



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Extremos Climáticos e sua Influência sobre os Danos a Obras Cíveis no Centro-Sul do Brasil: Uma Análise de 2012 a 2017

Ayrton Renan de Oliveira Ferreira¹, José Antonio Guarienti²,
Aleska Kaufmann Almeida³, Isabel Kaufmann de Almeida⁴

¹ Engenheiro Civil, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 79070-900, Brasil. E-mail: ayrtonrenan15@gmail.com. ² Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Doutorado em Tecnologias Ambientais, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 79070-900, Brasil. E-mail: jose.guarienti@ufms.br. ³ Doutora em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Professora Adjunta, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 79070-900, Brasil. E-mail: aleska.almeida@ufms.br. ⁴ Doutora em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Professora Associada, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 79070-900, Brasil. E-mail: isabel.almeida@ufms.br (autora correspondente).

Artigo recebido em 24/08/2024 e aceito em 19/02/2025

RESUMO

O gradativo processo de urbanização, decorrente do crescimento populacional e da ampliação das necessidades humanas, se tornou um fator determinante para o aumento das frequências de ocorrências de desastres causados por eventos climáticos. O aquecimento global pode afetar o regime de sistemas hidroclimáticos e induzir ocorrências mais frequentes de extremos, como secas, ondas de calor e inundações. Os eventos extremos desencadeiam diversos desastres que acarretam prejuízos a toda sociedade, provocando, prejuízos à saúde, à segurança, perda de vidas, além de danos materiais em edificações e obras de infraestrutura e prejuízos ambientais. Tomando como necessário o desenvolvimento e a execução de novas abordagens a respeito da contenção dos efeitos causados por eventos extremos em obras cíveis, este estudo verifica as obras cíveis mais afetadas por eventos extremos na região Centro-Sul e analisa o impacto das mudanças climáticas no dimensionamento dessas estruturas. O presente trabalho também analisa a correlação entre eventos extremos e registro de desastres com os danos sobre obras cíveis. Foi constatado que nas categorias de danos às estradas e às obras de arte estão entre as principais obras cíveis afetadas em todos os grupos de classes de desastres, demonstrando a vulnerabilidade desses tipos de obras frente aos eventos climáticos extremos. Os danos mais registrados desses tipos de obras foram danificação de estradas vicinais e danificação de pontes, respectivamente, evidenciando a ineficiência da previsão das normativas de dimensionamento dos efeitos da ocorrência desses desastres. É imprescindível a revisão regular das normas de dimensionamento na região Centro-Sul ao considerar os potenciais impactos das mudanças climáticas às obras cíveis.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, desastres, normas de dimensionamento, estradas, obras de arte.

Climate Extremes and their Influence on Damage to Civil Works in the Center-South of Brazil: An Analysis from 2012 to 2017

ABSTRACT

The gradual process of urbanization, resulting from population growth and the expansion of human needs, has become a determining factor in the increase in the frequency of occurrences of disasters caused by climate events. Global warming can affect the regime of hydroclimatic systems and induce more frequent occurrences of extreme events, such as droughts, heat waves and floods. Extreme events trigger several disasters that cause harm to society as a whole, causing harm to health, safety, loss of life, as well as material damage to buildings and infrastructure works and environmental damage. Considering the need to develop and implement new approaches to contain the effects caused by extreme events in civil works, this study verifies the civil works most affected by extreme events in the Center-South region and analyzes the impact of climate change on the dimensioning of these structures. The present work also analyzes the correlation between extreme events and disaster records with damage to civil works. It was found that in the categories of damage to roads and works of art, they are among the main civil works affected in all groups of disaster classes, demonstrating the vulnerability of these types of works to extreme climate events. The most common types of damage recorded in these types of works were damage to local roads and damage to bridges, respectively, highlighting the inefficiency of the forecasting of the standards for dimensioning the effects of the occurrence of these disasters. It is essential to regularly review the dimensioning standards in the Center-South region when considering the potential impacts of climate change on civil works.

Keywords: Climate change, disasters, dimensioning standards, roads, works of art.

Introdução

O clima e a geografia sempre foram os principais fatores determinantes do crescimento e da distribuição da população mundial (Berlemane e Steinhart, 2017). Tendo isso em vista, a comunidade internacional enfrenta, segundo Buhaug (2010), um dos mais profundos desafios do século 21 que é a mudança climática. A mudança climática é definida de acordo com a definição do Grupo de Trabalho I do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que abrange mudanças devido a processos internos naturais ou forçamentos externos, ou a alterações antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso da terra (IPCC, 2007). As mudanças climáticas alteram todas as variáveis do sistema, algumas em menor e outras em maiores intensidades. Conforme Yang et al. (2013), os eventos climáticos extremos e os desastres meteorológicos ocorrem frequentemente devido às constantes mudanças do clima global. Diversos estudos têm destacado que a ocorrência de eventos extremos está relacionada a diferentes variáveis ou processos contribuintes (Leonard et al., 2014; Martius et al., 2016; Zscheischler e Seneviratne, 2017). A ocorrência dos eventos extremos pode estar relacionada a múltiplas variáveis ou processos. Recentemente, o complexo extremo (isto é, a ocorrência de eventos simultâneos ou consecutivos que levam a impactos extremos) tem atraído muita atenção devido a sua recorrência (Seneviratne et al., 2012; Leonard et al., 2014).

O aquecimento global pode afetar o regime de sistemas hidroclimáticos e induzir ocorrências mais frequentes de extremos, como secas, ondas de calor e inundações. Herrera-Pantoja e Hiscock (2008) sugerem que, para o futuro, tanto os eventos de seca como os de chuva se tornarão mais graves e frequentes, aumentando a vulnerabilidade dos recursos hídricos e comprometendo a sustentabilidade. De acordo com Mahmoud (2020), as alterações climáticas aumentarão a intensidade e a frequência de uma série de perigos naturais, desde inundações a incêndios florestais, que têm impacto no ambiente construído. O autor ainda ressalta que são necessárias maiores investigações sobre o desempenho dos edifícios e das infraestruturas sob diferentes eventos provocados pelo clima, para apoiar as previsões de recuperação e políticas de mitigação eficazes. Para auxiliar na compreensão da ocorrência de eventos extremos, estudos têm sido conduzidos visando avaliar a dependência entre as diferentes variáveis e esses eventos. A gestão dos recursos hídricos em regiões com dados escassos, como a maioria dos países em

desenvolvimento, ainda é um dos principais desafios em todo o mundo (Costa et al. 2022). Assim, é importante desenvolver modelos que relacionem as múltiplas variáveis contribuintes de eventos extremos, levando em conta essa possível interdependência, para caracterizar o risco associado (Almeida et al., 2023; Melo et al., 2023; Lima et al., 2022; Almeida et al. 2021).

Mailhot e Duchesne (2010) sugerem que a probabilidade de crescimento nas ocorrências de chuvas intensas, para um clima futuro, considerando as projeções reais fornecidas por modelos climáticos, ocorrerão devido ao aumento das concentrações de gases do efeito estufa. No entanto, nas últimas décadas com o crescimento das ocorrências de desastres climáticos houve também aumento das danificações decorrentes desses eventos, resultando em uma maior perda de vidas, materiais e não materiais (Mijalković e Cvetković, 2013). No mundo, destacam-se os Estados Unidos, China, Índia, Filipinas, a Indonésia, Bangladesh e Japão como países que apresentam maior frequência de catástrofes naturais, sendo a China o país com maior número de vítimas fatais, o Peru o país com maior número de feridos e os Estados Unidos com maiores perdas econômicas (Shen & Hwang, 2019). Nas regiões tropicais os desastres climáticos são comuns, e desses eventos severos decorrem impactos à vida humana (Hastenrath, 1986). Os desastres têm um impacto indireto na saúde humana (tanto física quanto emocional), colocando uma pressão persistente no sistema de saúde; além disso, problemas sérios de saúde geralmente seguem catástrofes, e as demandas pós-desastre são significativas nos sistemas de saúde (Kalogiannidis et al., 2023).

De acordo com Fang et al. (2019), o crescimento econômico em detrimento dos recursos ambientais se tornou insustentável, uma vez que as mudanças climáticas afetam diretamente o crescimento econômico e a sustentabilidade dos países. As alterações climáticas e o declínio dos ecossistemas estão cada vez mais sendo considerados como parte da equação do risco de catástrofes (Peduzzi, 2019). Neste contexto, as catástrofes não podem ser consideradas como sendo puramente naturais, mas sim consequências das atividades e decisões humanas, sendo parte dos processos de alterações ambientais globais (Burton, 2005). A conservação de recursos naturais é mais valorizada em países desenvolvidos do que em países em desenvolvimento (Fang et al. 2019). E ainda, devido à crescente ocorrência de extremos

climáticos, conforme Zscheischler e Seneviratne (2017), estes eventos vêm se destacando devido aos desproporcionais impactos à humanidade e as ameaças ao ecossistema natural.

Diversos extremos hidrometeorológicos são evidenciados em torno de todo o globo mais frequentemente e intensamente nas últimas décadas. Desastres hidrometeorológicos ocorrem com maior frequência e severidade se a tendência temporal de precipitação na região for crescente (Leite et al. 2023). No território brasileiro intensos eventos de chuva que desencadearam enchentes e deslizamentos de terra foram responsáveis por 74% dos óbitos relacionados a desastres naturais no período de 1991 a 2010 (Debortoli, et al. 2017). Por outro lado, o estudo de Zhu et al. (2022) realizado na China, discute tendências decrescentes significativas na precipitação anual e a tendência de precipitação mais concentrada, o que pode formar eventos extremos de precipitação, e eventualmente inundações. A avaliação de impacto de um evento que gera um cenário de perigo para o ambiente construído refere-se frequentemente à avaliação do custo econômico, como resultado de perdas de funcionalidade, capacidade de manutenção ou integridade (Wang et al., 2020). Os eventos extremos desencadeiam diversos desastres que acarretam prejuízos a toda sociedade, provocando, além de danos humanos, prejuízos à saúde, à segurança e a perda de vidas. Assim como, danos materiais em edificações e obras de infraestrutura e danos ambientais.

As mudanças no uso do solo associadas ao desenvolvimento urbano, substituindo solos permeáveis por superfícies impermeáveis, afetam o escoamento superficial (Almeida et al., 2016). Segundo Lima et al. (2022), a ocorrência de desastres causados por inundações impacta a saúde humana e a infraestrutura urbana, resultando na suspensão do transporte público, danos à propriedade e propagação de doenças, além dos custos financeiros de seguros e esquemas públicos de compensação. Entre 2000 e 2016, a área de vegetação florestal brasileira sofreu redução de 7,5% e a vegetação campestre perdeu 9,5% de sua área inicial (IBGE, 2018). O gradativo processo de urbanização, decorrente do crescimento populacional e das necessidades da população, se tornou um fator determinante para o aumento das frequências de ocorrências de desastres causados por eventos climáticos. O processo de urbanização causa a impermeabilização do solo gerando a preocupação dos gestores quanto a condução das águas pluviais, visto que as mesmas, quando não são bem direcionadas, acabam causando problemas materiais e imateriais (Rocha et al., 2022). De acordo com De Paola et al. (2018), a gradativa

urbanização está provocando o aumento de superfícies impermeáveis e, consequentemente, do escoamento superficial e da velocidade e a redução dos tempos de concentração das bacias hidrográficas, gerando aumento da erosão do solo e diminuindo a qualidade da água em decorrência da intensa contaminação. Segundo Canabrava Neto et al. (2021), o componente do escoamento superficial é especificamente importante durante e imediatamente após os picos de chuva, quando provoca um rápido aumento no fluxo de água, caracterizando picos de cheia nos hidrogramas. As inundações rápidas resultam em danos significativos às redes de transporte, áreas residenciais, paisagens agrícolas e meios de subsistência em geral em diversos países ao redor do mundo (Youssef et al. 2015). A gestão da água urbana, relacionada ao controle de enchentes, se concentra em estratégias e estruturas que são essenciais para mitigar o impacto das enchentes urbanas (Olsonoski e Gianoli, 2024). Globalmente, as ocorrências de inundações resultam no maior número de fatalidades e danos materiais substanciais (Bathrellos et al. 2016).

Sendo o Brasil um país predominantemente tropical, com alta convecção e umidade, combinadas com frentes frias intensas vindas do sul, o país possui potencial para gerar climas severos com intensas rajadas de vento (Loredo-Souza et al., 2019). No caso de ventos extremos são necessárias metodologias adequadas para avaliar e mitigar estes efeitos através de soluções melhoradas de concepção e modernização que tenham em conta rigorosamente as incertezas associadas, tais como metodologias de engenharia baseadas no desempenho estrutural (Esmaeili e Barbato, 2022). Estudos têm sido desenvolvidos com intuito de caracterizar o comportamento do vento no Brasil e inclusive de usufruir da magnitude de sua velocidade para a produção de energia (Guarienti et al. 2020; Costa Rocha, 2012). Considerada a região geoeconômica mais dinâmica do país, o Centro-Sul concentra a maioria da população urbana, além de boa parte do polo industrial do país. Nesta região, de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2017), predominam três climas zonais: o clima tropical, predominante em grande parte do Centro-Sul; o clima tropical de altitude, predominante nas regiões serranas dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo; e o clima subtropical, predominante na Região Sul e em algumas regiões no estado de São Paulo.

