em eventos extremos como ondas de calor, precipitação intensa, secas, e ciclones tropicais, e, principalmente, sua atribuição à influência humana, ficaram mais fortes desde o AR5. [...] É praticamente certo que extremos de calor (incluindo as ondas de calor) se tornaram mais frequentes e mais intensos na maioria das regiões terrestres desde a década de 50, enquanto os extremos de frio (incluindo as ondas de frio) se tornaram menos frequentes e menos rigorosas, com confiança alta que mudança do clima induzida pela atividade humana é a principal causadora dessas alterações. Seria extremamente improvável que alguns dos extremos de calor observados recentemente na última década acontecessem sem a influência humana sobre o sistema climático. A frequência das ondas de calor marinhas praticamente dobrou desde a década de 80 (confiança alta), e muito provavelmente a influência humana contribuiu para a maioria delas desde 2006, pelo menos (IPCC, 2021:11).*

A identificação de eventos extremos de chuva pode ser realizada por meio da aplicação de diversos índices, como o Índice de Anomalia de Precipitação (IAP), o Índice de Porcentagem Normal (IPN), o Método dos Decis (MD), o Índice de Precipitação Normalizada (IPN) e o Percentil 99. Entre eles, Franca (2015) afirma que a utilização do método do Percentil 99, recomendado pelo Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDI), é interessante pois permite identificar o limiar de 1% das precipitações mais significativas de uma série histórica. Esse método tem sido usado por diversos pesquisadores, como

Goudard e Mendonça (2017; 2020), Paz e Sanches (2017); Paz et al. (2019), Machado et al. (2019); Sanches et al. (2019). Embora a aplicação desse limiar se apresente satisfatória, outros pesquisadores como Monteiro (2016), Monteiro e Zanella (2017; 2019), Oliveira Sena et al. (2019) e Marengo et al. (2020) utilizam o limiar de 50 mm/24 horas como parâmetro para identificação de eventos pluviais extremos.

Independente do limiar adotado, sabe-se que os eventos extremos de chuva fazem parte do ritmo climático de um lugar. Sendo assim, o conhecimento da variabilidade dos eventos de chuva de grande intensidade é de crucial importância para o planejamento do uso e ocupação da terra, bem como para a prevenção de e adaptação a impactos associados a esses episódios.

Nas últimas décadas, tais episódios têm recebido destaque pela imprensa devido aos diversos impactos socioambientais causados em áreas urbanas, principalmente os alagamentos. Esses impactos decorrem de vulnerabilidades associadas a contingências sociais, políticas, econômicas, culturais, tecnológicas, entre outras, que potencializam os danos associados aos eventos pluviais extremos (Mendonça, 2011). A seguir, são apresentados e discutidos dados referentes a eventos de chuva extrema, no DF, e os alagamentos deles derivados.

## **Eventos extremos de chuva e alagamentos no DF**

Assim como em várias cidades do Brasil, no DF, chuvas concentradas e sistemas de drenagem urbana ineficazes impactam a população com problemas originados pelo excesso de escoamento de água nas áreas urbanas. Há alguns anos, já são contabilizados inúmeros casos de problemas urbanos originados da relação entre eventos climáticos e infraestrutura urbana, entre outros aspectos. Muitos desses problemas podem até ser considerados como desastres, como os alagamentos, que constituem consequência da combinação de riscos naturais e atividades antrópicas.

Alguns fatores podem ser listados para justificar o aumento da vulnerabilidade aos alagamentos no DF, entre eles o crescimento da população, a maior concentração da população em áreas urbanas, a retirada da cobertura vegetal para o assentamento da infraestrutura das cidades, o aumento da impermeabilização do solo, o incremento do escoamento superficial, o desaparecimento de zonas úmidas e de recarga do lençol freático, e a maior ocupação em áreas de risco. Soma-se a esses fatores uma prática que, segundo Fernandes (2021), é comum no DF desde antes da implantação da Capital Federal, Brasília: a ocupação irregular e a grilagem da terra.

Os problemas produzidos pelos eventos de chuva extrema no DF não são de amplo conhecimento fora da região, por esse motivo e com o objetivo de desmistificar a falsa ideia de que no DF não ocorrem desastres urbanos decorrentes de eventos pluviais extremos, Steinke e Barros (2015) identificaram diversos tipos

de ocorrências, desde alagamentos, deslizamentos, problemas com a saúde e até óbitos. Um resultado interessante da pesquisa diz respeito ao fato de que, em muitos casos, a falta de planejamento contribuiu muito mais para a ocorrência dos desastres do que propriamente o evento pluvial em si.

Braga (2016) identificou e analisou os fatores desencadeadores de alagamentos em Santa Maria, DF, entre 2010 e 2014. A pesquisa demonstrou que os sistemas de drenagem da cidade apresentavam pouca ou nenhuma capacidade de absorver os elevados volumes de chuva em caso de precipitação intensa. Além disso, o autor concluiu que o elevado nível de impermeabilização do solo e da expansão urbana acelerada contribuíram para o problema, fatores também identificados por Steinke e Barros (2015).

Outra pesquisa que identificou eventos extremos de chuva no DF foi a realizada por Steinke et al. (2017), que analisou a variabilidade das chuvas do mês de janeiro, no período compreendido entre 1981-2010. Esse estudo destacou a ocorrência de eventos extremos de chuva que mereceriam atenção em novas investigações por serem potencialmente deflagradores de alagamentos.

Essas e outras pesquisas mostram que, no DF, está havendo um aumento da vulnerabilidade aos desastres associados a alagamentos. Todavia, a população convive com riscos dessa natureza há muitos anos, devido a alguns fatores principais como o aumento do número de cidades, o aumento da impermeabilização do solo e do escoamento superficial, e à incompatibilidade da rede de drenagem, que é, de acordo com Mesquita et al. (2017), a mesma desde a construção de Brasília, há mais de 60 anos.

A transformação pela qual o território do DF passou, e ainda vem passando, desde antes da inauguração da capital Brasília, é apontada como a causa dos muitos dos problemas aqui mencionados. Desde a inauguração da capital, em 1960, e durante a ocupação do território do DF, conflitos foram gerados motivando a expansão urbana desordenada. Essa expansão, juntamente com o acelerado crescimento populacional, teve como consequência o estabelecimento de áreas urbanas inconsolidadas, onde ocorre grande parte dos problemas urbanos decorrentes de chuvas intensas. Muitos transtornos podem ser citados, incluindo os alagamentos associados à deficitária e/ou, em alguns casos, ausente drenagem urbana (PINTO et al., 2017 e SILVA et al., 2017).

As chuvas intensas ocorrem durante o período chuvoso, que vai de outubro até o início de abril. O total pluviométrico anual é de 1478,8 mm, segundo a Normal Climatológica 1991-2020 (INMET, 2020). Contudo, quase metade desse volume ocorre no trimestre novembro-dezembro-janeiro (NDJ), quando normalmente são contabilizados 700,2 mm (47,3% do total). No trimestre junho-julho-agosto chove cerca de 21,1 mm (1,4 % do total anual). A Figura 1 mostra a distribuição média mensal de precipitação pluvial para a estação convencional de Brasília, que se localiza na parte central do DF.

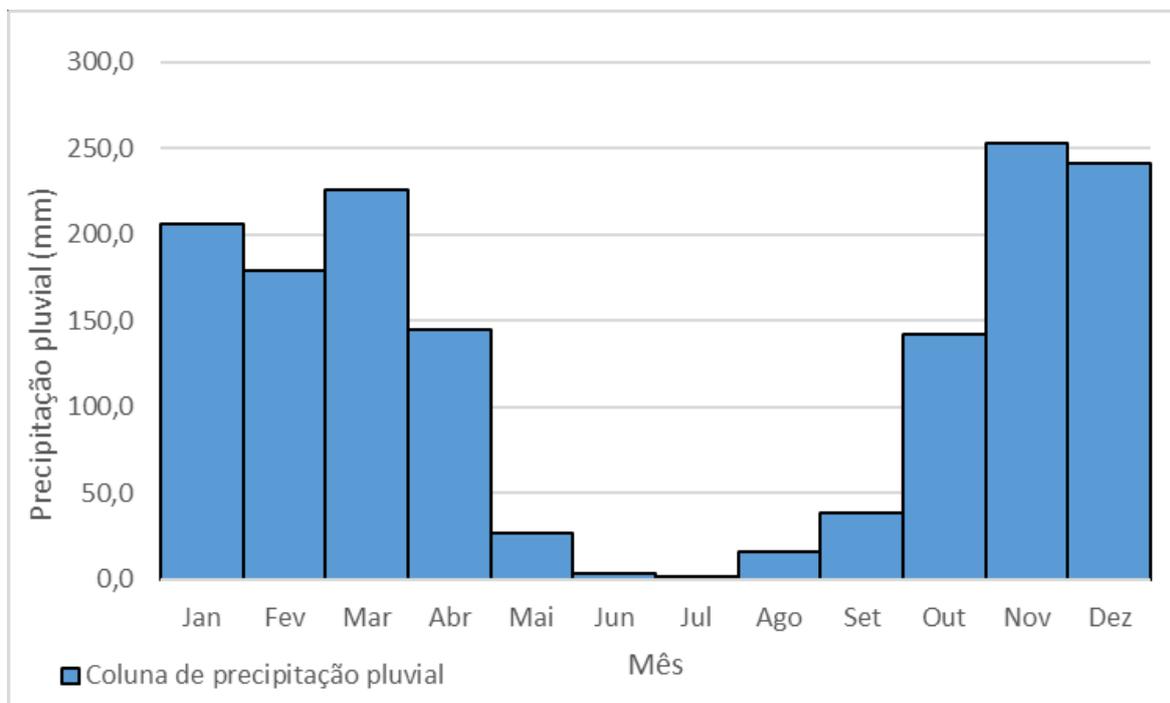


Figura 01: Distribuição Mensal da Precipitação Pluvial em Brasília-DF – Normal Climatológica (1991-2020). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 1992.

