



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DEFESA E SEGURANÇA CIVIL**



CAROLINA ORLEANS STEPHÁ

**CHUVAS SEVERAS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: REGISTROS, ANÁLISE E
PROJEÇÕES DE EVENTOS EXTREMOS E GERENCIAMENTO DE RISCO**

Niterói
2020

CAROLINA ORLEANS STEPHÁ

**CHUVAS SEVERAS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: REGISTROS, ANÁLISE E
PROJEÇÕES DE EVENTOS EXTREMOS E GERENCIAMENTO DE RISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Dissertação, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de Concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Instrumentos de Gestão para a Redução de Riscos de Desastres.

Orientador:

Prof. Wanderson Luiz Silva, D.Sc.

Niterói

2020

CAROLINA ORLEANS STEPHÁ

**CHUVAS SEVERAS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: REGISTROS, ANÁLISE E
PROJEÇÕES DE EVENTOS EXTREMOS E GERENCIAMENTO DE RISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Dissertação, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de Concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Instrumentos de Gestão para a Redução de Riscos de Desastres.

Banca Examinadora:

Prof. Wanderson Luiz Silva, D.Sc.

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Profa. Antenora Maria Da Mata Siqueira, D.Sc.

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Profa. Claudine Pereira Dereczynski, D.Sc.

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Niterói

2020

*“A verdadeira viagem do descobrimento
não consiste em procurar novas
paisagens, mas em ver com novos olhos.”*

Marcel Proust

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Céus, que até aqui têm me ajudado.

A minha mãe e melhor amiga, Denise Coutinho Orleans, que me deu a vida, me criou no caminho do bem e me concedeu inspiração e meios para vencer.

Ao meu pai de coração, Adriano Rodrigues, pelo carinho, apoio e incentivo nessa jornada, por todos os sábados em que acordou cedo para me levar até Niterói.

A minha avó e agora “estrela”, Dalva Orleans, que certamente guia meus passos de onde estiver. Ao meu tio Luiz Cláudio, exemplo de superação e força, por todo o afeto.

Aos meus amigos, Douglas, Mariana, Pedro, João, Felipe, Mariane, Vivian e Rodrigo. Vocês sempre foram a certeza da mão estendida.

Ao meu namorado, Paulo Roberto, que tornou o fim dessa caminhada mais agradável.

Aos meus colegas de SulAmérica Seguros, Concremat Engenharia e IRB Brasil RE, pelo incentivo e torcida.

Ao meu orientador, Wanderson Luiz, sempre presente e participativo, que se dedicou para que esse trabalho desse certo. Sua objetividade e sua determinação foram preciosas para que eu não perdesse o foco e finalizasse o trabalho.

Aos colaboradores do Centro de Operações Rio, Nelson Lima e Juliana Hermsdorff, que se dispuseram a me ajudar com dados e orientações.

“Ninguém é bom demais, ninguém é bom sozinho e é preciso agradecer”.

Muito obrigada a todos.

RESUMO

A cidade do Rio de Janeiro convive recorrentemente com transtornos e tragédias originadas por chuvas extremas. Ao longo de sua história e ainda nos dias atuais, o município vivencia diversas situações de alagamentos, inundações e deslizamentos de terra. Esses desastres podem impactar diretamente a população, com perda de vidas e danos patrimoniais. A Defesa Civil é o órgão que atua ativamente diante desses episódios adversos, sendo responsável por desenvolver ações preventivas, de socorro, assistenciais, reabilitadoras e reconstrutivas, buscando minimizar os impactos e restabelecer a normalidade social. Nesse contexto, o presente trabalho buscou traçar uma climatologia através dos registros de precipitação de 21 anos da cidade do Rio de Janeiro (1998 – 2018) elaborada por meio de índices específicos com dados de 28 pluviômetros do Sistema Alerta Rio. Além disso, foram selecionados alguns eventos significativos de chuvas fortes para análise de impactos e detalhamento do aperfeiçoamento da Defesa Civil perante às ocorrências. Por fim, projeções futuras de chuvas intensas baseadas em cenários do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foram avaliadas para o município no decorrer do século XXI através de um modelo climático. Essa pesquisa demonstra que os episódios de chuvas severas são diferentes em cada uma das regiões da cidade e que fatores topográficos influenciam acentuadamente os acumulados pluviométricos. Os maiores limiares foram aferidos em bairros próximos a maciços, como a Tijuca (Zona Norte), a Grota Funda (Zona Oeste) e a Rocinha (Zona Sul), principalmente durante os meses de verão. A diferença da precipitação total anual entre a Rocinha e outros bairros alcança até 700 mm, sendo essa uma região bastante vulnerável. A investigação acerca de três eventos críticos (ocorridos em 1998, 2010 e 2019) demonstram como a cidade é gravemente atingida em termos estruturais e de mobilidade e como a Defesa Civil vem aprimorando sua atuação, principalmente em termos preventivos, por meio de um sistema de alerta e alarme, conscientização e educação da população, entre outros projetos. As projeções futuras indicam um aumento expressivo das precipitações intensas em relação às médias históricas, reforçando ainda mais a relevância das ações de prevenção e preparação para esses eventos extremos.