De acordo com Orcesi et al. (2022), na Europa estão sendo realizados estudos em grupos de especialistas relacionado às ações induzidas pelas inundações nas infraestruturas que são

influenciadas pelas alterações climáticas. Os mesmos autores afirmam que as atuais práticas de concepção precisam ser adaptadas para proporcionar estruturas confiáveis durante a vida útil desejada. A recorrente ocorrência de eventos extremos em regiões de clima tropical tem demonstrado a necessidade de estudos relacionados ao tema. Nas regiões de clima tropical a ocorrência de desastres relacionados a eventos extremos tem se tornado frequente nos últimos anos (de Melo et al., 2023; Lima et al., 2022; Oliveira et al., 2021). Almeida et al. (2022) revisou os estudos realizados no mundo envolvendo tempo de concentração de escoamento superficial, e verificou o crescimento de estudos sobre inundações, inundações repentinas e mapas de vulnerabilidade a inundações. Como demonstrado no estudo de Oliveira et al (2021), os danos materiais causados por desastres em regiões tropicais, principalmente em obras civis de infraestrutura, têm gerado preocupação nos projetistas quanto à eficiência das metodologias empregadas em seu dimensionamento.

Conforme afirmado por Schipper (2020), à medida que as mudanças climáticas continuam a gerar eventos climáticos mais extremos e severos, enfrentamos uma realidade preocupante: os projetos de engenharia de prevenção de enchentes existentes podem se mostrar inadequados diante de desafios crescentes devido a cenários de incerteza. Orcesi et al. (2022) desenvolveu um estudo que investiga efeitos da mudança climática e suas consequências no desempenho estrutural, no contexto de cenários de carga em três regiões continentais diferentes, Europa, América do Norte e Ásia. O supracitado estudo reforça a questão já afirmada nos estudos de Almeida et al (2014), Kaufmann de Almeida et al. (2017), Almeida et al. (2022), Almeida et al. (2023), que afirmam que a maioria das formulações e pesquisas existentes na área de escoamento superficial foram desenvolvidas para regiões de clima temperado e do Hemisfério Norte. Dessa forma, o presente artigo objetiva analisar as obras civis mais afetadas por desastres, sua metodologia de dimensionamento e as variáveis climáticas envolvidas. Tomando como necessário o desenvolvimento e a execução de novas abordagens a respeito da contenção dos efeitos causados por eventos extremos em obras civis, o presente estudo tem como objetivo verificar as obras civis mais afetadas por eventos extremos na região Centro-Sul, e analisar o impacto das mudanças climáticas no dimensionamento dessas estruturas. Mais especificamente, compilar as obras civis que empregam dados climáticos em seu dimensionamento, selecionando as que necessitam

de séries de dados climáticos e as que utilizam período ou tempo de retorno. Assim como, elencar os dados climáticos empregados no dimensionamento das obras e verificar a tendência temporal de ocorrência de eventos extremos relacionadas às variáveis elencadas registradas na defesa civil.

Material e métodos

Análise de normativas

As normativas brasileiras consideram os eventos de chuva-vazão como os mais relevantes a serem avaliados no dimensionamento de obras civis. Isso se deve principalmente ao fato de grande parte do território brasileiro ser classificado como região de clima tropical. A precipitação é considerada a principal componente do ciclo hidrológico de regiões tropicais. Durante esta etapa foi realizada a compilação de obras civis e de suas respectivas normativas que consideram dados climáticos no seu dimensionamento. Nesta etapa também foram elencadas as variáveis climáticas consideradas no dimensionamento de obras civis.

É recorrente o emprego do período de retorno no dimensionamento de obras civis que consideram dados de chuva-vazão. É um conceito utilizado principalmente em obras de infraestrutura. Para obtenção do dado climático correspondente ao período de retorno (T) recomendado na normativa necessita-se de séries de dados de monitoramento com extensão compatível ao T ou aplicam-se modelos probabilísticos para estimativa dos dados climáticos. Em seguida foi realizada a compilação das obras civis e suas respectivas normativas que consideram séries de dados ou período de retorno em seu dimensionamento.

Área de estudo

A pesquisa foi realizada na região geoeconômica mais dinâmica do Brasil, a Centro-Sul, detentora dos principais polos industriais e agropecuários do país. Para o estudo foram considerados todos os estados da Região Centro-Sul do Brasil que possuem classificação climática tropical ou subtropical. Foram analisados os municípios com registros de desastres com danos em obras civis.

Dados de desastres

O Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) possui a relação de municípios afetados por eventos naturais ou tecnológicos deflagradores de danos e prejuízos que caracterizam desastre. Essas informações são obtidas através do Formulário de Informações do

Desastre – FIDE, que é regulamentado pela Instrução Normativa nº 2, de 20/12/2016. Dessa forma foram verificados os relatórios gerados, e em seguida foram geradas listas com os danos e prejuízos ocorridos na região em estudo.

Desastre caracteriza-se pelo resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excede a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios (BRASIL, 2012). Os registros são obtidos através do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), onde, a partir das informações contidas nos FIDE, elas são categorizadas pela Classificação Brasileira de Desastres (COBRADE) e pelos municípios afetados por eventos naturais ou tecnológicos deflagradores de danos e prejuízos que caracterizam desastre.

O conjunto de dados contidos no Formulário de Informações do Desastre (FIDE) foi utilizado para caracterizar o tipo de desastre e as variáveis climáticas relacionadas aos eventos extremos geradores de desastre. Dessa forma, foram verificados os relatórios gerados a fim de tornar possível a mensuração dos danos e prejuízos ocorridos na região em estudo.

A partir das variáveis climáticas analisadas nas etapas de dimensionamento de obras civis, os relatórios de desastres foram avaliados e classificados conforme as principais variáveis climáticas causadoras de eventos extremos. Foram coletados somente os FIDE classificados de acordo com as classes de desastres que tem como causa as variáveis climáticas utilizadas nas normativas.

Foram analisados os dados dos municípios da Região Centro-Sul que possuíam registros em Formulários e Diários Oficiais referentes a danos causados por eventos extremos das variáveis climáticas de interesse no presente estudo. Através da análise dos formulários e Diários Oficiais nas datas de ocorrência dos desastres, foi possível verificar as estruturas afetadas pelos eventos extremos. O período de análise dos desastres foi correspondente ao período dos FIDE disponibilizadas no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), ou seja, de janeiro de 2012 a janeiro de 2017.

Os desastres e suas respectivas causas e danos foram tabelados. Em seguida foram elencados os tipos de obras que aparecem nos relatórios de desastres e realizada a quantificação

de obras afetadas em cada desastre. Essa quantificação foi utilizada para analisar a frequência de ocorrência dos desastres e a sua relação com os danos em obras civis.

Há relatórios de desastres que descrevem tanto o tipo de obra afetada quanto o dano causado a essa obra. No entanto, há relatórios que apenas expõem os tipos de obras afetadas sem especificar o dano causado, nesses casos foi realizada a quantificação da danificação pela categoria de dano não especificado.

Correlação entre a ocorrência de eventos extremos e de desastres e os danos sobre obras civis

Foram verificadas as categorias de desastres ocorridas na região de estudo e realizada a análise temporal de sua frequência de ocorrência nos municípios analisados. Foi verificado a relação entre a frequência de ocorrência de desastres com os danos gerados em obras civis. Foram verificadas ainda, as categorias de obras civis que sofrem danos recorrentes frente à ocorrência de eventos extremos.

Resultados e discussão

Buscando verificar a relação entre as normativas de obras civis que consideram dados climáticos em seu dimensionamento e as obras civis afetadas por eventos extremos na região Centro-Sul brasileira, foram elencadas as normativas por tipo de obra. Essas normativas foram selecionadas conforme sua vigência, e assim apresentado a sua região de abrangência, bem como os tipos de dados e os dados climáticos utilizados (Quadro 1).

Dispondo-se dos Formulários de Informações do Desastre (FIDE), disponibilizados no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) pela Defesa Civil, foram analisados os FIDE relacionados a desastres que tiveram como causa eventos climáticos. Foi realizado o agrupamento dos FIDE de acordo com a natureza de cada fenômeno causador (Quadro 2), conforme a Classificação Brasileira de Desastres (COBRADE).

A relação da quantidade de FIDE registrados, de acordo com as classificações da COBRADE selecionadas, para cada ano e para cada estado da área de estudo, são apresentados na Tabela 1. E a relação dos municípios que tiveram a maior quantidade de FIDE registrados, de acordo com as classificações da COBRADE selecionadas, são apresentados na Tabela 2.

Quadro 1: Obras civis e suas respectivas normativas que utilizam dados climáticos.

Obra	Norma	Ano	Local que engloba	Dados utilizados	Dado climático
Obras de arte	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Estradas E Rodagem (DNER) - Manual de projeto de obras-de-arte especiais (Brasil, 1996)	1996	Brasil	Série de dados e período de retorno	Vento e precipitação
	Norma Brasileira ABNT NBR-6123 (1988: versão corrigida 2: 2013) - Forças devidas ao vento em edificações (ABNT, 2013)	2013	Brasil	Período de retorno	Vento
	Norma Brasileira ABNT NBR-8681 (2003: versão corrigida: 2004) - Ações e segurança nas estruturas. (ABNT, 2004)	2004	Brasil	Período de retorno	Vento
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - IPR 715 - Manual De Hidrologia Básica Para Estruturas De Drenagem (Brasil, 2005a)	2005	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - IPR 726 - Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários (Brasil, 2006c)	2006	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - IPR 724 - Manual de drenagem de rodovias (Brasil, 2006b)	2006	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
Instalações prediais	Norma Brasileira ABNT NBR 15527 (2019) - Água De Chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas para fins não potáveis (ABNT, 2019)	2019	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Norma Brasileira ABNT NBR 10844 (1989) - Instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989)	1989	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação

Obra	Norma	Ano	Local que engloba	Dados utilizados	Dado climático
Estradas	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - IPR 715 - Manual De Hidrologia Básica Para Estruturas De Drenagem (Brasil, 2005a)	2005	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Estradas De Rodagem (DNER) - Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários (Brasil, 1999)	1999	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - IPR 724 - Manual de drenagem de rodovias (Brasil, 2006b)	2006	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - IPR 719 - Manual de pavimentação (Brasil, 2006a)	2006	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - IPR 717 – Diretrizes básicas para a elaboração de estudos e projetos rodoviários (Brasil, 2005b)	2005	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - IPR 739 - Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários/ instruções para acompanhamento e análise (Brasil, 2010)	2010	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - Instrução De Serviço Ferroviário ISF -210 - Projeto de drenagem (Brasil, 2015)	2015	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação

Obra	Norma	Ano	Local que engloba	Dados utilizados	Dado climático
Drenagem	Norma Brasileira ABNT NBR 10844 (1989) - Instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989)	1989	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Prefeitura Da Cidade Do Rio De Janeiro - Secretaria Municipal De Obras - Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana - 2ª. Versão (Rio de Janeiro, 2019)	2019	Município do Rio de Janeiro	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Prefeitura Do Município De São Paulo - Diretrizes de Projeto de hidráulica e Drenagem. DP-H01, Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos – período de retorno (São Paulo, 1999a)	1999	Município de São Paulo	Período de retorno	Precipitação
	Prefeitura Do Município De São Paulo - Diretrizes de Projeto de hidráulica e Drenagem. DP-H02, Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos – equação de chuvas. (São Paulo, 1999b)	1999	Município de São Paulo	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Prefeitura Do Município De São Paulo - Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (São Paulo, 2012)	2012	Município de São Paulo	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Ministério Dos Transportes Departamento Nacional De Estradas De Rodagem (DNER) - Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários (Brasil, 1999)	1999	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Prefeitura De Goiânia - Secretaria Municipal da Casa Civil LEI N° 9.511, de 15 de dezembro de 2014 - Regras de Controle de Águas Pluviais e Drenagem Urbana (Goiânia, 2014)	2014	Município de Goiânia	Série de dados e período de retorno	Precipitação

Obra	Norma	Ano	Local que engloba	Dados utilizados	Dado climático
	Prefeitura Municipal De Campo Grande - Plano Diretor De Drenagem Urbana Do Município De Campo Grande (Campo Grande, 2015)	2015	Município de Campo Grande	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Prefeitura Municipal De Vitória - Plano Diretor De Drenagem Urbana Do Município De Vitória. (Vitória, 2008)	2008	Município de Vitória	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Prefeitura Municipal De Belo Horizonte - Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte (Belo Horizonte, 2016)	2016	Município de Belo Horizonte	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Prefeitura Municipal De Joinville - Plano diretor de drenagem urbana (Joinville, 2011)	2011	Município de Joinville	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Prefeitura Municipal De Curitiba - Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba (Curitiba, 2017)	2017	Município de Curitiba	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Prefeitura Municipal De Porto Alegre - Plano Diretor De Drenagem Urbana - Manual de Drenagem Urbana. (Porto Alegre, 2005)	2005	Município de Porto Alegre	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Norma Brasileira ABNT NBR 12266 (1992) - Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água esgoto ou drenagem urbana – Procedimento (ABNT, 1992b)	1992	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
Barragem	Eletrobrás - Critérios de projeto civil de usinas hidrelétricas (Eletrobrás, 2003)	2003	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
	Norma Brasileira ABNT NBR 13028 (2017) Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e	2017	Brasil	Série de dados	Precipitação

Obra	Norma	Ano	Local que engloba	Dados utilizados	Dado climático
	reservação de água — Requisitos (ABNT, 2017)				
	Agência Nacional De Águas (ANA) (2016) - Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens - Diretrizes para a Elaboração de Projeto de Barragens (ANA, 2016)	2016	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
Abastecimento de água	Norma Brasileira ABNT NBR 12211 (1992) - Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água (ABNT, 1992a)	1992	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação
Taludes	Norma Brasileira ABNT NBR 11682 (2009) - Estabilidade de taludes (ABNT, 2009)	2009	Brasil	Série de dados e período de retorno	Precipitação

Quadro 2: Classes de desastres relacionadas às variáveis climáticas.