A forte sazonalidade pluvial observada (verão chuvoso e inverno seco) é atribuída à atuação do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS). O SMAS se organiza a partir de setembro (primavera), com o aumento da convecção sobre o noroeste da Amazônia e seu deslocamento em direção ao Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (GAN et al., 2009). Esse sistema é sustentado pela umidade proveniente do Oceano Atlântico e transportada pelos ventos alísios até a Amazônia, onde é reciclada. O transporte de umidade do oceano para o continente até a porção oriental da Cordilheira dos Andes e seu posterior redirecionamento para a região central da América do Sul constitui o chamado Jato de Baixos Níveis (JBN), sistema que se organiza próximo ao nível de 850 hPa (1.500 metros de altitude).

Outros sistemas atmosféricos, em superfície e em altos níveis da troposfera, participam e se articulam na configuração do SMAS, tais como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Alta da Bolívia (AB) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN). Portanto, a sazonalidade pluvial do DF é resultado dessa dinâmica atmosférica sobre a região (FRANCA, 2015).

É importante destacar que, em uma avaliação espacial, observa-se que na região oeste do DF há a maior ocorrência de chuvas (STEINKE e STEINKE, 2001, BARROS, 2003 e NEVES, 2019); nessa região se localiza a maior parte da área urbana do DF, como pode ser observado na Figura 2, ocupando, aproximadamente, 88% do território do DF (MELO e STEINKE, 2013).

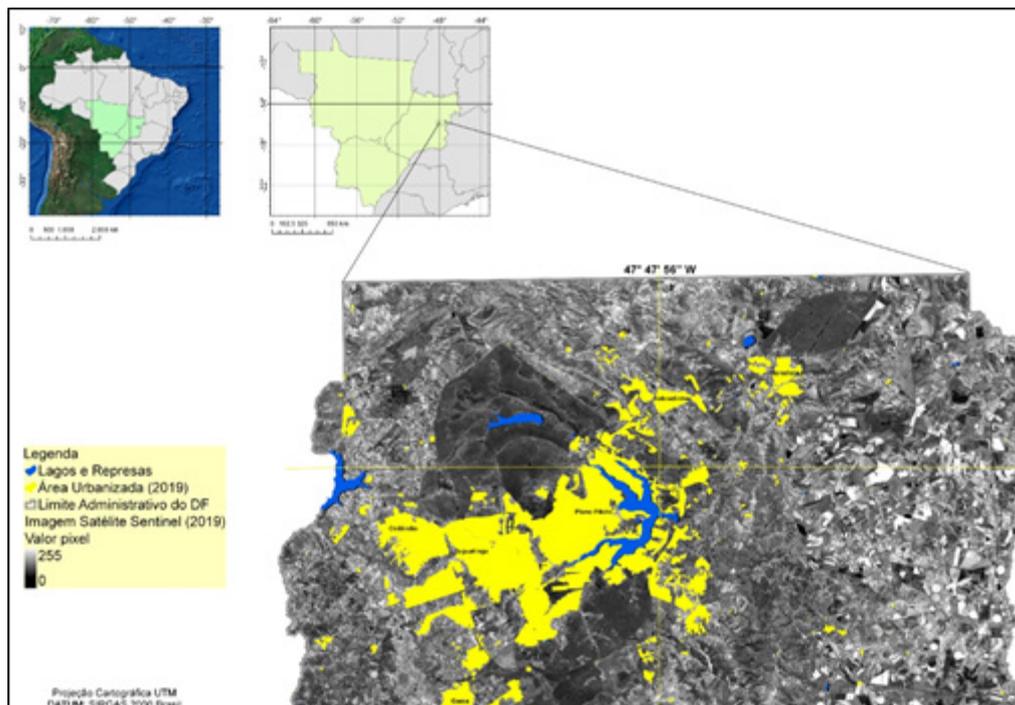


Figura 2: Mapa de localização do Distrito Federal e sua área urbana. Fonte: Melo e Steinke, 2013.

## Identificação dos eventos extremos de chuva

Eventos extremos de chuva, em Brasília, foram identificados por Franca et al. (2022), tendo como referência a estação Brasília, localizada nas seguintes coordenadas: Latitude  $15.78978^{\circ}$  Sul, Longitude  $47.925849^{\circ}$  Oeste e Altitude 1161.42 metros (Figura 03). Para tanto, foram utilizados dados diários de precipitação pluvial, do período 1963-2019, extraídos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet.

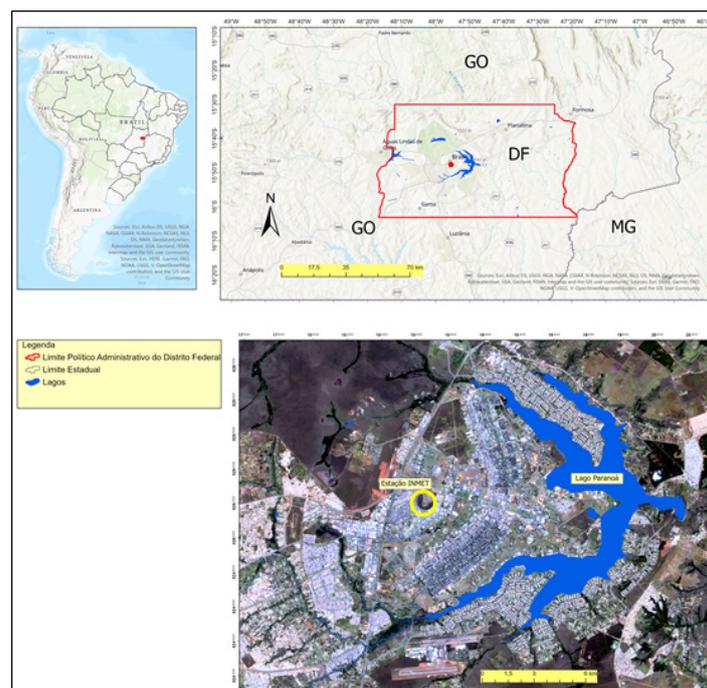


Figura 03: Localização da Estação Meteorológica Brasília. Fonte: Geoportail GDF, 2019.

Todos os episódios de chuva diária igual ou superior a 1 mm foram considerados e classificados conforme as seguintes classes de precipitação pluvial recomendadas pelo Inmet: 1,0 mm-2,4 mm/dia, 2,5 mm-4,9 mm/dia, 5,0 mm-9,9 mm/dia, 10,0 mm-14,9 mm/dia, 15,0 mm-24,9 mm/dia, 25,0 mm-49,9 mm/dia, 50,0 mm-100 mm/dia e superior a 100 mm/dia. Para cada uma dessas classes foi calculada a frequência absoluta, frequência relativa e tempo de retorno.

A frequência absoluta de um valor representa o número de vezes que uma determinada variável assume esse valor. Ao conjunto das frequências dos diferentes valores da variável dá-se o nome de distribuição da frequência (ou apenas distribuição). Já a frequência relativa ( $Fr$ ) de determinado evento é o resultado obtido da razão entre a frequência absoluta ( $n$ ) e a quantidade de elementos da amostra, geralmente apresentada na forma de porcentagem. Nesse caso, é igual ao número de vezes que ocorreu o evento pluviométrico extremo em relação ao total de dias da série ( $\sum n$ ) (Equação 1). Portanto, a frequência relativa, por meio dos dados percentuais, possibilita melhor comparação entre as diferentes classes.

$$Fr = \frac{n}{\sum n} \quad (1)$$

O tempo de retorno ou período de retorno ( $Tr$ ) indica que um evento possui uma probabilidade de ocorrência em um determinado período de tempo (Equação 2). Em outras palavras, espera-se que o valor de um determinado evento seja igualado ou superado, em média, uma vez, a cada determinado período. O tempo de retorno de determinado evento é calculado a partir do inverso da probabilidade de sua frequência relativa.

$$Tr = \frac{1}{Fr} \quad (2)$$

A definição do limiar diário para a identificação de eventos pluviais extremos foi obtida a partir de recomendações do Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDI), que indica o Percentil 99 como parâmetro. Após a definição do valor extremo para a série, os episódios extremos foram identificados e sua frequência, frequência relativa e tempo de retorno foram calculadas.

A avaliação de tendências, na ocorrência de eventos extremos, para o período estudado, foi realizada a partir da aplicação do teste Mann-Kendall, no programa estatístico XLSTAT®. Trata-se de um método não paramétrico proposto por Mann (1945) e posteriormente adaptado por Kendall (1975), que tem por base rejeitar ou aceitar uma hipótese nula ( $H_0$ ), podendo, assim, negar ou não a existência de um cenário tendencial na série

histórica analisada, mediante a aceitação de um nível de significância (95%).

Sejam as observações  $X_1, X_2, \dots, X_n$  de uma série temporal, pode-se aplicar o teste de Mann-Kendall para tendência somente se a série for serialmente independente. Portanto, verifica-se se as observações da série são independentes e identicamente distribuídas, isto é, testa-se as hipóteses:

$H_0$ : As observações da série são independentes e identicamente distribuídas (não há tendência).

$H_1$ : As observações da série possuem tendência monotônica no tempo (há tendência).

Sendo assim, sob  $H_0$  a estatística do teste é dada por:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (3)$$

Onde:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} \mathbf{1, se } x > \mathbf{0} \\ \quad \square \\ \mathbf{0, se } x = \mathbf{0} \\ \quad \square \\ \mathbf{-1, se } x < \mathbf{0} \end{cases} \quad (4)$$

O teste Mann-Kendall (MK) é largamente utilizado e recomendado pela OMM para detectar tendências significativas em séries hidrológicas e meteorológicas. O teste compara a importância relativa dos dados amostrais, portanto, uma de suas vantagens é o fato de dispensar a exigência da distribuição normalizada. Outra vantagem é a sua baixa sensibilidade a quebras abruptas na série (MODARRES e DA SILVA, 2007; TABARI et al, 2010, 2011).

Durante os 57 anos estudados, Franca et al. (2022) identificaram 6.159 episódios de chuva em Brasília (igual ou superior a 1,0 mm/dia) (Figura 04). A classe de precipitação mais frequente foi a de 5,0 mm-9,9 mm/dia, seguida pela de 1,0 mm-2,4 mm/dia e depois pela de 2,5 mm-4,9 mm/dia. Essas três classes são consideradas como chuvisco ou chuva fraca pelo Inmet, ou seja, cerca de 55,5 % do total dos episódios de precipitação pluvial ocorridos em Brasília, nesse período, foi considerado fraco. Já os episódios de chuva forte (entre 25 e 49,9 mm/dia) constituem 12,8 % do total dos episódios de precipitação. Episódios de chuva extremamente forte (superior a 50 mm/dia) representam 224 ocorrências na série,

ou cerca de 3,6 % do total dos episódios de precipitação. Entre esses, 7 apresentaram chuva superior a 100 mm/dia (0,1 % do total).

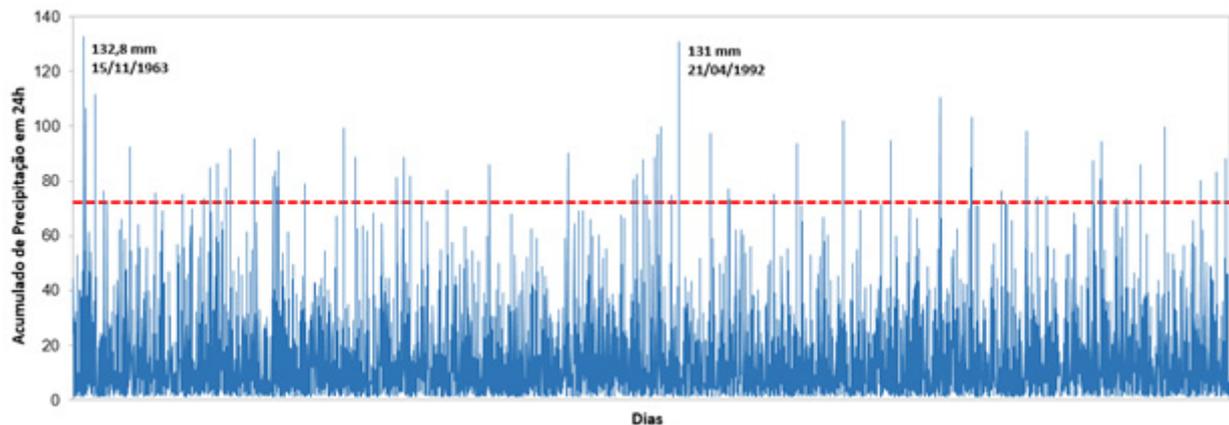


Figura 04: Eventos diários de precipitação pluvial em Brasília-DF (1963-2019). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os eventos das três primeiras classes de precipitação mais frequentes apresentam tempo de retorno de, respectivamente, 16,5, 18,3 e 20,1 dias cada. Já o tempo de retorno da classe de chuvas fortes é de 26,2 dias. Isso significa que, ao longo do ano, sobretudo na estação chuvosa, esses eventos ocorrem com grande frequência. Os 7 episódios de chuva extremamente forte apresentaram tempo de retorno de quase 1 década (8,11 anos) (Tabela 01).

| Classes   | Frequência Absoluta (n) | Frequência Relativa* (%) | Tempo de Retorno em dias | Tempo de Retorno em anos |
|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1,0-2,4   | 1132                    | 0,0545                   | 18,34                    | 0,05                     |
| 2,5-4,9   | 1029                    | 0,0496                   | 20,17                    | 0,06                     |
| 5,0-9,9   | 1258                    | 0,0606                   | 16,50                    | 0,05                     |
| 10,0-14,9 | 812                     | 0,0391                   | 25,56                    | 0,07                     |
| 15,0-24,9 | 913                     | 0,0440                   | 22,73                    | 0,06                     |
| 25,0-49,9 | 791                     | 0,0381                   | 26,24                    | 0,07                     |
| 50,0-99,9 | 217                     | 0,0105                   | 95,65                    | 0,26                     |
| >100      | 7                       | 0,0003                   | 2965,14                  | 8,11                     |
| Total     | 6159                    | /                        | /                        | /                        |
| >72,3     | 62                      | 0,0030                   | 334,77                   | 0,92                     |

\*Em relação ao total de dias da série.

TABELA 01: Distribuição dos Episódios de Chuva em Brasília, por Classe, Frequência e Tempo de Retorno. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A análise do Percentil 99 da série histórica resultou no valor de 72,3 mm/dia, a partir do qual foram identificados os eventos pluviais extremos. Ao longo dos 57 anos, ocorreram 62 episódios dessa natureza, com tempo de retorno de 334,7 dias ou 0,94 ano. Portanto, pode-se afirmar que eventos de chuva extrema ocorrem aproximadamente uma vez ao ano em Brasília. A Tabela 02 relaciona todos esses episódios, em ordem decrescente, por volume de precipitação.

| Data       | Volume | Data       | Volume | Data       | Volume | Data       | Volume |
|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 15/11/1963 | 132,8  | 20/01/1998 | 93,6   | 18/11/1972 | 83,8   | 27/12/1966 | 75,5   |
| 21/04/1992 | 131    | 12/11/1965 | 92,4   | 09/12/2018 | 83,3   | 04/01/1997 | 75,2   |
| 31/03/1964 | 111,8  | 03/11/1970 | 91,7   | 25/10/1990 | 82,5   | 19/03/1968 | 75,1   |
| 28/02/2005 | 110,7  | 22/12/1972 | 91     | 18/10/1972 | 81,8   | 30/01/1991 | 75     |
| 22/12/1963 | 106,8  | 03/04/1987 | 90     | 20/03/1979 | 81,6   | 11/12/1972 | 74,8   |
| 27/10/2006 | 103,1  | 16/01/1979 | 88,7   | 29/11/1978 | 81,4   | 06/02/1992 | 74,8   |
| 29/10/2000 | 102,1  | 07/04/1991 | 88,6   | 13/07/1990 | 80,7   | 27/04/2009 | 74,5   |
| 16/11/1991 | 99,8   | 18/11/1976 | 88,5   | 10/01/2013 | 80,6   | 02/04/2010 | 74,4   |
| 20/01/2016 | 99,6   | 13/04/2019 | 88,3   | 08/02/2018 | 80,2   | 02/12/2009 | 74,1   |
| 26/02/1976 | 99,5   | 02/01/1991 | 87,8   | 26/02/1974 | 79     | 10/03/2014 | 73,7   |
| 13/04/2009 | 98,1   | 17/10/2012 | 87,6   | 16/12/1972 | 78     | 03/05/1969 | 73,6   |
| 27/11/1993 | 97,3   | 21/01/1970 | 86,5   | 03/09/1970 | 77,4   | 25/11/1994 | 73,4   |
| 02/10/1991 | 97     | 11/02/1983 | 85,8   | 23/11/1994 | 77     | 09/01/1980 | 73     |
| 19/11/1971 | 95,7   | 17/12/2014 | 85,8   | 20/03/1981 | 76,9   | 06/12/2013 | 72,6   |
| 30/12/2002 | 94,8   | 15/11/1969 | 85     | 15/11/1964 | 76,5   | /          | /      |
| 16/01/2013 | 94,4   | 23/10/2006 | 84,8   | 21/02/2008 | 76,5   | /          | /      |

TABELA 02: Eventos Pluviais Extremos em Brasília, no período 1963-2019 (ordem decrescente). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

Os anos de 1963 e 1992 chamam atenção por eventos com grande volume da chuva, 132,8 e 131,0 mm, respectivamente. O ano de 1963 foi considerado um ano anômalo (MONTEIRO, 1979), marcado por uma longa estiagem no país. Em Brasília, por exemplo, de acordo com o Inmet, foram registrados 163 dias sem chuva, entre 5 de maio e 16 de outubro. Porém, mesmo sendo considerado um ano seco, em novembro registrou-se um episódio de grande volume de chuva. Já o ano de 1992, no qual se contabilizou 131 mm no mês de abril, foi classificado como um ano chuvoso (SILVA et al., 2020), com um total pluviométrico de 1896,6 mm anuais, bem acima da normal climatológica anual, que é de 1540,6 mm.