Grupo 1 – Desastres Meteorológicos	Tempestade Local/Convectiva Vendaval
	Tempestade Local/Convectiva – Tornados
	Tempestade Local/Convectiva – Chuvas Intensas
	Tempestade Local/Convectiva – Tempestade de Raios
	Tempestade Local/Convectiva – Granizo
	Ciclones Marés de Tempestade (Ressacas)
Grupo 2 – Desastres Hidrológicos	Alagamentos
	Enxurradas
	Inundações
Grupo 3 – Desastres Geológicos	Deslizamentos
	Erosão Continental Laminar
	Erosão de Margem Fluvial
	Erosão Continental Boçorocas
Grupo 4 – Desastres em Obras Cívicas	Quedas, Tombamentos e rolamentos Lajes
	Quedas, Tombamentos e rolamentos Blocos
	Rompimento/colapso de barragens
	Quedas, Tombamentos e rolamentos – Matacões
	Colapso de edificações

A fim de verificar os tipos de obras civis e seus respectivos danos mais recorrentes nos FIDE selecionados, foram elencados os danos a essas obras, e então agrupados em categorias (Quadro 3).

Através dos dados coletados dos FIDE analisados, gerou-se a série histórica da frequência de ocorrência dos desastres relacionados a eventos climáticos, bem como a frequência dos danos causados a obras civis em todos os municípios que tiveram registros. A seguir estão apresentadas estas frequências de ocorrências por cada classe de desastre agrupada (Figuras 1 a 4).

Conforme exposto na Figura 1, os principais desastres meteorológicos (Grupo 1) são decorrentes de tempestades locais/convectivas com

chuvas intensas e vendaval. Sendo que as tempestades de chuvas intensas apresentaram a maior quantidade de formulários registrados, com aumento de registros até 2014 e queda durante 2015 mantendo-se relativamente constante durante 2016.

No grupo de desastres hidrológicos (Figura 2), a principal quantidade de ocorrências ao longo do tempo foram as de inundações, com crescimento no número de registros entre os anos de 2012 a 2014 e recaída entre 2015 e 2016. Este agrupamento de desastres (Grupo 2) apresentou a maior quantidade de ocorrências dentre os grupos analisados, seguido pelos grupos de desastres meteorológicos e geológicos.

Tabela 1: Quantidades de FIDE por estado relacionadas às COBRADE relacionadas.

Unidade Federativa	Quantidade de FIDE					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
DF	0	3	0	0	1	0
ES	2	35	9	4	31	0
GO	0	11	8	9	3	0
MS	1	19	19	51	42	0
MG	9	162	38	85	137	0
PR	2	103	187	77	57	0
RJ	3	49	9	16	37	0
RS	14	133	311	333	141	0
SC	6	123	200	302	133	3
SP	3	31	22	33	61	0

Tabela 2: Municípios com maior quantidade de registros de FIDE.

Município	Unidade Federativa	Quantidade
Aracruz	ES	11
Conselheiro Lafaiete	MG	10
Campo Grande	MS	12
Coxim	MS	15
Duque de Caxias	RJ	11
Restinga Seca	RS	11
Rio Pardo	RS	13
Santa Cruz do Sul	RS	22
Itaiópolis	SC	13
Mafra	SC	17
Papanduva	SC	14
Rio Negrinho	SC	11
São Bento do Sul	SC	14
São Carlos	SP	10

Quadro 3: Categorias e subcategorias de danos às obras civis.

Categoria de danos às obras civis	Subcategoria de danos às obras civis
Danos às obras de arte	Destruição de pontes
	Danos em pontes
	Danos e destruição de pontilhões
	Danos em cabeceira de pontes
	Danos em cabeceira de pontilhões
	Danos não especificados a obras de arte
Danos às estradas	Danos em estradas vicinais
	Danos em vias urbanas
	Danos em rodovias
	Danos em ferrovias
Danos ao abastecimento de água e drenagem de esgoto	Danos ao abastecimento de água
	Danos a drenagem de esgoto
Danos ao sistema de drenagem pluvial	Danos em bueiros
	Danos em galerias
	Danos em sarjeta
	Danos não especificados ao sistema de drenagem pluvial
Danos às edificações	Danos em coberturas de edificações
	Destruição de edificações
	Danos em edificações
	Danos em calçamento e calçadas
	Danos em cortinas de estacas prancha
Danos às obras de terra	Danos em taludes
	Danos em barragens
	Danos em muros de contenção
	Danos em aterros
	Danos em muros de gabião

Dentre os desastres geológicos a classe de desastre que obteve a maior quantidade de registros foi a de deslizamentos. Houve pico na quantidade de ocorrências de deslizamentos durante 2013, diminuindo durante 2014, e aumentando durante 2015 e 2016. Já no agrupamento de desastres em obras civis a principal classe de desastre foi a do rompimento/colapso de barragens com ocorrência mais elevada no ano 2015.

A quantidade de registros de cada categoria e subcategoria de danos a obras civis para o primeiro agrupamento de classes de desastre (Desastres Meteorológicos) estão apresentados na Figura 5.

Dentre os desastres meteorológicos, os principais tipos de danos ocorridos na categoria de danos a obras de arte foram a danificação e a destruição de pontes. Nos danos a obras de estradas, as estradas vicinais são as mais danificadas pelos eventos registros. Sistemas de abastecimento de água e drenagem de esgoto tiveram quantidades de ocorrência de danos semelhantes. Nos sistemas de drenagem pluvial os bueiros são os mais afetados por desastres meteorológicos, enquanto em edificações a subcategoria danificação de edificações é mais recorrente. Já em obras de terra, os taludes são os mais afetados ao se analisar o Grupo 1 de classes de desastres. Foram registrados 370 formulários com danos não especificados ou inexistentes.

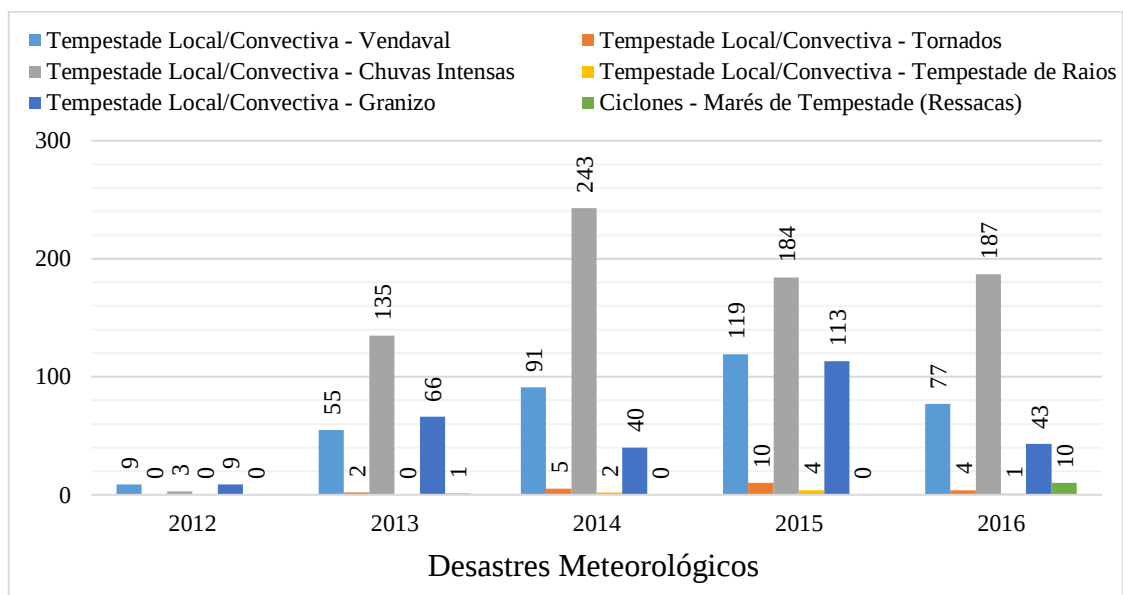


Figura 1: Frequência anual de ocorrência de desastres meteorológicos.

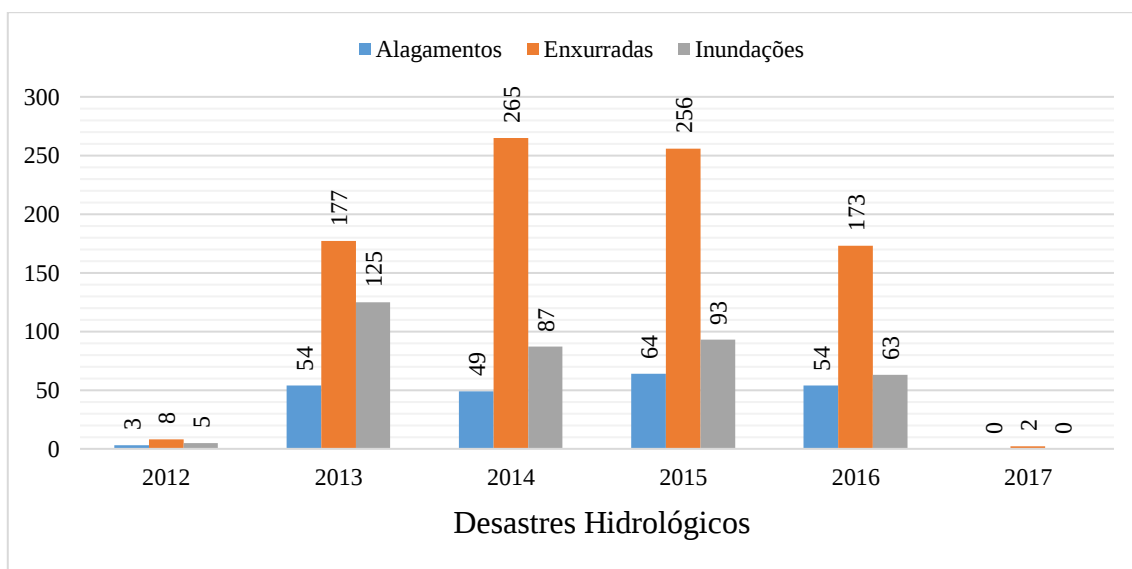


Figura 2: Frequência anual de ocorrência de desastres hidrológicos.

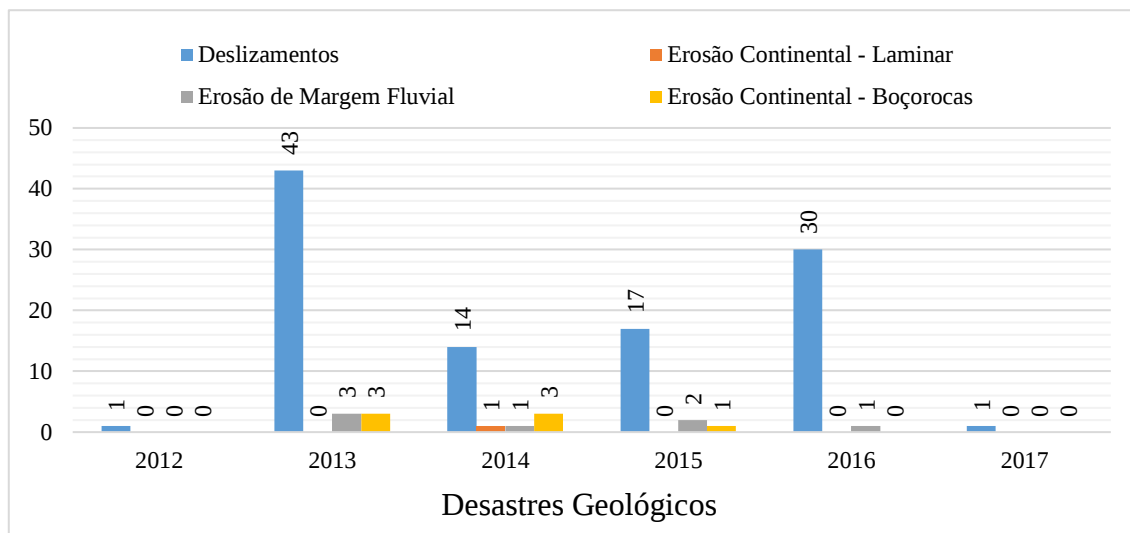


Figura 3: Frequência anual de ocorrência de desastres geológicos.

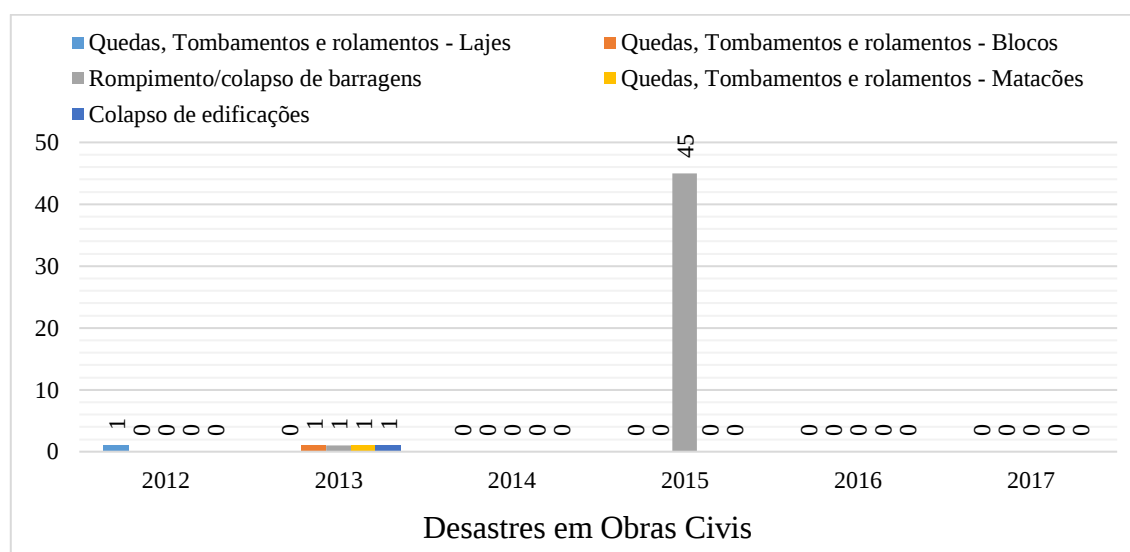


Figura 4: Frequência anual de ocorrência de desastres em obras civis.