A Figura 05 representa graficamente a distribuição mensal dos episódios destacados na Tabela 02. Como era de se esperar, na área estudada, a maior frequência desses eventos se dá ao longo dos meses da estação chuvosa (entre outubro e abril). O mês de maior frequência é novembro (13 episódios), seguido por dezembro e janeiro (10 em cada). Portanto, esse trimestre merece grande atenção por parte da administração da cidade e por toda a população que vive no DF, já que apresenta maior risco para a ocorrência de impactos e desastres associados a eventos extremos de chuva, o que corrobora as informações da pesquisa de Steinke e Barros (2015).

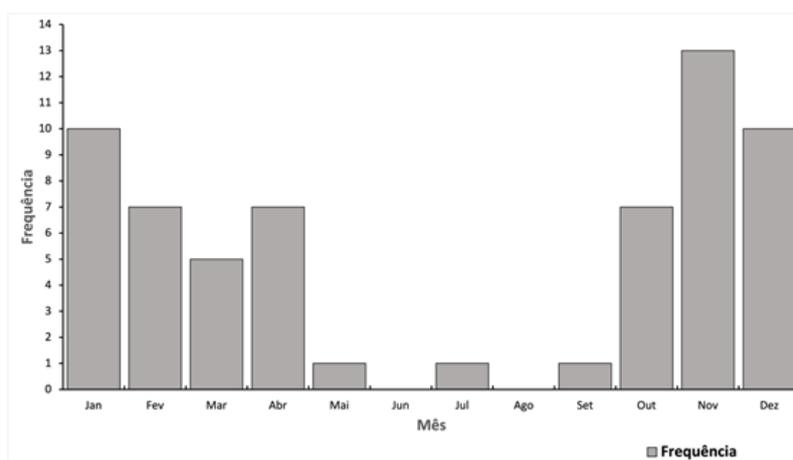


Figura 05: Frequência mensal de eventos pluviais extremos em Brasília-DF (1963-2019). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)..

Observa-se, no gráfico, que no mês de abril, já no final do período chuvoso, ainda ocorrem eventos extremos de chuva, os quais ocasionam danos que são noticiados pela imprensa e gestores públicos locais como extemporâneos (BRAGA, 2016). Os dados, expressos na série histórica, mostram que esses eventos já poderiam ser previstos pelos órgãos de governo, para que se preparassem devidamente a fim de enfrentar os impactos derivados, pois, de acordo com Rocha (2019), remontam à década de 1980 e, desde então, ocorrem com certa regularidade.

A distribuição de eventos extremos de chuva por década, isto é, daqueles identificados a partir do limiar do Percentil 99, não indicou qualquer tendência relevante de alteração ou mudança. O gráfico da Figura 06, a seguir, mostra que cada década, com exceção de 1981-1990, apresentou entre 9 e 13 eventos pluviais extremos. Em 1981-1990 foram apenas 5 episódios. Cabe destacar que os períodos 1963-1970 e 2011-2019 não constituem décadas completas.

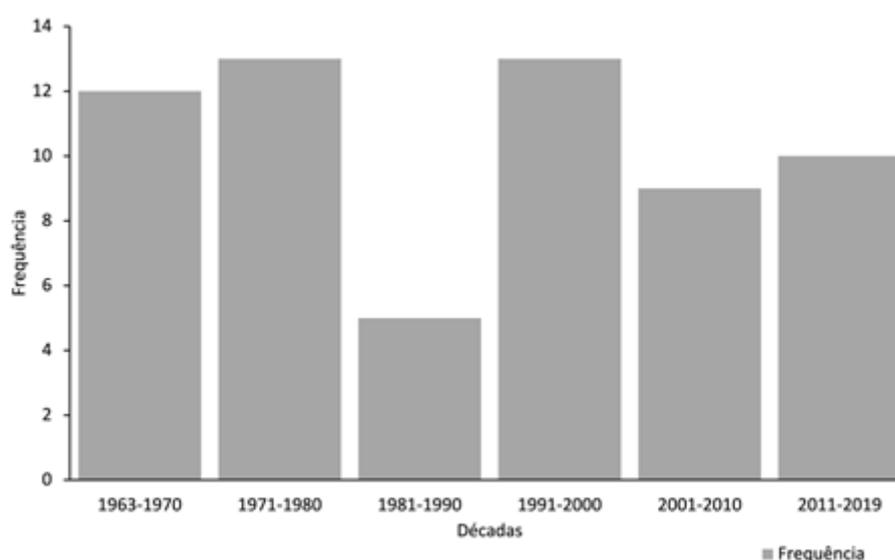


Figura 06: Frequência de eventos pluviais extremos em Brasília-DF, por década. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Dado semelhante é observado quando examina-se eventos de chuva forte e extremamente forte, não ocorrendo alterações significativas evidentes ao longo das décadas (Figura 07). Esse resultado contrasta com aquele encontrado por Marengo et al. (2020) para a Região Metropolitana de São Paulo, onde os autores identificaram um importante incremento no número de episódios de chuva superior a 50 mm desde a década de 1950, sobretudo nos últimos 10 anos.

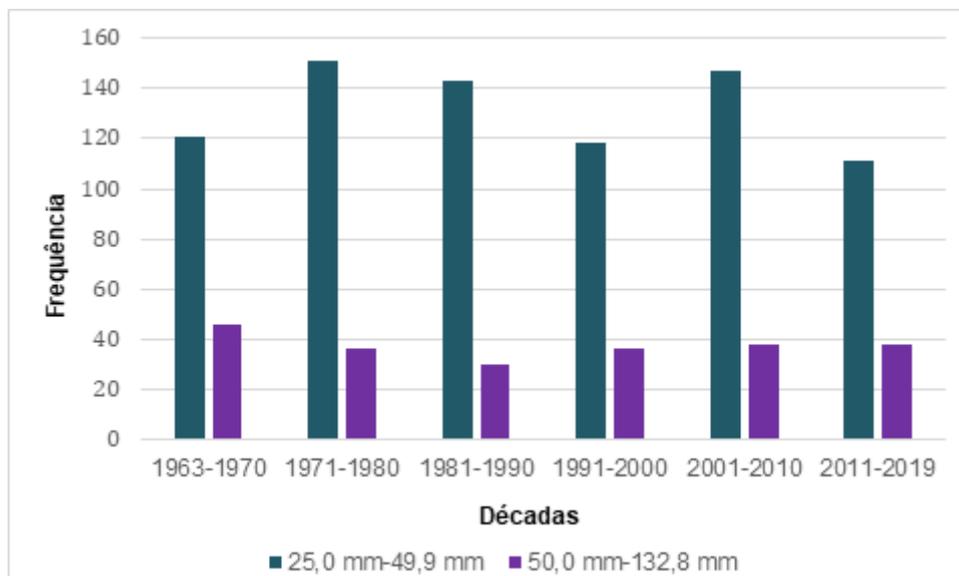


Figura 07: Frequência de eventos de chuva forte e extremamente forte em Brasília-DF, por década. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Por fim, a aplicação do teste Mann-Kendall não detectou tendências com significância estatística na série de dados de precipitação pluvial, no período 1963-2019. O teste foi aplicado para diferentes classes de chuva e os resultados são apresentados na Tabela 03.

| Classes           | P-valor     | Tendência   |
|-------------------|-------------|-------------|
| 0 mm – 132,8 mm   | 0.238307536 | Decrescente |
| 1,0 mm – 132,8 mm | 0.417735815 | Decrescente |
| 25,0 mm – 49,9 mm | 0.14553833  | Crescente   |
| 50 mm – 132,8 mm  | 0.916180134 | Decrescente |
| ≥ 72,3            | 0.60562706  | Decrescente |

TABELA 03: Resultados dos Testes Mann- Kendall. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O p-valor das amostras foi sempre superior a 0,05 (nível de significância escolhido), portanto, admite-se a Hipótese Nula (H0) e rejeita-se uma Hipótese Alternativa (H1). Tais resultados, provavelmente, decorrem da grande dispersão dos dados ao longo do período.

Episódios de chuva forte e extremamente forte, como os que foram analisados anteriormente, são potenciais deflagradores de alagamentos no DF, aqui considerados como sendo acumulações da água na superfície de um terreno em função de uma série de fatores, principalmente das características do meio físico, mau funcionamento de obras de drenagem e escoamento e/ou precipitações

pluviométricas de alta intensidade em regiões não associadas à hidrografia da região (CARVALHO et al., 2007).

## Áreas críticas a alagamentos no DF

O DF se constitui numa unidade federativa diferente das demais do Brasil, possuindo, por esse motivo, características peculiares e distintas. Uma delas é que o DF não pode ser dividido em municípios. Dessa forma, com o objetivo de facilitar a sua administração, seu território foi dividido em Regiões Administrativas (RA), que hoje somam 33. Todas essas RA, incluindo a área planejada da Capital Federal, conhecida como Plano Piloto de Brasília, seguem apresentando inúmeros casos de desastres relacionados a eventos extremos de chuva, incluindo alagamentos, afetando diretamente a população. O Laboratório de Climatologia Geográfica da UnB (LCGea), desde o ano 2000, vem realizando um inventário sobre os pontos de alagamentos no DF e, até o presente momento, foram identificados 462 pontos (figura 8).