Na Figura 6, estão apresentadas as porcentagens de cada categoria de danos às obras civis em relação a quantidade total de registros para o Grupo 1 de classes de desastres. Sendo a categoria mais afetada a de danos às estradas correspondendo a 30% das ocorrências, seguido da categoria de danos em edificações danificada em 26% dos desastres registrados e danos às obras de arte com 22%.

A quantidade de registros de cada categoria e subcategoria de danos às obras civis para o Grupo 2 de classes de desastre (Desastres Hidrológicos) estão apresentados na Figura 7.

Dentre os desastres hidrológicos, os principais tipos de danos ocorridos na categoria de danos a obras de arte foram a danificação e a

destruição de pontes. Nos danos a obras de estradas, as estradas vicinais são as mais danificadas pelos eventos registrados. Sistemas de abastecimento de água foram mais danificados em comparação com os danos à drenagem de esgoto. Nos sistemas de drenagem pluvial os bueiros são os mais afetados por desastres hidrológicos, enquanto em edificações a subcategoria danificação de edificações é mais recorrente. Já em obras de terra, os taludes são os mais afetados ao se analisar o Grupo 2 de classes de desastres. Foram registrados 285 formulários com danos não especificados ou inexistentes.

Na Figura 8, estão apresentadas as porcentagens de cada categoria de danos às obras civis em relação a quantidade total de registros para o Grupo 2 de classes de desastres. Sendo a

categoria mais afetada a de danos às estradas correspondendo a 33% das ocorrências, seguido da categoria de danos às obras de arte com 26% dos desastres registrados e danos ao sistema de drenagem pluvial com 18%. A quantidade de

registros de cada categoria e subcategoria de danos às obras civis para o Grupo 3 de classes de desastre (Desastres Geológicos) estão apresentados na Figura 9.

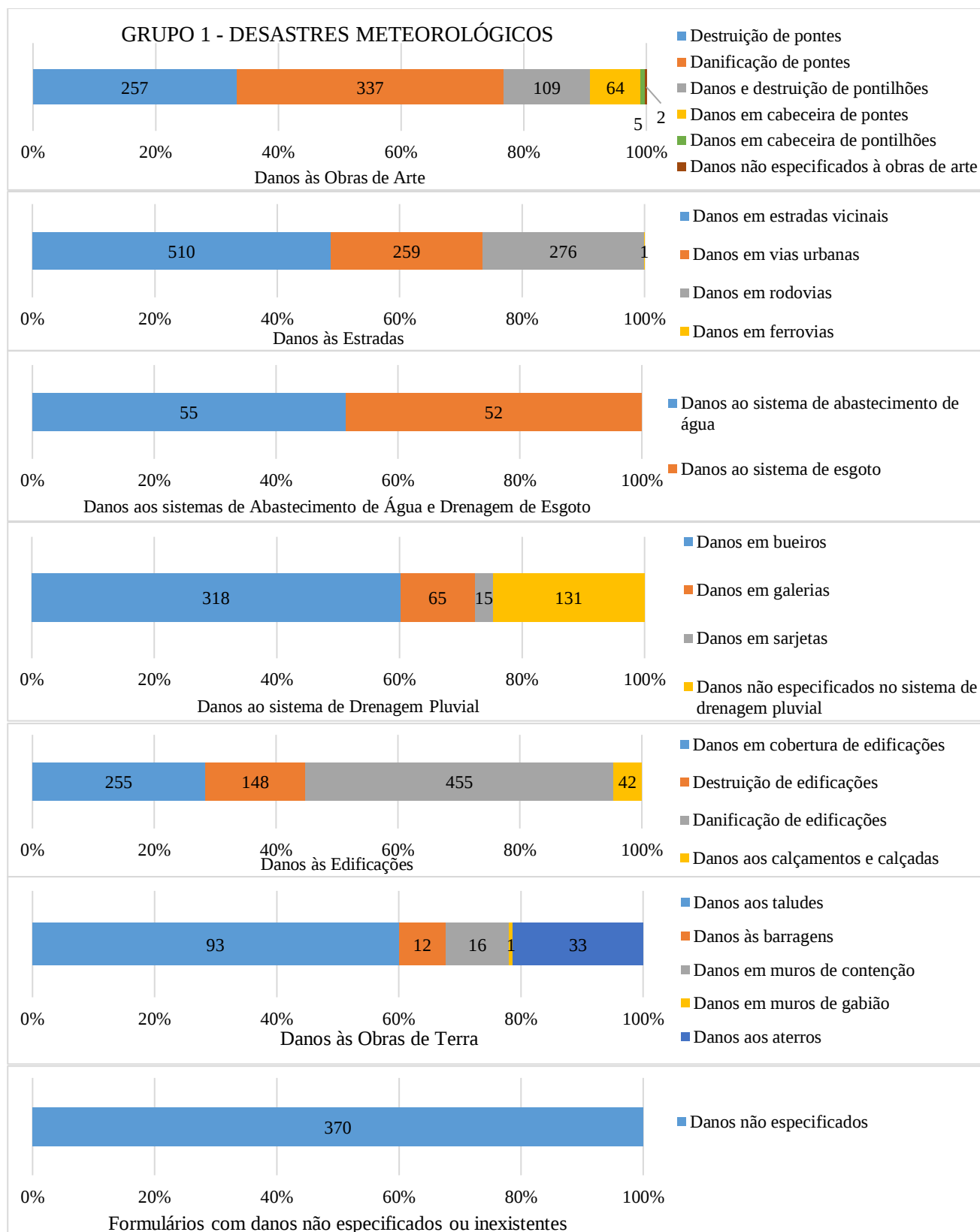


Figura 5: Quantificação das subcategorias de danos às obras civis afetadas por desastres meteorológicos.

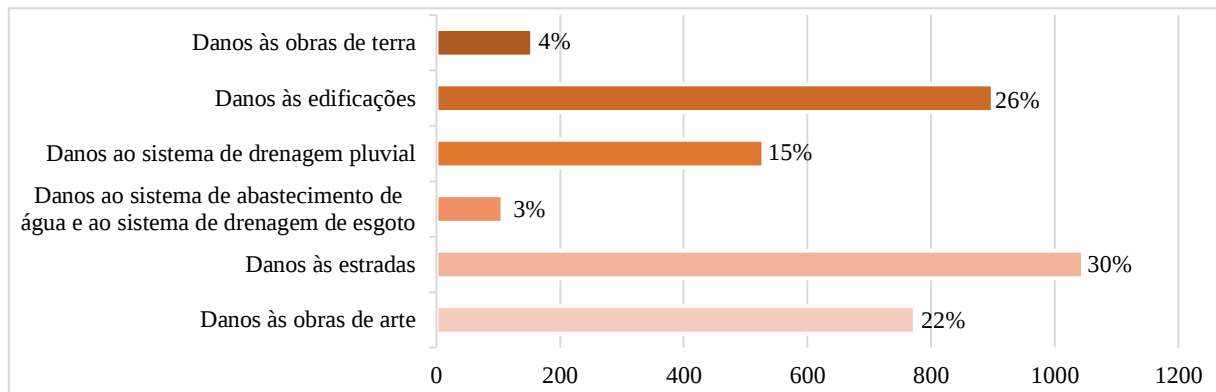


Figura 6: Porcentagem de categorias de obras danificadas por desastres meteorológicos.

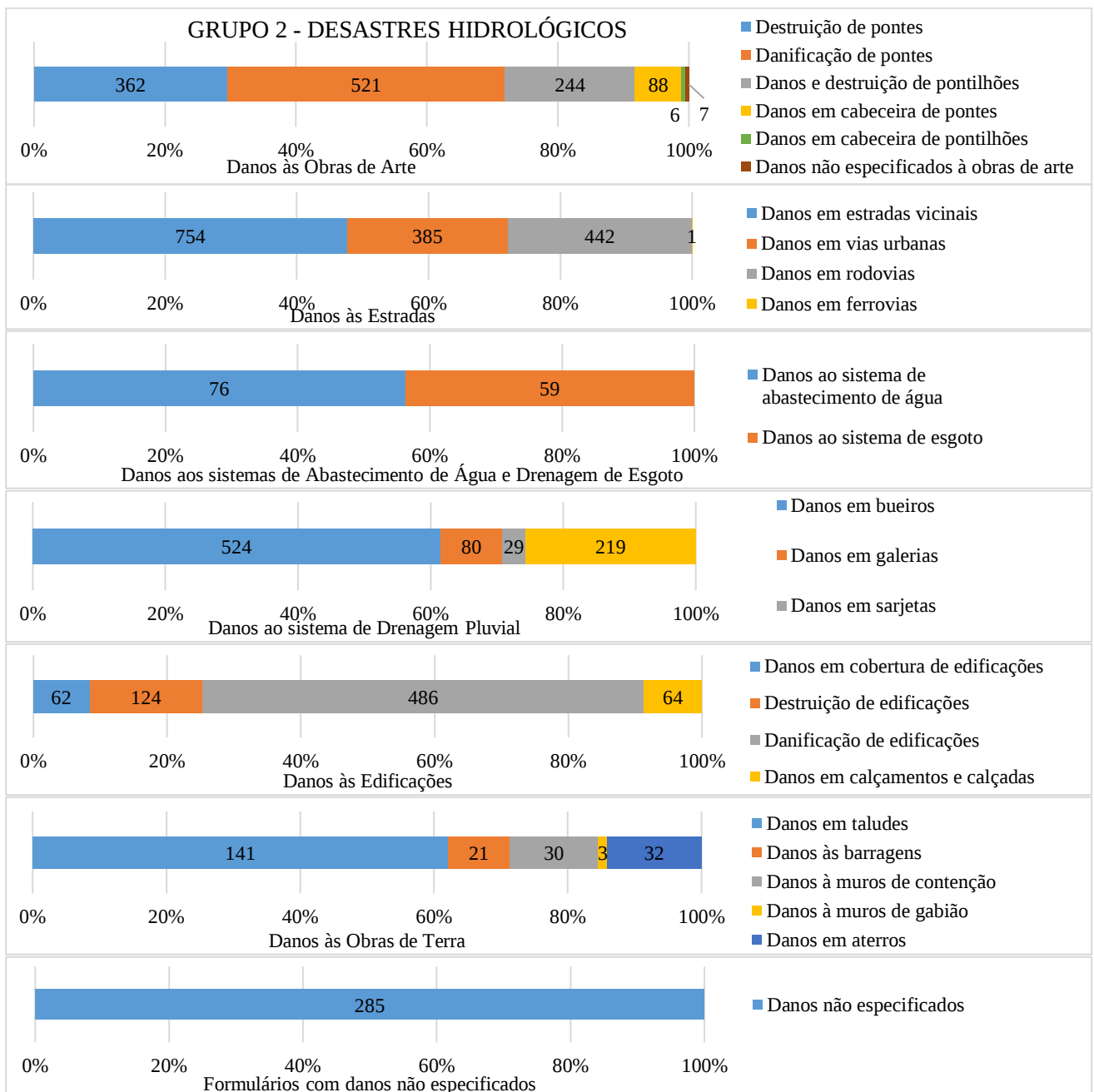


Figura 7: Quantificação das subcategorias de danos às obras civis afetadas por desastres hidrológicos.

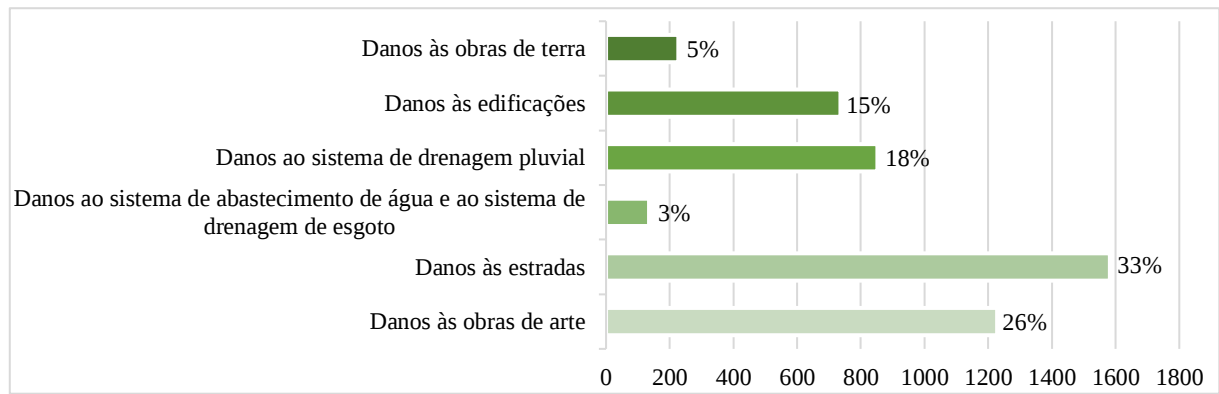


Figura 8: Porcentagens de categorias de obras danificadas por desastres hidrológicos.

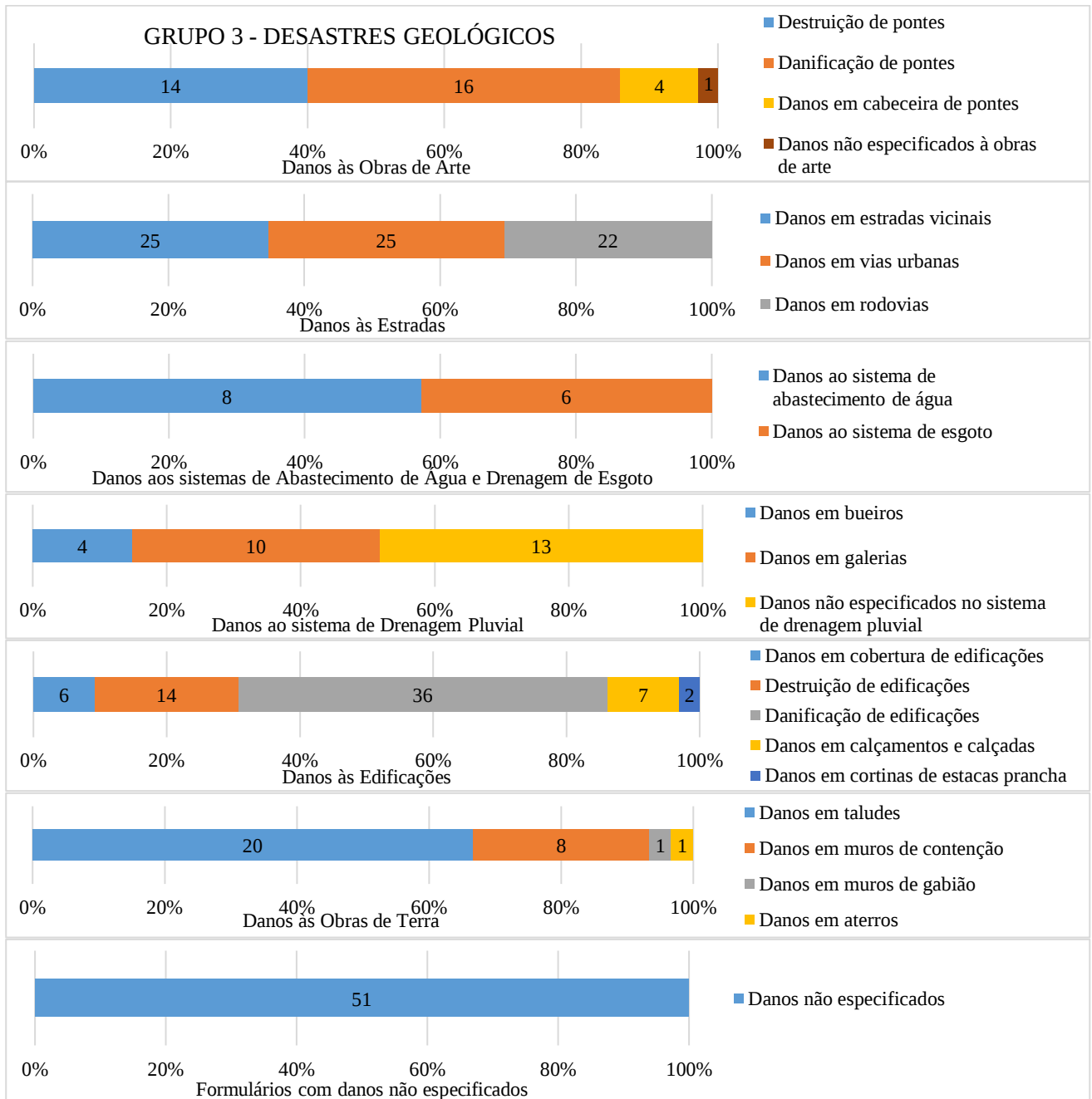


Figura 9: Quantificação das subcategorias de danos às obras civis afetadas por desastres geológicos.

Dentre os desastres geológicos, os principais tipos de danos ocorridos na categoria de danos a obras de arte foram a danificação e a destruição de pontes. Nos danos a obras de estradas, as estradas vicinais e vias urbanas são as mais danificadas pelos eventos registrados. Sistemas de abastecimento de água foram mais danificados em comparação com os danos à drenagem de esgoto. Nos sistemas de drenagem pluvial os danos não especificados no sistema de drenagem pluvial foi a subcategoria mais afetada por desastres geológicos, enquanto em edificações a subcategoria danificação de edificações é mais recorrente. Já em obras de terra, os taludes são os mais afetados ao se analisar o Grupo 3 de classes de desastres. Foram registrados 51 formulários com danos não especificados ou inexistentes.

Na Figura 10, estão apresentadas as porcentagens de cada categoria de danos às obras civis em relação a quantidade total de registros para o Grupo 3 de classes de desastres. Sendo a categoria mais afetada a de danos às estradas correspondendo a 30% das ocorrências, seguido da categoria de danos às edificações com 27% dos desastres registrados e danos às obras de arte com 14%.

A quantidade de registros de cada categoria e subcategoria de danos às obras civis para o Grupo 4 de classes de desastre (Desastres em Obras Civis) estão apresentados na Figura 11.

Dentre os desastres em obras civis, os principais tipos de danos ocorridos na categoria de danos a obras de arte foram a danificação e a destruição de pontes. Nos danos a obras de estradas, as estradas vicinais e vias urbanas são as mais danificadas pelos eventos registrados. Sistemas de drenagem de esgoto foram mais danificados em comparação com os danos ao abastecimento de água. Nos sistemas de drenagem pluvial os danos não especificados neste sistema foi a subcategoria mais afetada por desastres em obras civis, enquanto em edificações a subcategoria danificação de edificações é mais recorrente. Já em obras de terra, os taludes são os mais afetados ao se analisar o Grupo 4 de classes de desastres. Foram registrados 12 formulários com danos não especificados ou inexistentes.

Na Figura 12, estão apresentadas as porcentagens de cada categoria de danos às obras civis em relação a quantidade total de registros para o Grupo 4 de classes de desastres. Sendo a categoria mais afetada a de danos às edificações correspondendo a 30% das ocorrências, seguido da

categoria de danos às estradas com 25% dos desastres registrados e danos às obras de arte com 22%.

Para cada categoria de dano, independentemente do grupo de classe de desastre, é analisada a frequência de ocorrência de cada subcategoria de danos às obras civis, em todos os municípios que tiveram registros. Nas Figuras 13 a 19 são apresentadas as frequências de ocorrência de cada subcategoria.

Na frequência de ocorrência da categoria de danos às obras de arte (Figura 13), as principais subcategorias de danos apresentadas foram a danificação e a destruição de pontes. Entre os anos de 2013 a 2015 houve crescimento dos registros de danos em pontes, com diminuição entre 2015 a 2016. Já a quantidade dos registros de destruição de pontes manteve-se relativamente constante durante 2013 a 2015, com redução de 2015 a 2016.

Na categoria de danos às estradas (Figura 14), a principal subcategoria de dano ocorrida foi a danificação de estradas vicinais. Houve crescimento dos registros desse tipo dano entre os anos de 2013 a 2015, com diminuição de 2015 a 2016. A principal subcategoria de dano ocorrida nos danos ao abastecimento de água e drenagem de esgoto (Figura 15) foi a danificação do abastecimento de água. Houve crescimento dos registros desse tipo dano entre os anos de 2013 a 2014, mantendo-se constante entre 2014 a 2015, com diminuição de 2015 a 2016.

Para a categoria de danos ao sistema de drenagem pluvial (Figura 16), a principal subcategoria de danos ocorridos foi a danificação de bueiros. Entre os anos de 2013 a 2014, a ocorrência de danos em bueiros cresceu, porém houve redução entre 2014 a 2016. Na frequência de danos às edificações (Figura 17), a principal subcategoria de dano ocorrida foi a danificação de edificações, com crescimento dos registros de dano entre os anos de 2013 a 2015, com redução de 2015 a 2016.

A principal subcategoria de dano ocorrida nos danos às obras de terra (Figura 18) foi a danificação de taludes. Houve redução dos registros deste dano entre os anos de 2013 a 2014, com crescimento entre 2014 a 2015 e diminuição de 2015 a 2016. Na frequência de ocorrência de formulários de desastres com os danos não informados (Figura 19) houve crescimento nas ocorrências entre 2013 a 2015 e redução entre 2015 e 2016.

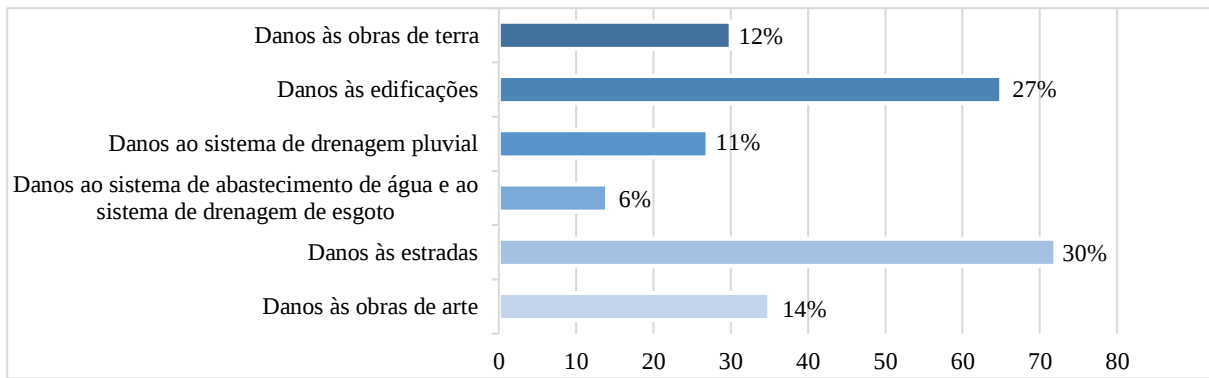


Figura 10: Porcentagem de categorias de obras danificadas por desastres geológicos.

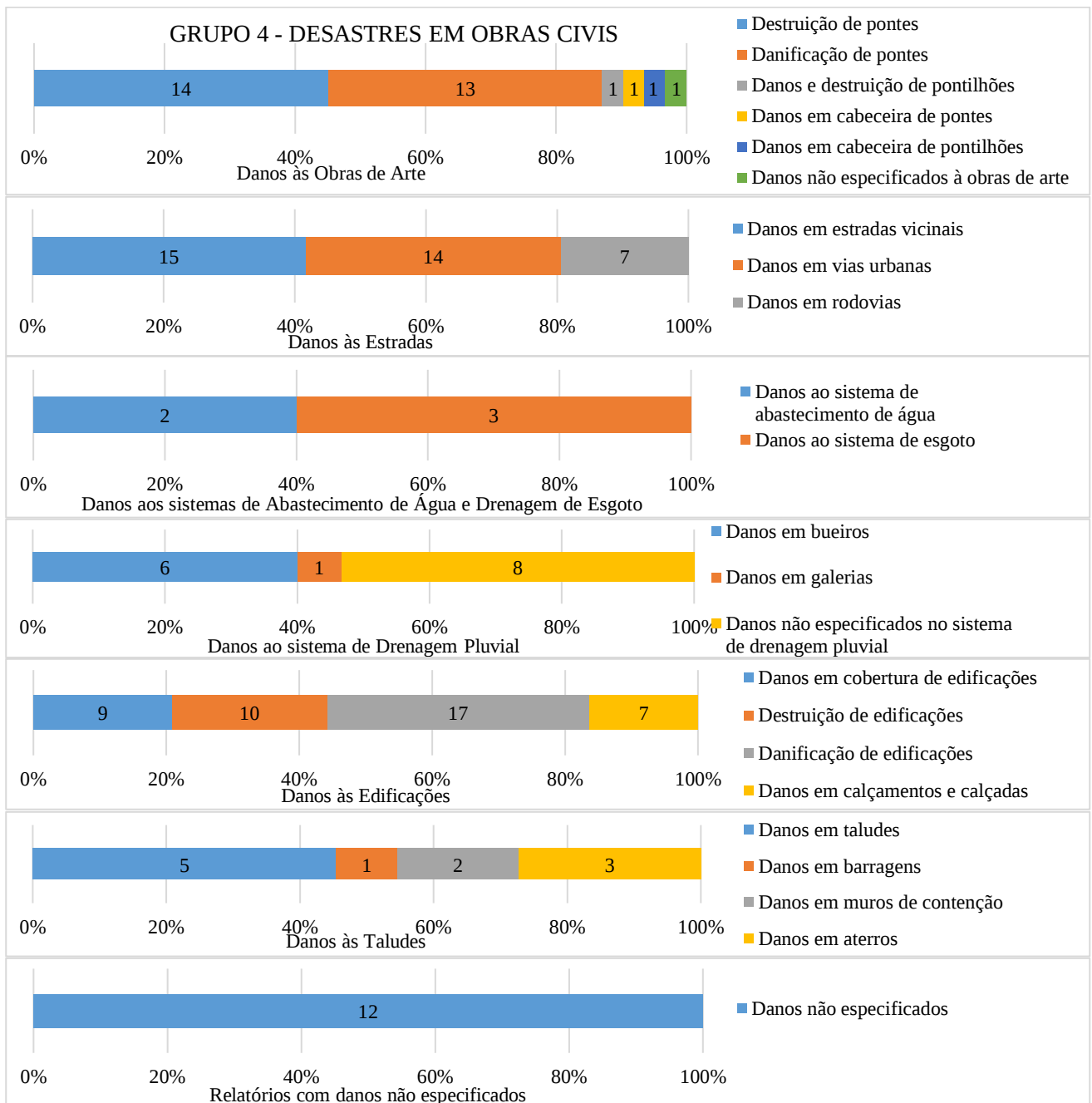


Figura 11: Quantificação das subcategorias de danos às obras civis afetadas por desastres em obras civis.