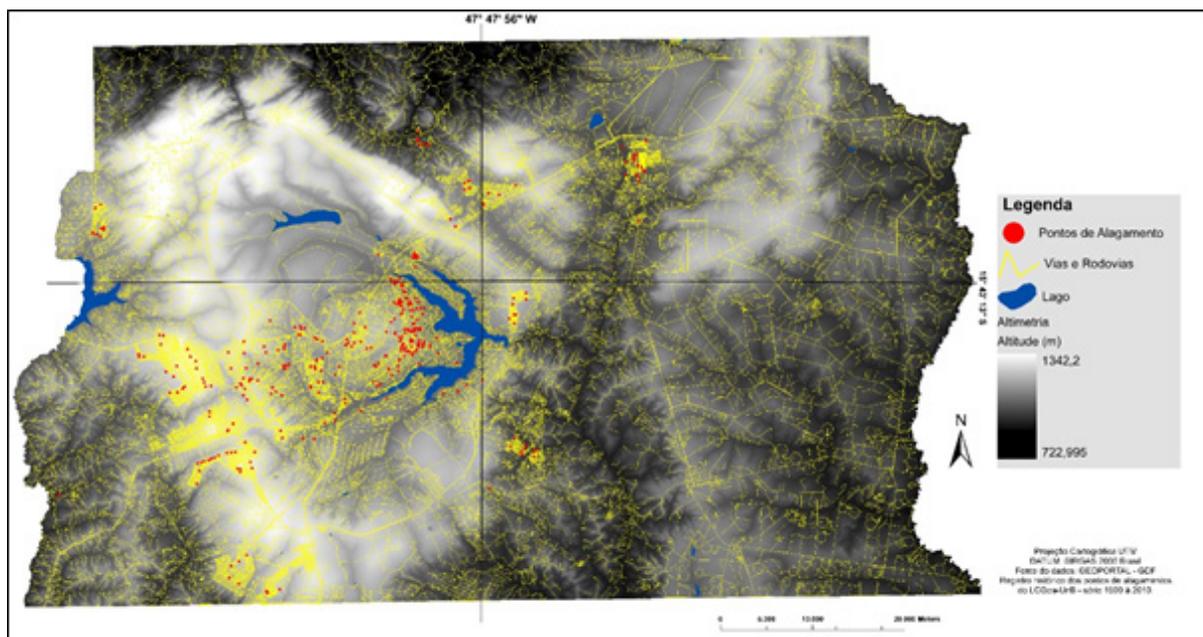


Figura 8: Localização dos 462 pontos de alagamentos identificados entre 2000 e 2019 nas áreas urbanas do DF. Fonte: Steinke et al., 2023.

Na figura 8, pode-se observar que em praticamente toda a área urbana do DF ocorrem alagamentos. Em uma primeira análise, é possível identificar que a densidade maior de registros históricos de alagamentos se encontra na área central, na RA Brasília, no Plano Piloto, especialmente nos bairros da Asa Norte e Asa Sul. Nessa área urbana consolidada, os alagamentos são constantes em função do processo de impermeabilização do solo das regiões à montante, como é o caso das quadras 900, localizadas nas partes mais elevadas desses bairros e, portanto, consideradas áreas de recarga do lençol freático. Por esse motivo, previa-se uma ocupação de baixa densidade nessas quadras, porém, atualmente,

encontram-se quase todas impermeabilizadas e ocupadas por áreas urbanas. Esse processo fez com que a rede de drenagem original se tornasse ultrapassada.

A figura 9 ilustra o que foi citado anteriormente, o que os habitantes do DF conhecem muito bem e há muito tempo: situações como estacionamentos subterrâneos, ruas e viadutos alagados, que se repetem sistematicamente todos os anos. Inúmeros fatores podem ser elencados para tentar explicar esse fato. No senso comum, predominam as afirmações vinculadas meramente às questões de infraestrutura urbana como, a ausência de manutenção adequada das redes pluviais (redes antigas e subdimensionadas), entupimento de bueiros, drenagem pluvial deficiente e/ ou inexistente, desmatamento em áreas de recarga pluvial e a ocorrência de eventos extremos de chuva. O mais provável é que todos esses fatores, conjuntamente, contribuam para o problema.



Figura 9: Notícia veiculada por jornal impresso sobre a repercussão de um episódio de chuva forte que atingiu as RA Plano Piloto e Ceilândia. Fonte: Correio Brasiliense, 2015.

No entanto, uma análise geográfica do sítio urbano do DF exige atenção para elementos originários da paisagem que não foram considerados no projeto urbanístico original da capital federal, como os aspectos do relevo, topografia, solos, drenagem pré-existente e, de modo ainda mais criterioso, as bacias de drenagem que alimentavam pequenos córregos originais e que foram suprimidos. Nesse sentido, o trabalho de Pessoa e Steinke (2020) aponta uma análise mais profunda e necessária para os problemas de alagamentos nas áreas urbanas do DF.

No DF é sabido que a expansão da área urbana foi executada em função, principalmente, de aspectos políticos vigentes em cada gestão governamental, em detrimento dos critérios ambientais e do relevo. Esse fato acaba por gerar novos pontos críticos aos alagamentos, ano após ano, como são os casos, por exemplo, das regiões de Vicente Pires, Águas Claras, Itapoã, Fercal entre outros, que, indistintamente das classes sociais ali presentes, sofrem com os mesmos problemas de alagamentos. Obviamente, as classes sociais menos favorecidas se encontram em situação mais vulnerável, uma vez que não possuem a mesma resiliência econômica para enfrentar os prejuízos ocasionados pelos alagamentos.

Nesse contexto, destaca-se um elemento que, historicamente, sempre foi negligenciado pelas instituições de ordenamento do território local – o relevo. A condição geomorfológica do sítio urbano do DF se consolidou, no senso comum, como sendo considerada plana e suave ondulada e, com base nessa premissa, sua apropriação ocorreu de forma indiscriminada. Nesse aspecto, destaca-se a ausência de estudos detalhados sobre o relevo do DF, em escala cartográfica adequada (1:2.000), o que dificulta antever o problemas dos alagamentos.

Inúmeros casos de alagamentos podem ser citados: em fevereiro de 2004, por exemplo, a Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros foram acionados praticamente todos os dias para atender ocorrências de diversos tipos, desde alagamentos que desabrigaram inúmeras famílias, passando por enxurradas, deslizamentos e quedas de árvores, que destruíram o patrimônio público e particular. A configuração de episódios de ZCAS determinou a ocorrência de volumes elevados de chuva no mês em questão. O Inmet registrou, na estação Brasília, um total de precipitação mensal de 422,3 mm, quase o dobro previsto pela Normal Climatológica do mês, que é de 217,5 mm.

No ano de 2006, o volume de chuva do mês de outubro também provocou alagamentos em todo o DF. Segundo informações do Inmet, nesse mês, na estação Brasília, o total de chuva alcançou 526,4 mm, o qual corresponde a 205% a mais que a Normal Climatológica para o mês, que é de 166,6 mm. Segundo informações do Inmet, quatro sistemas frontais atingiram a região e o escoamento do ar proporcionou condições favoráveis ao desenvolvimento de áreas de instabilidade em grande parte do mês, provocando episódios de chuvas extremas

como os que ocorreram entre os dias 7 e 8, totalizando 69,7 mm em 24h (não listado na tabela 2 por ocorrer fora da área central do DF) e entre os dias 26 e 27, totalizando 103,1 mm em 24h, este identificado e listado na análise realizada anteriormente (tabela 2).

As áreas de instabilidade que influenciaram a região Centro-Oeste, em outubro de 2006, contribuíram para um grande aumento na quantidade de chuva; a estação Brasília (INMET) bateu o recorde de volume de chuva acumulado para o mês. Do início do mês até o dia 27, o acumulado estava em 513,6 mm, superando os 425,8 mm de outubro de 1981, o recorde anterior de toda a série histórica.

Como resultado, foram observados vários impactos, incluindo ocorrências de alagamentos na Fercal, Núcleo Bandeirante, Vicente Pires, Samambaia e diversas outras RA do DF. No Plano Piloto, dois prédios comerciais ficaram alagados, várias tesourinhas – nome regional dado aos viadutos que ligam as quadras 200 às 100, das Asas Sul e Norte, do Plano Piloto (figura 10) – foram interditadas devido aos alagamentos.



Figura 10: Exemplo de uma “tesourinha”, na Asa Norte, alagada em dezembro de 2021. Fonte: G1, 2021.

As características climáticas dos meses de março e abril representam a passagem do período úmido para o mais seco. O mês de março ainda é considerado um mês chuvoso em função da vigência da situação de verão. No mês de abril, embora seja registrada diminuição gradual da quantidade de chuva, ainda podem ocorrer episódios de chuvas intensas, típicas de mudanças de estações (STEINKE e STEINKE, 2001).

Em 10 de abril de 2011, por exemplo, ocorreu um evento pluviométrico que,

segundo o Inmet, durou cerca de uma hora e meia e acumulou 43,8 mm de água na estação Brasília. Esse montante representou quase o triplo da quantidade de chuva registrada nos dez primeiros dias de abril daquele ano, ou seja, 16,1 mm. Correspondeu, ainda, a 35,6% da Normal Climatológica para o mês, que é 123,8 mm. De acordo com o CPTEC/INPE (2011), esse evento chuvoso ocorreu devido à entrada de áreas de instabilidade, provenientes do norte do país que estiveram associadas ao deslocamento da ZCIT ao sul de sua posição climatológica e à influência de distúrbios ondulatórios de leste (DOL)<sup>1</sup>, os quais contribuíram para a formação de áreas de baixa pressão, durante a primeira quinzena de abril, fazendo com que predominassem chuvas acima da média histórica, na maior parte do Brasil.

Como resultado foram registrados inúmeros casos de alagamentos, em diversas RA do DF. A Asa Norte foi uma região muito atingida, inclusive com o alagamento de parte do Instituto Central de Ciências (ICC) Norte, da Universidade de Brasília (UnB). Dados do Inmet indicam que houve uma precipitação de 25,8 mm com duração de uma hora, na Asa Norte, contudo, especialistas acreditam que o volume de chuva precipitado na Universidade foi, provavelmente, maior do que o registrado pelo Inmet. Infelizmente, não é possível precisar o volume exato precipitado sobre a área, pois não há aparelhos de medição ativos no campus da Universidade.

O volume de água acima do normal, associado a problemas de drenagem na Asa Norte, provocaram os estragos observados no campus da UnB. O subsolo do ICC Norte funcionou como um gigantesco reservatório para a água, que não tinha para onde escorrer. Isso ocorreu porque a arquitetura do prédio, muito extenso e com subsolo, favorece problemas relacionados a drenagem da água da chuva. Além disso, o prédio se localiza paralelo às curvas de nível da Asa Norte, por isso, quando chove, a água encontra uma barreira e escorre pelos respiradores até o subsolo do edifício.

No ano de 2015, o volume de chuvas, na estação Brasília, ultrapassou metade do esperado para o mês de abril. Até a metade do mês, já tinham sido registrados 88,8 mm, ou seja, 71% da Normal Climatológica do mês; essas chuvas ocorreram em forma de intensos temporais. A Defesa Civil registrou a ocorrência de diversos pontos de alagamentos, além de outros problemas (figura 09).

Embora a quantidade de chuva, originada de um evento extremo, contribua para a questão dos alagamentos no DF, outro elemento deve ser considerado: a ocupação não planejada de áreas decorrentes de processos de invasões, como nas RA de Vicente Pires e Arniqueiras, e em regiões ocupadas recentemente de forma regular como Águas Claras (vertical) e o Setor Noroeste – setor habitacional que começou a ser construído em 2010, porém que ainda não possui qualquer

<sup>1</sup> Distúrbios ondulatórios de leste (DOL) são sistemas atmosféricos presentes na região tropical, preferencialmente sobre áreas dos oceanos Atlântico e Pacífico. Sobre o Atlântico são identificados, inicialmente, próximos à costa oeste do continente Africano e se propagam embebidos no fluxo dos Alísios, em forma de ondas que se deslocam de leste para oeste (NEVES, et al, 2016).

tipo de rede de drenagem. Esse fato mostra que o prazo regulamentar de quatro anos, a contar do registro dos lotes no Cartório (Lei 6.766/79, art. 18, inciso V), de que dispõe a Terracap, é desconsiderado, o que reflete em impactos em áreas mais rebaixadas para onde as águas escoam, como a Asa Norte.

Na RA Águas Claras, ocupada por edifícios altos e adensados, problemas de alagamentos ocorrem desde a sua criação, em 1992. De forma geral, a região possui pouca capacidade de escoamento das águas pluviais, em função do alto grau de impermeabilização do solo e de um sistema de drenagem urbana ineficaz. A Figura 11 ilustra o problema recorrente.



Figura 11: Alagamento na Região Administrativa de Águas Claras após evento de chuva forte em abril de 2023. Fonte: Rafael Rodrigues da Franca.

Esses são apenas alguns exemplos dos alagamentos que têm se tornado cada vez mais recorrentes em todo o DF, em razão da combinação dos eventos extremos de chuva com a crescente impermeabilização do solo, originada de novas construções e a continuidade dos padrões de ocupação do solo urbano de bases tradicionais. Esse fato incrementa o escoamento superficial e a magnitude do pico de cheia, que, nas bacias localizadas em áreas urbanas, costuma ocorrer em menos tempo (TUCCI, 2005). As constantes alterações de ocupação do solo nas áreas urbanas já consolidadas, aliadas à falta de manutenção dos sistemas de drenagem (bueiros) e sua não desobstrução são, também, grandes contribuidores dos alagamentos.

Sendo as cidades inteligentes uma tendência global, é necessário averiguar quais ações seriam necessárias, no caso do DF, para minimizar ou mesmo evitar os alagamentos originados dos eventos extremos de chuva. Ações como a utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, de pavimentos permeáveis e o emprego de telhados verdes são exemplos que visam reduzir a vazão drenada superficialmente, originada do escoamento superficial intensificado pelo aumento da impermeabilização e da redução nas taxas de infiltração nas áreas urbanas.

Um bom exemplo a ser seguido é o que já vem ocorrendo em várias cidades brasileiras, com a utilização do que se conhece como bueiros inteligentes (BAR-RIVIERA e CARVALHO PASCHOAL, 2022), que utilizam um mecanismo para evitar seu entupimento, por meio de um filtro que evita a passagem de resíduos sólidos e de um sensor que mede, de 12 em 12 horas, o volume de resíduos, disparando um alarme caso haja risco de transbordamento. A comunicação é realizada via Wi-Fi ou GPRS. De forma simplificada, sensores volumétricos são fixados em cestos plásticos que são encaixados nos bueiros, e funcionam como filtros re-tendo o lixo sólido e impedindo seu entupimento. Quando os resíduos atingem o nível limite, um dispositivo (sensor) emite um alerta às autoridades responsáveis, que providenciam a limpeza. A ideia é evitar o acúmulo de resíduos nas galerias de águas pluviais em decorrência da fragilidade no escoamento das águas das chuvas, que promovem o entupimento dos bueiros e por consequência, os alagamentos.

O governo do DF está ciente da ocorrência de enxurradas, alagamentos e estragos na época das chuvas, por isso, lançou, em janeiro de 2023, o Programa de Gestão de Águas e Drenagem Urbana do Distrito Federal (Drenar DF), que favorecerá, principalmente, a parte central do DF. Simplificadamente, haverá uma duplicação da rede subterrânea de drenagem para aumentar a capacidade do sistema, bem como a construção de um reservatório, para receber as águas das chuvas ao fim do percurso. Implantado em uma área de 36 mil m<sup>2</sup>, dentro de um Parque Urbano, o equipamento funcionará como uma lagoa, com volume útil de 70 mil m<sup>3</sup> de água (METRÓPOLES, 2023).

Essa obra é de elevada importância para Brasília e para as outras RA do DF, porém, para que essas se tornem cidades inteligentes e sustentáveis, a partir do modelo pré-existente, deve-se considerar os problemas das nossas cidades de forma integrada. É necessário propor iniciativas que considerem as abordagens prioritárias para adaptação, ou seja, o aumento da capacidade de adaptação, redução da exposição e redução da vulnerabilidade aos eventos extremos de chuva. Assim, a formação de cidades inteligentes e sustentáveis exige esforços multidimensionais e interconectados.

## **Considerações finais**

Os exemplos de episódios de alagamentos aqui descritos, oriundos de

eventos extremos de chuva, revelam a necessidade urgente da readaptação das cidades do DF, para enfrentamento de seus impactos, sobretudo porque a infraestrutura das cidades não está preparada para lidar com esse tipo de problema, que se torna cada vez mais frequente devido às mudanças climáticas.

Observa-se que, no DF, o período do ano com maior frequência na ocorrência de eventos extremos de chuva se estende de outubro a abril. Merece destaque, de modo particular, o mês de abril, por se situar no final do período chuvoso, quando os solos já se encontram saturados em função do expressivo volume de chuvas que ocorre no trimestre anterior, o que pode agravar os impactos da chuva sobre a superfície urbana.

A partir dos resultados, verifica-se que os eventos pluviais com acumulado igual ou superior a 72,3 mm/dia podem ser considerados extremos em Brasília-DF. No período analisado (1963-2019), tais eventos ocorreram cerca de 1 vez ao ano ou a cada 334 dias. Desse modo, eventos pluviais extremos não cabem ser tratados com surpresa pelos gestores públicos e devem ser considerados no planejamento urbano das RA que compõem o DF.

Embora a análise sobre os eventos extremos tenha sido realizada somente com dados referentes à estação meteorológica de Brasília, localizada na área planejada da capital federal – o Plano Piloto, a análise geográfica mostrou que outras RA também são atingidas por eventos extremos de chuvas, que provocam os episódios de alagamentos. Porém, grande parte dos pontos de alagamentos (33%) se localiza na Asa Norte, alguns dos quais, apesar de estarem em áreas urbanas consolidadas e com alta impermeabilização, possuem um nível freático que impede a infiltração no solo das águas pluviais. Isso é verificado pelas formas do terreno suscetíveis a acumulação de água (convergente) e pelos altos valores de área de fluxo acumulado.

Para que seja possível melhor retratar a situação dos eventos extremos de chuva, em um contexto mais regional, sugere-se que a metodologia aqui adotada seja empregada para dados de estações meteorológicas localizadas em outras RA. Porém, se as projeções do IPCC, que sugerem para boa parte do Brasil aumentos na frequência de eventos extremos de chuva, confirmarem-se, será necessário a aplicação de políticas de gestão e planejamento territorial mais contundentes, no DF, no sentido de conferir um mínimo de segurança para a população.