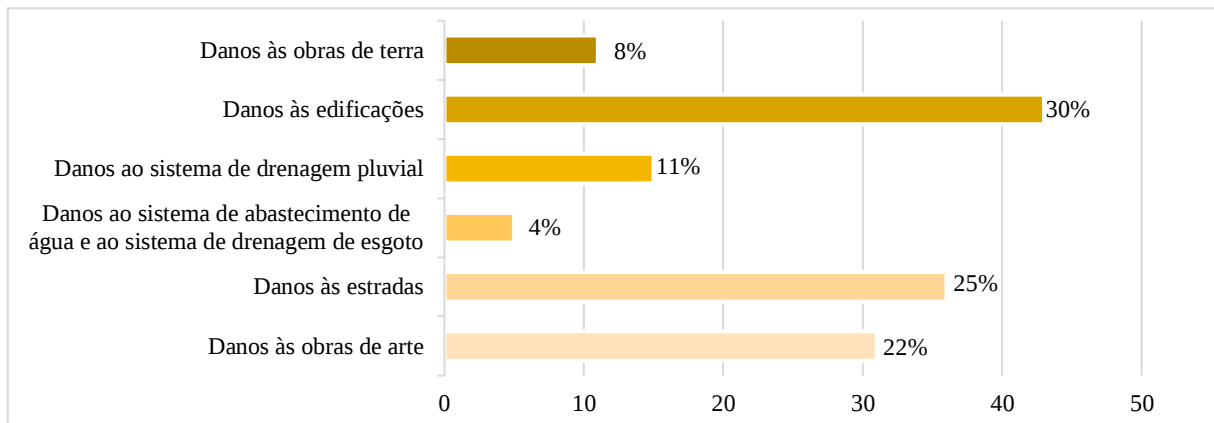


Figura 12: Porcentagem de categorias de obras danificadas por desastres em obras civis.

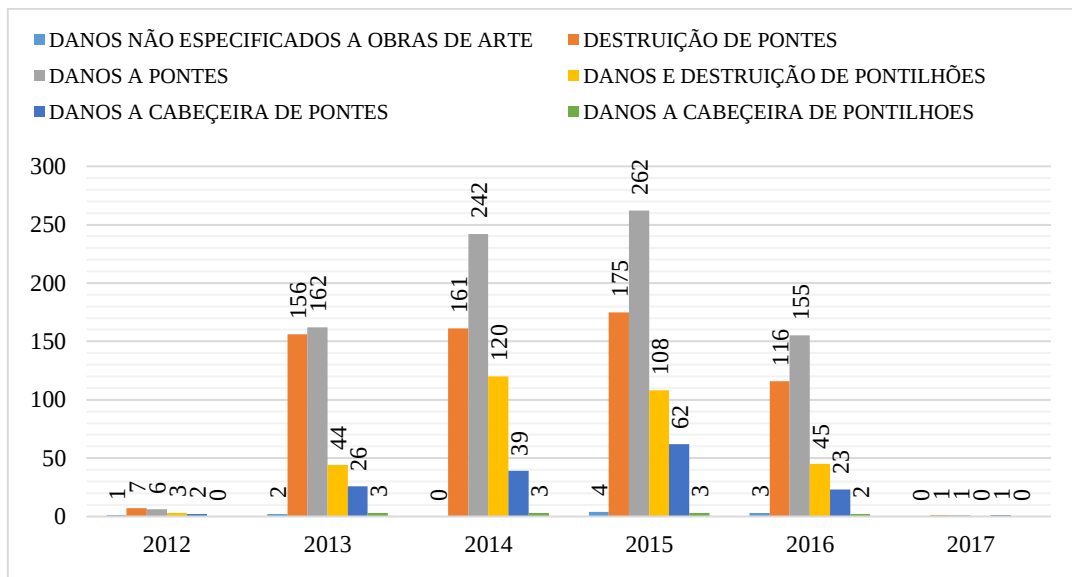


Figura 13: Frequência de ocorrência de danos às obras de arte.

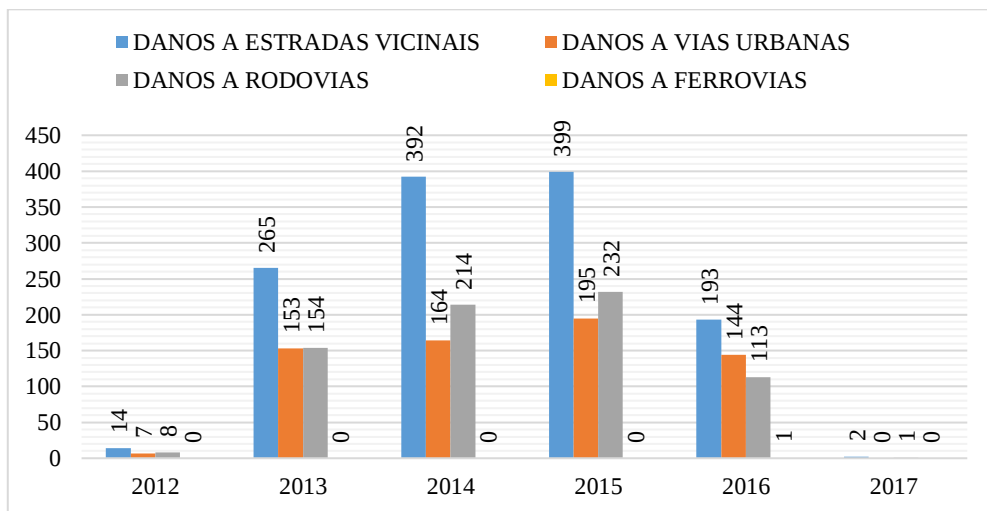


Figura 14: Frequência de ocorrência de danos às estradas.

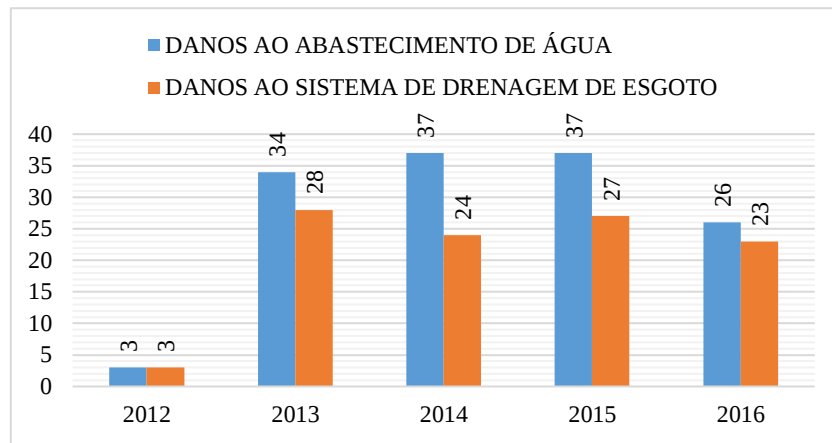


Figura 15: Frequência de ocorrência de danos ao abastecimento de água e drenagem de esgoto.

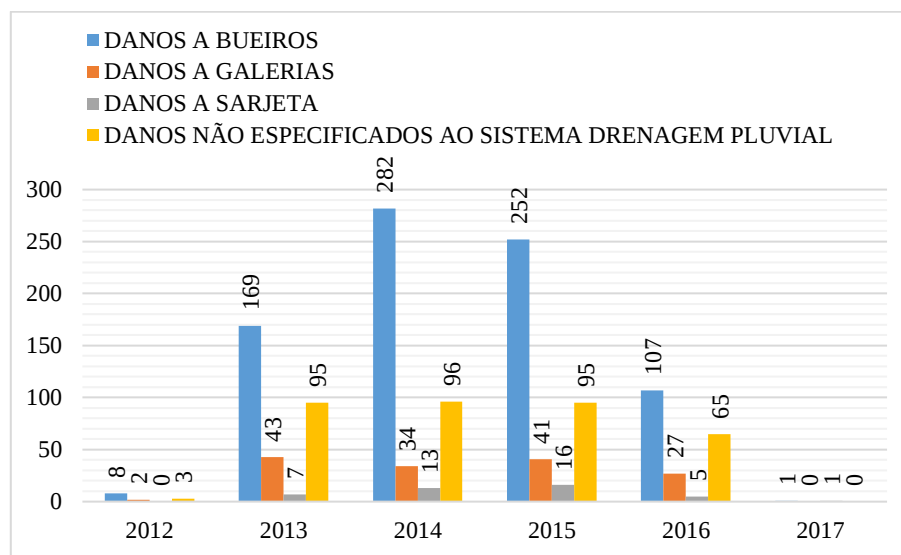


Figura 16: Frequência de ocorrência de danos ao sistema de drenagem pluvial.

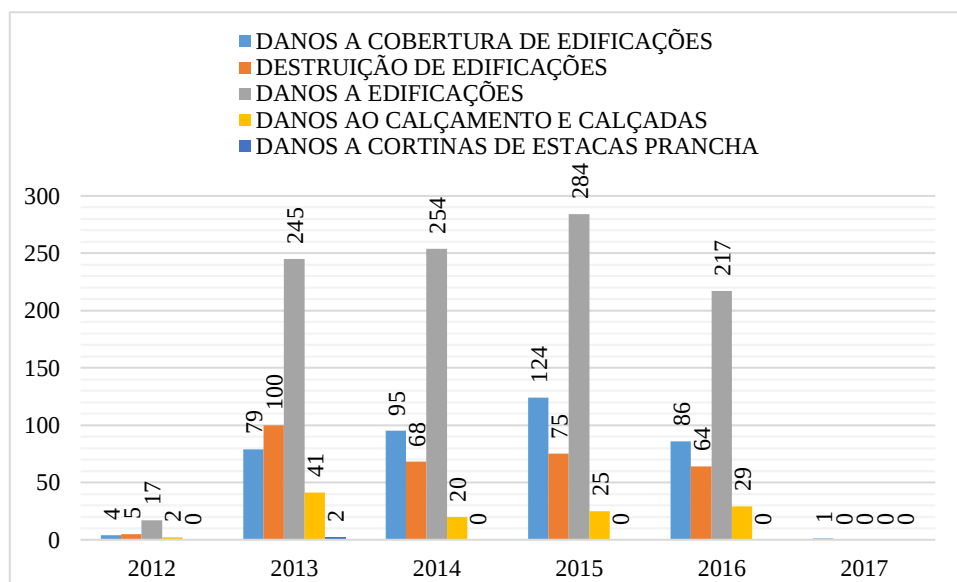


Figura 17: Frequência de ocorrência de danos às edificações.

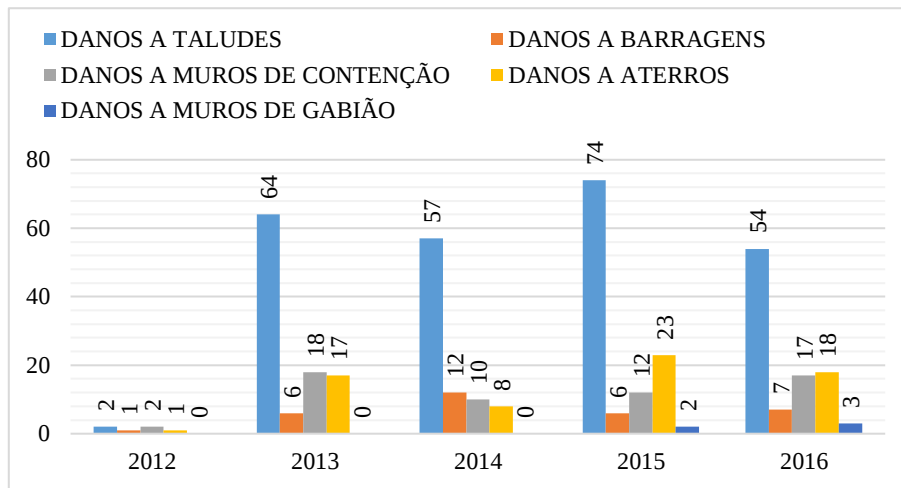


Figura 18: Frequência de ocorrência de danos às obras de terra.

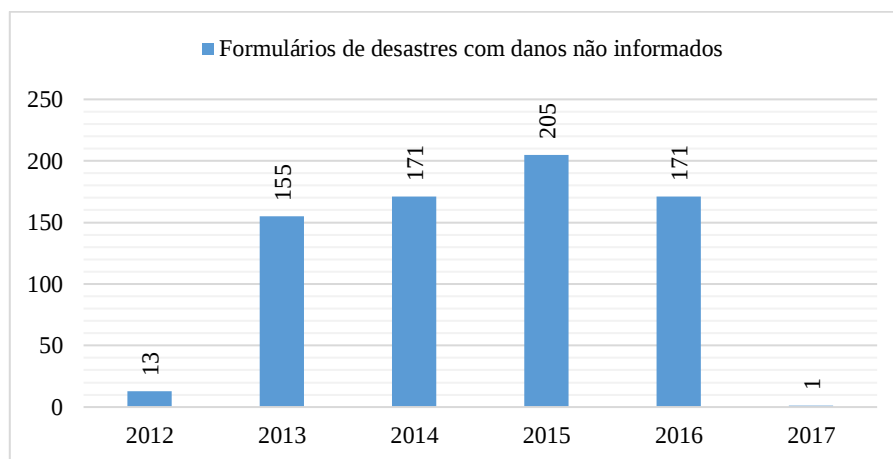


Figura 19: Frequência de registros de FIDE com danos não informados.

Ao analisar as categorias de danos às obras civis, percebe-se que as estradas e as obras de arte estão entre as principais categorias de obras civis afetadas em todos os grupos de classes de desastres, demonstrando a vulnerabilidade desses tipos de obras frente aos eventos climáticos extremos. Destacando-se as subcategorias de danos mais registradas desses tipos de obras, danificação de estradas vicinais e danificação de pontes, respectivamente, evidenciando a ineficiência da previsão das normativas de dimensionamento dos efeitos da ocorrência desses desastres.

Nota-se que a categoria danos às edificações está entre os principais tipos de obras civis afetadas pelos grupos de classes de desastres meteorológicos, geológicos e danos às obras civis. Enquanto, a categoria danos ao sistema de drenagem pluvial figura entre os principais tipos de obras afetadas pelos desastres hidrológicos.