Também é de grande importância que os governos compartilhem informações sobre suas estratégias, processos, instrumentos e ferramentas de avaliação de impactos e riscos adotados para suas cidades, a fim de expandir suas capacidades e eficiências de ações na diminuição da vulnerabilidade e na implantação de adaptações necessárias para um desenvolvimento urbano mais sustentável.

Dessa forma, promover a adaptação das cidades às mudanças climáticas,

no sentido de torná-las inteligentes, deve constituir um dos eixos centrais da gestão urbana, na qual as ações de planejamento necessitam estar embasadas em pesquisas científicas e reflexões teóricas. É urgente que os agentes gestores busquem novas metodologias e ferramentas de monitoramento e avaliação da adaptação das cidades, utilizando, como já citado, as TIC e a cooperação em rede. Pois, só assim, a associação entre políticas públicas e ações privadas poderão avaliar a qualidade do ambiente urbano.

Em conclusão, o início do século XXI está sendo marcado, de acordo com os mais recentes estudos, por fenômenos como temperaturas extremas, secas, tempestades, inundações, entre outros, e seus consequentes desastres. Portanto, a produção científica e as ações do poder público necessitam estar voltadas para o entendimento desses fenômenos e para a indicação de medidas que auxiliem os gestores a enfrentarem os novos desafios que se colocam, principalmente nas cidades que concentram população e capital, pois nelas ocorrem os maiores danos. Por esse motivo, é mais do que justificável a introdução da questão climática no campo disciplinar dos estudos urbanos.

## Referências

- BARBI, F. Governing Climate Change in China and Brazil: Mitigation Strategies. *Journal of Chinese Political Science*, 21 (3), 357-370, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11366-016-9418-y>>. Acesso em Dez 2022.
- BARROS, J. R. 2003. A chuva no Distrito Federal: o regime e as excepcionalidades do ritmo. Rio Claro, 2003. 221 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86531/barros\\_jr\\_me\\_rcla.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/86531/barros_jr_me_rcla.pdf?sequence=1)>. Acesso em Nov 2022.
- BARRIVIERA, M. H.; de CARVALHO PASCHOAL, R. A. Cidades inteligentes no Brasil. *Revista Eletrônica e-Fatec*, 12(1). 2022. Disponível em: <<https://pesquisafatec.com.br/ojs/index.php/efatec/article/view/283>>. Acesso em Dez 2022.
- BASSO, L.; VIOLA, E. From co-leader to loner: Brazilian wavering positions in climate change negotiations. In: ISSBENER, L.; LÉNA, P. (ed.). *Brazil in the Anthropocene: Conflicts between predatory development and environmental policies*. London: Routledge, 177-201, 2017.
- BENTO, S. C., DEMELO CONTI, D., BAPTISTA, R. M., GHOBRI, C. N. As novas diretrizes e a importância do planejamento urbano para o desenvolvimento de cidades sustentáveis. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS*, 7(3), 469 – 488. 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/330817264-As\\_Novas\\_Diretrizes\\_e\\_a\\_Importancia\\_do\\_Planejamento\\_Urbano\\_para\\_o\\_Desenvolvimento\\_de\\_Cidades\\_Sustentaveis](https://www.researchgate.net/publication/330817264-As_Novas_Diretrizes_e_a_Importancia_do_Planejamento_Urbano_para_o_Desenvolvimento_de_Cidades_Sustentaveis)>. Acesso em Dez 2022.

BRAGA, J. O. Alagamentos e inundações em áreas urbanas: estudo de caso na cidade de Santa Maria/DF. Brasília. Monografia de Graduação (Bacharelado em Geografia) – Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, 2016. Disponível em: <[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19267/1/2016\\_JuliaOliveiraBraga.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19267/1/2016_JuliaOliveiraBraga.pdf)>. Acesso em Nov 2022.

Brasília Alagada. Correio Brasiliense. 23 de janeiro de 2015. Cidades. Impresso.

CARVALHO, J. C. DE; GITIRANA JUNIOR, G. DE F. N.; CARVALHO, E. T. L. Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. Brasília: FT/UnB, Série Geotecnia – UnB, v. 4, 2007, p. 101-116. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/350189579\\_Topicos\\_sobre\\_infiltracao\\_teorica\\_e\\_pratica\\_aplicadas\\_a\\_solos\\_tropicais](https://www.researchgate.net/publication/350189579_Topicos_sobre_infiltracao_teorica_e_pratica_aplicadas_a_solos_tropicais)>. Acesso em Nov 2022.

Chuva causa alagamento e motoristas andam pela contramao em Águas Claras, no DF. G1-DF, Brasília, 15 de janeiro de 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/chuva-causa-alagamento-e-motoristas-andam-pela-contramao-em-aguas-claras-no-df-video.ghtml>>. Acesso em Jan 2023.

Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices. Climate Change. Disponível em: <[http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)>. Acesso em: 12 de abril 2022.

FERNANDES, G. de S. Utilização de Pavimento Permeável de Concreto com Agregados de Rcd na Mitigação de Alagamentos: Estudo de Caso do Estacionamento do Instituto Central de Ciências da Unb. Brasília, 2020. 145 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade De Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Disponível em <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/39525>>. Acesso em Nov 2022.

Fim dos alagamentos! Obras do Drenar DF já começaram na Asa Norte. Metrôpoles, Brasília, 23 de janeiro de 2023. Disponível em: <<https://www.metropoles.com/conteudo-especial/fim-dos-alagamentos-obras-do-drenar-df-ja-comecaram-na-asa-norte>>. Acesso em Jan 2023.

FRANCA, R. R. da. Eventos pluviais extremos na Amazônia Meridional: riscos e impactos em Rondônia. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37677>>. Acesso em Dez 2022.

GAN, M.; RODRIGUES, L. R.; RAO, V. B. Monção na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. da. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, p. 297-316, 2009.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. DE. A. Eventos pluviais extremos em Curitiba

(Paraná): entre antigos problemas e novos desafios In: PEREZ FILHO, A., AMORIM, R. R. (ORG.). Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. 1ª ed. Campinas, Instituto de Geociências - UNICAMP, vol. 1, p. 1919-1930, 2017.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. A. Eventos e episódios pluviais extremos: a configuração de riscos hidrometeorológicos em Curitiba (Paraná - Brasil). IDEAS, v. 15, p. 1-17, 2020.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas (1961 - 1990). Brasília: DNMET, 1992.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 2012. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em Dez 2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change - The Physical Science Basis. Summary for Policymakers - Technical Summary, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 2013. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em Dez 2022.

MACHADO, J. P.; MACHADO, C. F. C., SCHIEWALDT, C. B. Eventos Extremos de Precipitação no Município de Bauru-SP. Possibilidade de Ocorrências de Desastres Naturais? Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 255-266, 2019. Disponível em: <<https://papegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13127>>. Acesso em Jan. 2023.

MARENGO, J. A. CAMARINHA, P. I.; ALVES, L. M.; DINIZ, F.; BETTS, R. A. Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. Frontiers in Climate. V. 3, 2021. Disponível em <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2021.610433/full>>. Acesso em Dez 2022.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; YOUNG, A.; BARRETO, N. J. C.; RAMOS, A. M. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. Annals of the New York Academy of Sciences, v. 20, p. nyas.14307, 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/339248165\\_Trends\\_in\\_extreme\\_rainfall\\_and\\_hydrogeometeorological\\_disasters\\_in\\_the\\_Metropolitan\\_Area\\_of\\_Sao\\_Paulo\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/339248165_Trends_in_extreme_rainfall_and_hydrogeometeorological_disasters_in_the_Metropolitan_Area_of_Sao_Paulo_a_review)>. Acesso em Jan 2023.

MENDONÇA, F. DE A. Riscos, vulnerabilidades e resiliência socioambientais urbanas: inovações na análise geográfica. Revista da Anpege, v. 7, n. 1, p. 111-118, 2011. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6557>>. Acesso em Dez 2023.

- MELO, L. A. M. P.; STEINKE, V. A. Avaliação da dinâmica de urbanização no Distrito Federal entre 2005 e 2009. *Geografia* (Rio Claro. Impresso), v. 38, p. 491-509, 2013. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/8175>>. Acesso em Dez 2022.
- MESQUITA, F. N.; SILVESTRE, K. S.; STEINKE, V. A. Urbanização e degradação ambiental: Análise da ocupação irregular em áreas de proteção permanente na região administrativa de Vicente Pires, DF, utilizando imagens aéreas do ano de 2016. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.10, n.03, 2017, 722-734. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234021>>. Acesso em Jan. 2021.
- MODARRES, R.; DA SILVA, V. P. R. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *J. Arid Environmental*, Amsterdã, v. 70, p. 344–355, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196307000225>>. Acesso em Dez 2022.
- MONTEIRO, C. A. de F. O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas (1976). São Paulo: IGEOG-USP, 1976.
- MONTEIRO, J. B. Desastres Naturais no Estado do Ceará: uma análise de episódios pluviométricos extremos. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/17661>>. Acesso em Jan 2023.
- MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. A metodologia dos máximos de precipitação aplicada ao estudo de eventos extremos diários nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral-CE. *Geotextos* (Online), v. 13, n. 2, p. 135-159, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/24011>>. Acesso em Nov 2022.
- MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. Eventos extremos no estado do Ceará, Brasil: uma análise estatística de episódios pluviométricos no mês de março de 2019. *Geotextos*, v. 15, p. 149-173, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/32093>>. Acesso em Dez 2022.
- NEVES, G. Z. F. A Chuva no Estado de Goiás e Distrito Federal: Aspectos Espaciais, Temporais e Dinâmicos. *Revista Brasileira de Climatologia*. Ano 15 – Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – Jun 2019. Disponível em: <<file:///Users/mac/Downloads/66147-265764-2-PB.pdf>>. Acesso em Jan 2023>. Acesso em Dez 2022.
- NEVES, D. J. D.; ALCÂNTARA, C. R.; SOUZA, E. P. de. Estudo de Caso de um Distúrbio Ondulatório de Leste sobre o Estado do Rio Grande do Norte – Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, 490-505, 2016. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/npGtGGMYxwSTwxdpBVyJbrK/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em Dez 2022.