Comparando a relação das normativas que utilizam séries de dados climáticos e/ou período de retorno em seu dimensionamento com as principais categorias de obras civis afetadas por eventos extremos, percebe-se que normativas de caráter regional, como as normativas de drenagem pluvial urbana, tendem a sofrer menos danos de eventos climáticos em comparação com outros tipos de obras como as de estradas e obras de arte que possuem normativas de caráter nacional. Sendo a área de estudo caracterizada pelo clima tropical e por diferentes regimes hidroclimáticos, as normativas nacionais tendem a ser menos eficientes quando comparadas com normativas regionais.

O projeto de infraestrutura urbana envolve estimar cargas de projeto que representam a natureza e a magnitude dos eventos, cargas ou forças externas que a infraestrutura deve resistir, fornecendo segurança e capacidade de manutenção razoáveis ao longo de sua vida útil (Mishra &

Sadhu, 2023). Devido ao caráter do projeto de infraestruturas possuírem uma longa duração de utilização, o Comitê de Adaptação as Mudanças Climáticas da Sociedade Americana de Engenheiros Civis (2015) sugerem a consideração dos efeitos das mudanças climática no dimensionamento de novas obras de infraestrutura, incluindo as previsões das demandas a longo prazo como um fator no dimensionamento do projeto. Durante a análise comparativa de normativas vigentes e canceladas (não-vigentes) de dimensionamento de obras de infraestrutura de drenagem americanas, Lopez-Cantu e Samaras (2018) verificaram variação na estimativa dos valores de períodos de retorno entre normativas mais antigas e as mais atuais em alguns estados dos Estados Unidos. Segundo os autores, devido ao aumento da frequência de precipitações, as normativas de dimensionamento de obras de engenharia que consideram dados climáticos demandam revisão, a fim de incorporar os efeitos desse crescente nas precipitações.

Por meio da análise comparativa das frequências de ocorrências de cada classe de desastres (Figuras 1 a 4) com a frequência das categorias de danos a obras civis (Figuras 13 a 19) ao longo dos anos analisados, foi possível observar que houve semelhança na frequência da quantidade de registros de desastres hidrológicos e registros de danos às obras de arte, danos à estradas e danos ao sistema de drenagem pluvial. Ambas as quantidades de registros apresentam aumento significativo de 2013 a 2014, relativa estabilidade entre 2014 e 2015 e diminuição da quantidade de registros de 2015 a 2016. Enquanto as categorias danos ao sistema de abastecimento de água e drenagem de esgoto, danos à edificações e danos às obras de terra não apresentaram variações significativas do número de registros de danos ao longo do período analisado.

Barros e Evans (1997) discutem que o projeto de infraestrutura se baseia em condições pré-estabelecidas e, portanto, não considera como o desenvolvimento afetará as condições locais ao longo do tempo, sendo uma demanda a ser suprida visto que ainda há um distanciamento entre a ciência climática e a prática em engenharia. O crescente processo de urbanização sem considerar os efeitos das mudanças climáticas nas obras urbanas pode impactar tanto o meio urbano, quanto o rural, acarretando problemas aos recursos econômicos, ambientais, educacionais, sanitários, de segurança e locomoção dos cidadãos. Dessa forma, ao considerar os efeitos climáticos na concepção de obras futuras, a engenharia de infraestrutura evita possíveis danificações e/ou

destruição das estruturas frente a ocorrência de desastres climáticos.

Tradicionalmente, as normativas e diretrizes de projeto empregam distribuição estatística das cargas extremas, extrapolação de dados de carga climática anteriores e análise de valor extremo estacionário para estimar as cargas futuras as quais infraestrutura estará submetida (Steenbergen et al., 2009). Diversos estudos foram realizados com o objetivo de calibrar equações e metodologias de normativas de projeto com base em análises de confiabilidade (Bartlett et al., 2003; Wang et al., 2016). No entanto, sob os atuais cenários de mudanças climáticas vinculadas às ações humanas, as falhas nesses padrões de projeto tradicionais são visíveis, assim como os impactos na capacidade de manutenção e durabilidade das estruturas projetadas empregando essas normativas tradicionais (Mishra & Sadhu, 2023).

No estudo de Lopez-Cantu e Samaras (2018), que verificou as diferenças dos períodos de retorno de precipitação entre os sucessivos documentos que consideram dados de precipitação dos Estados Unidos durante o período de 1961 a 2000, concluiu que essas diferenças foram estatisticamente significativas em mais de 90% da área de estudo. De acordo com os autores, essas diferenças nos documentos apontam que algumas obras de infraestruturas de águas pluviais instaladas na área de estudo podem estar mal projetadas para as condições climáticas atuais e futuras, visto que podem ter sido implementadas antes da última atualização de diretrizes.

Em outras regiões com clima tropical como no continente africano, os desastres hidrometeorológicos dos últimos anos, segundo Tall et al. (2013), atingiram frequência e magnitude crescente, impactando os meios de subsistência locais. A fim de avaliar as perdas por desastres meteorológicos regionais da China, Xie et al. (2014) analisaram o comportamento de diferentes desastres meteorológicos ao longo de 2004 a 2010, com base nas características geográficas chinesas, e verificaram as perdas regionais pelos tipos de desastres ocorridos.

Ao considerar dados climáticos no dimensionamento, os critérios de projeto devem, portanto, ser revisados a fim de considerar as possíveis mudanças induzidas pelas mudanças climáticas (Douglas et al., 2017). A relevância da mudança e da variabilidade climática devem, segundo Barros e Evans (1997), ser estabelecidas no contexto entre os perigos naturais e a engenharia de infraestrutura.

Mailhot e Duchesne (2010) propõem que a definição de novos critérios de dimensionamento deve fazer parte de uma estratégia de adaptação global a fim de estabelecer um nível de serviço aceitável a longo prazo. No entanto, os autores complementam que isso é um desafio, visto que, ainda vale a consideração das incertezas sobre as projeções de mudanças em intensas precipitações. Um procedimento proposto, com base nos resultados obtidos seria a revisão dos critérios de dimensionamento de obras de infraestrutura da região Centro-Sul brasileira, com destaque às obras de estradas, obras de arte e sistemas de drenagem pluvial.

Devido a significativa quantidade de acidentes ocorridas devido a extremos nos últimos anos, Loredou-Souza et al. (2019) sugerem que há demanda por revisão do Código Eólico Brasileiro, bem como a necessidade de reforçar a sua utilização na concepção de edificações. A nova versão do código, segundo os autores, deveria implementar um modelo de vento de tempestade e incorporar uma atualização de dados climáticos.

De acordo com Mishra & Sadhu (2023), a incorporação necessária da mudança climática no design, manutenção e adaptação no dimensionamento de obras de infraestrutura pode ser efetivamente realizada se houver um resumo detalhado das descobertas sobre o impacto da mudança climática na infraestrutura civil, em suas diferentes fases de vida, e os extremos ambientais que as impactam. Essa premissa fortalece a discussão e os resultados apresentados no presente estudo, uma vez que evidencia que primeiro devemos apresentar os impactos que os extremos climáticos estão causando, para então serem tomadas atitudes vinculadas às alterações necessárias nas diretrizes e normas técnicas.

Para adequar os padrões climatológicos de dimensionamento, considerando a influência das variações do clima nas quantidades de ocorrências de desastres atuais e futuros, o governo brasileiro terá um desafio em adequar os interesses dos investidores que tendem a desvalorizar os custos iniciais de projeto mais rigorosos que poderiam garantir um ciclo de vida maior para as obras e reduzir os danos decorrentes de desastres climáticos. Sendo assim, recomenda-se a revisão regular dos padrões de dimensionamento ao considerar os potenciais impactos das mudanças climáticas às obras civis durante sua vida útil. Ao mesmo tempo, o governo deve incentivar essas atualizações, a fim de adequar periodicamente as normativas de dimensionamento dessas obras.

Conclusões

A partir das análises realizadas, foi possível concluir que os principais desastres meteorológicos são decorrentes de tempestades locais/convectivas com chuvas intensas e vendaval. Já para desastres hidrológicos, a principal quantidade de ocorrências ao longo do tempo foram as relacionadas às inundações. Dentre os desastres geológicos a classe de desastre que obteve a maior quantidade de registros foi a de deslizamentos. E no agrupamento de desastres em obras civis a principal classe de desastre foi a do rompimento/colapso de barragens.

As categorias de danos às estradas e às obras de arte estão entre as principais categorias de obras civis afetadas em todos os grupos de classes de desastres, demonstrando a vulnerabilidade desses tipos de obras frente aos eventos climáticos extremos. Destacando-se as subcategorias de danos mais registradas desses tipos de obras, danificação de estradas vicinais e danificação de pontes, respectivamente, evidenciando a ineficiência da previsão das normativas de dimensionamento dos efeitos da ocorrência desses desastres.

A categoria danos às edificações está entre os principais tipos de obras civis afetadas pelos grupos de classes de desastres meteorológicos, geológicos e danos às obras civis. Enquanto, a categoria danos ao sistema de drenagem pluvial figura entre os principais tipos de obras afetadas pelos desastres hidrológicos.

As normativas de caráter regional, como as de drenagem pluvial urbana, tendem a sofrer menos danos de eventos climáticos em comparação com outros tipos de obras como as de estradas e obras de arte que possuem normativas de caráter nacional. É imprescindível a revisão regular das normas e padrões de dimensionamento na região Centro-Sul ao considerar os potenciais impactos das mudanças climáticas às obras civis durante sua vida útil.

Agradecimentos

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, processo número: 433511/2018-4.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Fundação Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- Agência Nacional De Águas, 2016. *Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens. Diretrizes para a Elaboração de Projeto de Barragens*. ANA. Brasília.
- Almeida, A. K., de Almeida, I. K., Guarienti, J. A., Finck, L. F., & Gabas, S. G., 2023. Time of concentration model for non-urban tropical basins based on physiographic characteristics and observed rainfall responses. *Water Resources Management*, 37(14), 5493–5534. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03616-8>
- Almeida, A. K., de Almeida, I. K., Guarienti, J. A., & Gabas, S. G., 2022. The time of concentration application in studies around the world: a review. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(6), 8126–8172. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16790-2>
- Almeida, L. V. F., Kameya, L. C., Correa, J. M., Almeida, A. K., & de Almeida, I. K., 2021. Multivariate analysis of factors influencing the peak flow and runoff volume in the Cerrado and Atlantic Forest biomes in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09408-0>
- Almeida, I. K., Almeida, A. K., Steffen, J. L., & Alves Sobrinho, T., 2016. Model for Estimating the Time of Concentration in Watersheds. *Water Resources Management*, 30(12), 4083–4096. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1383-x>
- Almeida, I. K., Almeida, A. K., Anache, J. A. A., Steffen, J. L., & Alves Sobrinho, T., 2014. Estimation on time of concentration of overland flow in watersheds: a review. *Geosciences= Geociências*, 33(4), 661-671.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989. *NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais*. ABNT. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992a. *NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água*. ABNT. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992b. *NBR 12266: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água esgoto ou drenagem urbana - procedimento*. ABNT. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. *NBR 8681: versão corrigida: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento*. ABNT. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009. *NBR 11682: Estabilidade de taludes*. ABNT. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013. *NBR 6123: versão corrigida 2: Forças devidas ao vento em edificações*. ABNT. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017. *NBR 13028: Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos*. ABNT. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019. *NBR 15527: Água De Chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas para fins não potáveis*. ABNT. Rio de Janeiro.
- Barros, A. P., & Evans, J. L., 1997. Designing for climate variability. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 123(2), 62–65. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1052-3928\(1997\)123:2\(62\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1052-3928(1997)123:2(62))
- Bartlett, F. M., Hong, H. P., & Zhou, W., 2003. Load factor calibration for the proposed 2005 edition of the National Building Code of Canada: Companion-action load combinations. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(2), 440-448.
- Bathrellos, GD, Karymbalis, E., Skilodimou, HD, Gaki-Papanastassiou, K., & Baltas, EA., 2016. Avaliação de risco de inundação urbana na bacia da cidade metropolitana de Atenas, Grécia. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-14. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-015-5157-1>
- Belo Horizonte, 2016. *Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte*. Prefeitura Municipal De Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/2018/documentos/volumei_final_pms2016_2019_agosto.pdf
- Berlemann, M., & Steinhardt, M. F., 2017. Climate change, natural disasters, and migration a survey of the empirical evidence. *CESifo Economic Studies*, 63(4), 353-385. <https://doi.org/10.1093/cesifo/ifx019>
- Brasil. Ministério da Integração Nacional, 2012. Instrução Normativa n.º 001, de agosto de 2012. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de

- anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 30 ago.
- Brasil, 1996. *Manual de projeto de obras-de-arte especiais*. Ministério Dos Transportes, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). 225p. Rio de Janeiro.
- Brasil, 1999. *Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários*. Ministério Dos Transportes, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Rio de Janeiro.
- Brasil, 2005a. *IPR – 715: Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério Dos Transportes, Departamento Nacional De Infraestrutura Rodoviária (DNIT). Rio de Janeiro.
- Brasil, 2005b. *IPR – 717: Diretrizes básicas para a elaboração de estudos e projetos rodoviários*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério Dos Transportes, Departamento Nacional De Infraestrutura Rodoviária (DNIT). Rio de Janeiro.
- Brasil, 2006a. *IPR – 719: Manual de pavimentação*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério Dos Transportes, Departamento Nacional De Infraestrutura Rodoviária (DNIT). Rio de Janeiro.
- Brasil, 2006b. *IPR – 724: Manual de drenagem de rodovias*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério Dos Transportes, Departamento Nacional De Infraestrutura Rodoviária (DNIT). Rio de Janeiro.
- Brasil, 2006c. *IPR – 726: Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério Dos Transportes, Departamento Nacional De Infraestrutura Rodoviária (DNIT). Rio de Janeiro.
- Brasil, 2010. *IPR – 739: Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários/instruções para acompanhamento e análise*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério Dos Transportes, Departamento Nacional De Infraestrutura Rodoviária (DNIT). Rio de Janeiro.
- BRASIL, 2015. *Instrução De Serviço Ferroviário (ISF) – 210: projeto de drenagem*. Ministério Dos Transporte, Departamento Nacional De Infraestrutura Rodoviária (DNIT). Rio de Janeiro.
- Buhaug, H., 2010. Climate not to blame for African civil wars. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(38), 16477–16482. <https://doi.org/10.1073/pnas.1005739107>
- Campo Grande, 2015. *Lei n. 12.680, de 9 de julho de 2015. Plano Diretor De Drenagem Urbana Do Município De Campo Grande*. Prefeitura Municipal De Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.
- Canabrava Neto, E. G., Almeida, A. K., Leite, I. R., Guarienti, J. A., & de Almeida, I. K., 2021. Telhado Verde: Alternativa Sustentável para a Drenagem do Escoamento Superficial. *Mix Sustentável*, 7(2), 125–136. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.125-136>
- Committee on Adaptation to a Changing Climate, 2015. Adapting infrastructure and civil engineering practice to a changing climate (J. R. Olsen, Ed.). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784479193>
- Costa, C. M. da S. B., Almeida, A. K., Fenerick, T. F., & de Almeida, I. K., 2022. Analysis of indicators of surface water pollution in Atlantic Forest preservation areas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(3). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09687-7>
- Costa Rocha, P. A., de Sousa, R. C., de Andrade, C. F., & da Silva, M. E. V., 2012. Comparison of seven numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy generation in the northeast region of Brazil. *Applied Energy*, 89(1), 395–400. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.003>
- Curitiba, 2017. *Plano Diretor de Drenagem Urbana*. Secretaria Municipal de Obras Públicas, Prefeitura Municipal De Curitiba, Paraná, Brasil.
- De Paola, F., Giugni, M., Pugliese, F., & Romano, P., 2018. Optimal design of LIDs in urban stormwater systems using a Harmony-search decision support system. *Water Resources Management*, 32(15), 4933–4951. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2064-8>
- Debortoli, N. S., Camarinha, P. I. M., Marengo, J. A., & Rodrigues, R. R., 2017. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. *Natural Hazards (Dordrecht, Netherlands)*, 86(2), 557–582. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2705-2>
- Douglas, E., Jacobs, J., Hayhoe, K., Silka, L., Daniel, J., Collins, M., Alipour, A., Anderson, B., Hebson, C., Mecray, E., Mallick, R., Zou, Q., Kirshen, P., Miller, H., Kartez, J., Friess, L., Stoner, A., Bell, E., Schwartz, C., & Thomas, N., 2017. Progress and Challenges in Incorporating Climate Change Information into Transportation Research and Design. *Journal of Infrastructure Systems*, 23(4), 04017018. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)jis.1943-555x.0000377](https://doi.org/10.1061/(asce)jis.1943-555x.0000377)

- Eletrobrás-SA., 2003. *Critérios de projeto civil de usinas hidrelétricas*. Centrais Elétricas Brasileiras. Rio de Janeiro.
- Esmaeili, M., & Barbato, M., 2022. Performance-based hurricane engineering under changing climate conditions: General framework and performance of single-family houses in the US. *Journal of Structural Engineering* (New York, N.Y.), 148(10). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0003447](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0003447)
- Fang, J., Lau, C. K. M., Lu, Z., Wu, W., & Zhu, L., 2019. Natural disasters, climate change, and their impact on inclusive wealth in G20 countries. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(2), 1455–1463. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3634-2>
- Goiânia, 2014. *Lei nº 9.511, de 15 de dezembro de 2014. Estabelece Regras de Controle de Águas Pluviais e Drenagem*. Secretaria Municipal da Casa Civil, Prefeitura De Goiânia, Goiás, Brasil.
- Guarienti, J. A., Kaufmann Almeida, A., Menegati Neto, A., de Oliveira Ferreira, A. R., Ottonelli, J. P., & Kaufmann de Almeida, I., 2020. Performance analysis of numerical methods for determining Weibull distribution parameters applied to wind speed in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42(100854), 100854. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100854>
- Haque, C. E., & Burton, I., 2005. Adaptation Options Strategies for Hazards and Vulnerability Mitigation: An International Perspective. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10(3), 335–353. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-0050-y>
- Herrera-Pantoja, M., & Hiscock, K. M., 2008. The effects of climate change on potential groundwater recharge in Great Britain. *Hydrological Processes*, 22(1), 73–86. <https://doi.org/10.1002/hyp.6620>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. País perdeu 7,5% de suas florestas entre 2000 e 2016. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/22977-pais-perdeu-7-5-de-suas-florestas-entre-2000-e-2016>>. Acesso em 04/05/2023
- IPCC, 2007. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (996 pp.) Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Joinville, 2011. *Plano Diretor De Drenagem Urbana (PDDU) Da Bacia Hidrográfica Do Rio Cachoeira – Manual De Drenagem*. Secretaria de Administração e Planejamento, Prefeitura Municipal De Joinville, Santa Catarina, Brasil.
- Kalogiannidis, S., Kalfas, D., Chatzitheodoridis, F., & Lekkas, E., 2023. Role of Governance in Developing Disaster Resiliency and Its Impact on Economic Sustainability. *Journal of Risk and Financial Management*, 16(3), 151. <https://doi.org/10.3390/jrfm16030151>
- Kaufmann de Almeida, I., Kaufmann Almeida, A., Garcia Gabas, S., & Alves Sobrinho, T., 2017. Performance of methods for estimating the time of concentration in a watershed of a tropical region. *Hydrological Sciences Journal*, 62(14), 2406–2414. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1384549>
- Leite, I. R., Finck, L. F., Almeida, A. K., Correa, J. M., Costa, C. M. S. B., & de Almeida, I. K., 2023. Spatial distribution and temporal trends in rainfall in Mato Grosso do Sul, Brazil. *MIX Sustentável*, 9(5), 165–181. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.165-181>
- Leonard, M., Westra, S., Phatak, A., Lambert, M., van den Hurk, B., McInnes, K., Risbey, J., Schuster, S., Jakob, D., & Stafford-Smith, M., 2014. A compound event framework for understanding extreme impacts: A compound event framework. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Climate Change*, 5(1), 113–128. <https://doi.org/10.1002/wcc.252>
- Lima, C. A. S., Heck, H. A. D., Almeida, A. K., Marques, L. da S., de Souza, R. S., & de Almeida, I. K., 2022. Multicriteria analysis for identification of flood control mechanisms: Application to extreme events in cities of different Brazilian regions. *International Journal of Disaster Risk Reduction: IJDRR*, 71(102769), 102769. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102769>
- Lopez-Cantu, T., & Samaras, C., 2018. Temporal and spatial evaluation of stormwater engineering standards reveals risks and priorities across the United States. *Environmental research letters*, 13(7), 074006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac696>
- Loredou-Souza, A. M., Lima, E. G., Vallis, M. B., Rocha, M. M., Wittwer, A. R., & Oliveira, M. G. K., 2019. Downburst related damages in Brazilian buildings: Are they avoidable? *Journal of Wind Engineering and Industrial*

- Aerodynamics, 185, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.11.022>
- Mahmoud, H., 2020. Barriers to gauging built environment climate vulnerability. *Nature Climate Change*, 10(6), 482–485. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0742-z>
- Mailhot, A., & Duchesne, S., 2010. Design criteria of urban drainage infrastructures under climate change. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(2), 201–208. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000023](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000023)
- Martius, O., Pfahl, S., & Chevalier, C., 2016. A global quantification of compound precipitation and wind extremes. *Geophysical Research Letters*, 43(14), 7709–7717. <https://doi.org/10.1002/2016gl070017>
- Melo, S. K., Almeida, A. K., & de Almeida, I. K., 2023. Multicriteria analysis for flood risk map development: a hierarchical method applied to Brazilian cities. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(33), 80311–80334. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27856-8>
- Mendonça, F., Danni-Oliveira, I. M., 2017. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. Oficina de textos.
- Mijalković, S., & Cvetković, V., 2013. Vulnerability of critical infrastructure by natural disasters. *national critical infrastructure protection—regional perspective*, University of Belgrade— Faculty of Security Studies, Institute for Corporative Security Studies in Ljubljana, Belgrade, 91-102.
- Mishra, V., & Sadhu, A., 2023. Towards the effect of climate change in structural loads of urban infrastructure: A review. *Sustainable Cities and Society*, 89, 104352. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104352>
- Oliveira, A. C. C., Almeida, A. K., Guarienti, J. A., Lima, C. A. S., de Almeida, L. V. F., de Souza, R. S., & de Almeida, I. K., 2021. Eventos extremos de precipitação e o risco de falha associado em projetos hidráulicos no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *MIX Sustentável*, 7(2), 147–160. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.147-160>
- Olsonoski, A., & Gianoli, A., 2024. Water management for flood control in New Orleans: Key factors contributing to institutional inertia. *Cities*, 147, 104793.
- Orcesi, A., O'Connor, A., Diamantidis, D., Sykora, M., Wu, T., Akiyama, M., Alhamid, A. K., Schmidt, F., Pregnotato, M., Li, Y., Salarieh, B., Salman, A. M., Bastidas-Arteaga, E., Markogiannaki, O., & Schoefs, F., 2022. Investigating the effects of climate change on structural actions. *Structural Engineering International*, 32(4), 563–576. <https://doi.org/10.1080/10168664.2022.2098894>
- Peduzzi, P., 2019. The Disaster Risk, Global Change, and Sustainability Nexus. *Sustainability*, 11(4), 957. <https://doi.org/10.3390/su11040957>
- Porto Alegre, 2005. *Plano Diretor De Drenagem Urbana - Manual de Drenagem Urbana*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento De Esgotos Pluviais, Prefeitura Municipal De Porto Alegre. Porto Alegre, Rio Grande Do Sul, Brasil.
- Rio de Janeiro, 2019. *Instruções Técnicas Para Elaboração De Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico De Sistemas De Drenagem Urbana – 2ª versão*. Subsecretaria de gestão de bacias hidrográficas–Rio Águas, Secretaria Municipal de Obras, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Rocha, L. A., Almeida, A. K., Marques, L. da S., & Almeida, I. K., 2022. Influência da estimativa do tempo de concentração no dimensionamento de um reservatório de detenção. *Revista Valor*, 7, e-7008. <https://doi.org/10.22408/rev702022614e-7008>
- São Paulo, 1999a. *Diretrizes de Projeto de hidráulica e Drenagem. DP-H01, Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos – período de retorno*. Superintendências de projetos e de obras. Prefeitura Municipal De São Paulo, São Paulo, Brasil.
- São Paulo, 1999b. *Diretrizes de Projeto de hidráulica e Drenagem. DP-H02, Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos – equação de chuvas*. Superintendências de projetos e de obras. Prefeitura Municipal De São Paulo, São Paulo, Brasil.
- São Paulo, 2012. *Manual Municipal de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais*. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, Prefeitura Municipal De São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Schipper, E. L. F., 2020. Maladaptation: when adaptation to climate change goes very wrong. *One Earth*, 3(4), 409-414. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.014>
- Seneviratne, S.I., Nicholls, N., Easterling, D., et al. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. Em : Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., et al (Ed.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working

- Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (pp. 109–230). Cambridge University Press.
- Shen, G., & Hwang, S. N., 2019. Spatial–Temporal snapshots of global natural disaster impacts Revealed from EM-DAT for 1900–2015. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 912–934.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1552630>
- Steenbergen, R. D. J. M., Geurts, C. P. W., & Bentum, van, C. A., 2009. Climate change and its impact on structural safety. *Heron*, 54(1), 3–35.
- Tall, A., Patt, A. G., & Fritz, S., 2013. Reducing vulnerability to hydro-meteorological extremes in Africa. A qualitative assessment of national climate disaster management policies: Accounting for heterogeneity. *Weather and Climate Extremes*, 1, 4–16.
<https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.07.007>
- Vitória, 2008. *Plano Diretor De Drenagem Urbana Do Município De Vitória*. Secretaria Municipal de Obras, Prefeitura Municipal De Vitória, Espírito Santo, Brasil.
- Wang, X., Xu, L.-L., Cui, S.-H., & Wang, C.-H., 2020. Reflections on coastal inundation, climate change impact, and adaptation in built environment progresses and constraints. *Advances in Climate Change Research*, 11(4), 317–331.
<https://doi.org/10.1016/j.accre.2020.11.010>
- Wang, Y., Schweckendiek, T., Gong, W., Zhao, T., & Phoon, K. K., 2016. Direct probability-based design methods. In *Reliability of geotechnical structures in ISO2394* (pp. 211–244). CRC Press.
- Xie, N., Xin, J., & Liu, S., 2014. China’s regional meteorological disaster loss analysis and evaluation based on grey cluster model. *Natural Hazards (Dordrecht, Netherlands)*, 71(2), 1067–1089.
<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0662-6>
- Yang, J., Sun, H., Wang, L., Li, L., & Wu, B., 2013. Vulnerability evaluation of the highway transportation system against meteorological disasters. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*, 96, 280–293.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.035>
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Sefry, S. A., 2015. Remote sensing-based studies coupled with field data reveal urgent solutions to avert the risk of flash floods in the Wadi Qus (east of Jeddah) Kingdom of Saudi Arabia. *Natural Hazards*, 75(2), 1465–1488.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-014-1383-1>
- Zhu, W., Wang, S., Luo, P., Zha, X., Cao, Z., Lyu, J., ... & Nover, D., 2022. A quantitative analysis of the influence of temperature change on the extreme precipitation. *Atmosphere*, 13(4), 612.
<https://doi.org/10.3390/atmos13040612>
- Zscheischler, J., & Seneviratne, S. I., 2017. Dependence of drivers affects risks associated with compound events. *Science Advances*, 3(6), e1700263.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700263>