NOBRE, C. e YOUNG, A. F. (ed) Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Campinas: NEPO, 2011. Disponível em: <[https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/livros/megacidades/megacidades\\_RMSP.pdf](https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/livros/megacidades/megacidades_RMSP.pdf)>. Acesso em: Dez 2022.

OLIVEIRA SENA, J. P. DE.; BESERRA LUCENA, D.; MORAES NETO, J. M. Eventos pluviiais intensos e seus impactos em Campina Grande-PB. Revista de Geociências do Nordeste, v. 5, p. 69-77, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/17974>>. Acesso em Nov 2022.

PAZ, C. M. V.; SANCHES, F. de O. Ocorrência de eventos extremos de precipitação em Uberaba(1959-2015)esua relação com as mudanças climáticas. In: PEREZFILHO, A.; AMORIM, R. R. (Org.). Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento. 1ª ed. Campinas, Instituto de Geociências - UNICAMP, vol. 1, p. 2639-2642, 2017.

PAZ, C. M. V.; SANCHES, F.; FERREIRA, R. V. Chuvas em Uberaba/MG: um estudo sobre a ocorrência de eventos extremos. Entre Lugar, v. 10, p. 102-121, 2019. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/10278>>. Acesso em Jan 2023.

PESSOA, G. E.; STEINKE, V. A. Evolution of Land Use in Two Drainage Basins in an Urban Area of Brasília- DF/Brazil. Journal of Service Science and Management, v. 13, p. 769-784, 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Land-use-evolution-of-the-drainage-basin-Olhos-dagua\\_fig3\\_346026925](https://www.researchgate.net/figure/Land-use-evolution-of-the-drainage-basin-Olhos-dagua_fig3_346026925)>. Acesso em Dez 2022.

PINTO, Y. J. DE O.; COSTA, M. E. L.; ALVES, C. de M. A. Modelagem Da Drenagem Urbana – Estudo de Caso na Rede da Asa Norte, Brasília-DF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22, 2017, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Maria-Elisa-Costa-2/publication/321945877\\_MODELAGEM\\_DA\\_DRENAGEM\\_URBANA-ESTUDO\\_DE\\_CASO\\_NA\\_REDE\\_DA\\_ASA\\_NORTE\\_BRASILIA-DF/links/5a3a7d7aaca2728e698a9efe/MODELAGEM-DA-DRENAGEM-URBANA-ESTUDO-DE-CASO-NA-REDE-DA-ASA-NORTE-BRASILIA-DF.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maria-Elisa-Costa-2/publication/321945877_MODELAGEM_DA_DRENAGEM_URBANA-ESTUDO_DE_CASO_NA_REDE_DA_ASA_NORTE_BRASILIA-DF/links/5a3a7d7aaca2728e698a9efe/MODELAGEM-DA-DRENAGEM-URBANA-ESTUDO-DE-CASO-NA-REDE-DA-ASA-NORTE-BRASILIA-DF.pdf)>. Acesso em Jan. 2023.

PULJIZ, M. Carros ficam submersos em tesourinha da Asa Norte e criança de 1 ano precisa ser resgatada no DF. Sítio do G1, 01/12/2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2021/12/01/carros-ficam-submersos-em-tesourinha-da-asa-norte-e-crianca-de-1-ano-precisa-ser-resgatada-no-df.ghtml>>. Acesso em Dez. 2022.

ROCHA, M. A. da. Paisagem urbana integrada às técnicas compensatórias de drenagem: solução para os alagamentos em Brasília. Brasília, 2019. Dissertação (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de

Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/36749>>. Acesso em Dez 2022.

SANCHES, F.; VERDUM, R.; FISCH, G.; GASS, S. L. B.; ROCHA, V. M. Extreme Rainfall Events in the Southwest of Rio Grande do Sul (Brazil) and Its Association with the Sandization Process. *American Journal of Climate Change*, v. 08, p. 441-453, 2019. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/336438761\\_Extreme\\_Rainfall\\_Events\\_in\\_the\\_Southwest\\_of\\_Rio\\_Grande\\_do\\_Sul\\_Brazil\\_and\\_Its\\_Association\\_with\\_the\\_Sandization\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/336438761_Extreme_Rainfall_Events_in_the_Southwest_of_Rio_Grande_do_Sul_Brazil_and_Its_Association_with_the_Sandization_Process)>. Acesso em Dez 2022.

SILVA, C. C.; COSTA, M. E. C.; GOMES, C. I. D.; KOIDE, S. Modelagem da Drenagem Urbana – Estudo de Caso na Sub - Bacia da Asa Sul-DF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22, 2017, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em <<http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/60/PAP023173.pdf>>. Acesso em jan. 2021 >. Acesso em Dez 2022.

SILVA, A.A.; GATTO, F.D. M.; RIBEIRO, J.E. M.; MEDEIROS, L.F. P.; PINHEIRO, M.A. O.; FRANCA, R.R. Comportamento Climatológico da Pluviosidade no Distrito Federal –Período 1979-2009. Editora UFC, XVIII –Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Livro Geografia Física e as Mudanças Globais, 18ª Edição, 2019. Disponível: <<http://www.editora.ufc.br> >. Acesso em: dez. 2022.

STEINKE, E. T. e STEINKE, V. A. Clima Urbano de Brasília a Degradação da Qualidade de Vida da População. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 9, 2001 (a), Buenos Aires, Anais... Buenos Aires: FLISM. 1 CD ROM.

STEINKE, V. A. e STEINKE, E. T. Variação espaço-temporal da pluviosidade no Distrito Federal e seus condicionantes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 4, 2001 (b), Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ. 1 CD ROM.

STEINKE, E. T.; BARROS, J. R. Tipos de tempo e desastres urbanos no Distrito Federal entre 2000 e 2015. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 08 n. 05 p. 1435-1453, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233484>>. Acesso em Nov 2022.

STEINKE, V. A.; PALHARES DE MELO, L. A. M.; STEINKE, E. T. Rainfall Variability in January in the Federal District of Brazil from 1981 to 2010. *Climate*, v. 5, 2017. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2225-1154/5/3/68>>. Acesso em Dez 2022.

STEINKE, E. T.; STEINKE, V. A.; FRANCA, R. R. da. Geographic Analysis of Flooding in the Urban Area of the Federal District, Brazil. In: MENDONÇA, F.; FARIAS, A.; BUFFON, E. (Eds). *Urban Flooding in Brazil*. Springer, cap. 14, p. 321-346, 2023.

STEPHENSON, D. B. Definition, diagnosis and origin of extreme weather and climate events. In: DIAZ, H.F.; MURNANE, R. J (Org.). *Climate Extremes and Society*, Cambridge University Press, p. 11-23, 2008.

TABARI, H.; MAROFI, S.; AHMADI, M. Long-term variations of water quality parameters in the Maroon River, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, Amsterdam, v. 177, n. 1-4, p. 273–287, 2010. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20700652/>>. Acesso em Jan 2023.

TABARI, H.; MAROFI, S.; HOSSEINZADEH TALAEI, P.; MOHAMMADI, K. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agriculture and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 151, p. 128–136, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192310002558>>. Acesso em Dez 2023

TUCCI, C.E.M. Águas urbanas: interfaces do gerenciamento. In: PHILLIPI JÚNIOR, A. (Org.) Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. 2. ed., Barueri: Editora Manoele Ltda., 2005, p.375-414.

UN-Habitat. World Cities Report 2022. Envisaging the future of cities. Disponível em: <[https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr\\_2022.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf)>. Acesso em Dez 2022.

A sustentabilidade urbana e as cidades inteligentes são essenciais no mundo atual. Com a rápida urbanização, é vital repensar o planejamento urbano, equilibrando crescimento econômico, preservação ambiental e bem-estar social. A sustentabilidade propõe harmonizar recursos naturais, qualidade de vida e resiliência dos ecossistemas. Cidades inteligentes utilizam tecnologias como IoT, big data e inteligência artificial para otimizar serviços urbanos, melhorar infraestruturas e promover participação cidadã. Estas cidades impulsionam a sustentabilidade ambiental, inclusão social e governança participativa. Planejadores e decisores devem adotar princípios de sustentabilidade e inovação. Estratégias que priorizam esses elementos são cruciais para cidades resilientes, preparadas para os desafios do século XXI. O livro "Planejamento Ambiental Urbano: Alicerces de uma Cidade Inteligente e Sustentável" reúne especialistas que exploram esses temas em onze capítulos, refletindo suas vivências e pesquisas em centros urbanos. Esta obra inspira e orienta a construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