Palavras-chave: Climatologia, Defesa Civil, Precipitação, Rio de Janeiro, Vulnerabilidade

ABSTRACT

The city of Rio de Janeiro recurrently lives with disorders and tragedies caused by extreme precipitation. Throughout its history and even today, the city has experienced several situations of flooding and landslides. These disasters directly impacts the population, with deaths and property damages. Civil Defense actively acts, facing these adverse episodes, being responsible for developing preventive, relief, assistance, rehabilitation and reconstructive actions, trying to minimize the impacts and restore social normality. In this context, the present paper sought to trace a climatology through the records of precipitation of 21 years of the city of Rio de Janeiro (1998 - 2018) elaborated by means of specific indexes with data of 28 pluviometers of the Alerta Rio System. In addition, some significant heavy rain events were selected to analyze impacts and detail the improvement of Civil Defense in the face of occurrences. Finally, future projections of intense precipitation based on scenarios from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) were assessed for the municipality during the 21st century using a climate model. This research demonstrates that the episodes of severe rain are different in each of the regions of the city and that topographical factors strongly influence the accumulated rainfall. The highest thresholds were measured in neighborhoods close to massifs, such as Tijuca (North Zone), Grotta Funda (West Zone) and Rocinha (South Zone), mainly during the summer months. The difference in total annual rainfall between Rocinha and other neighborhoods reaches up to 700 mm, which is a very vulnerable region. The investigation of three critical events (occurred in 1998, 2010 and 2019) demonstrates how the city is severely affected in terms of structure and mobility and how the Civil Defense has been improving its performance, mainly in preventive terms, through a system of alert and alarm, awareness and education of the population, among other projects. Future projections indicate a significant increase in intense precipitation in relation to historical averages, further reinforcing the relevance of prevention and preparation actions for these extreme events.

Keywords: Climatology, Civil Defense, Precipitation, Rio de Janeiro, Vulnerability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Ponto de Alagamento na área da Leopoldina, no centro da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Estadão, 2010).	2
Figura 1.2 – Ações de Proteção e Defesa Civil e suas etapas (Fonte: Defesa Civil do Estado de Minas Gerais)	3
Figura 2.1 – Capa do Jornal O Globo, 11 de janeiro de 1966 (Fonte: Acervo O Globo).	9
Figura 2.2 – Climatologia da precipitação média mensal (mm/mês) para o período de 1997-2016, a partir de 32 postos pluviométricos do Alerta Rio no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) (Fonte: Pristo <i>et al.</i> 2018).....	14
Figura 2.3 – Principais Maciços da Cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Mapa Turístico da Riotur).	15
Figura 2.4 – Área aterrada sobre o mar, lagoas, pântanos e mangues, sobre a cidade do Rio de Janeiro, em 2000 (Fonte: Andreatta, 2006).....	17
Figura 2.5 – Comunidade da Rocinha, zona sul da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Agência O Globo)	18
Figura 2.6 – Panfletos e cartazes explicativos para moradores e escolas (Fonte: Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro)	22
Figura 2.7 – Tendências observadas nos acumulados pluviométricos associados a chuvas intensas (mm/ano) no Estado do Rio de Janeiro entre 1961 e 2012 (Fonte: Luiz-Silva e Dereczynski, 2014)	26
Figura 2.8 – Emissões de CO ₂ conforme os cenários RCPs do AR5 do IPCC. Áreas hachuradas em cinza claro (escuro) indicam os percentis 90 (98) da literatura. As linhas pontilhadas simbolizam os antigos cenários do IPCC (Fonte: Van Vuuren et al., 2011).....	28
Figura 2.9 – Mudanças na (a) temperatura média (°C) e na (b) precipitação média (%) da superfície do globo em 2081-2100 em relação ao período 1986-2005, conforme os cenários RCP2.6 (esquerda) e RCP8.5 (direita) do AR5 do IPCC (Fonte: IPCC, 2013).	29
Figura 2.10 – Detalhamento da resolução dos modelos climáticos globais e regionais através da técnica de redução de escala (downscaling dinâmico). (Giorgi, 1990).....	30
Figura 3.1 – Mapa com a delimitação das zonas da cidade do Rio de Janeiro.(Wikipedia 2020)	31
Figura 3.2 – Localização dos postos pluviométricos da cidade do Rio de Janeiro por zona ..	36
Figura 3.3 – Página eletrônica inicial da plataforma PROJETA	40
Figura 4.1 Acumulados Pluviométricos Médios Anuais (PRCPTOT) na cidade do Rio de Janeiro para as Zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) Média das Zonas	43
Figura 4.2 Acumulados Pluviométricos Médios Mensais (PRCPTOTmês) na cidade do Rio de Janeiro para as Zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) Média das Zonas	46
Figura 4.3 Frequência Média Anual de Dias com Precipitação Acima de 30mm (R30mm) na cidade do Rio de Janeiro para as zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) Média das Zonas	49
Figura 4.4 Percentil 95 dos Totais Pluviométricos Diários (R95p - Chuvas Intensas) na cidade do Rio de Janeiro para as zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) Média das Zonas	52

Figura 4.5 Volumes Máximos de Chuvas em 24h na cidade do Rio de Janeiro (<i>RX1day – Chuvas Extremas</i>) para as zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) Média das Zonas	55
Figura 4.6 Volumes Máximos de Chuvas em 5 Dias Consecutivos (<i>RX5days</i>) na cidade do Rio de Janeiro para as zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) Média das Zonas	58
Figura 4.7 – Enchente após forte temporal em janeiro de 1998, na comunidade Rio das Pedras, em Jacarepaguá, na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Agência O Globo, 1998)	60
Figura 4.8 – Acumulados diários de precipitação no mês de janeiro de 1998 em 30 estações pluviométricas da rede telemétrica da GeoRio (Fonte: Barcellos, 2009)	61
Figura 4.9 – Capa do Jornal O Globo em 09 de janeiro de 1998 (Fonte: Agência O Globo, 1998)	62
Figura 4.10 – Imagem do satélite GOES-12 sobre a região Sudeste do Brasil às 18h do dia 05 de abril de 2010 (Fonte: CPTEC)	64
Figura 4.11 – Volumes de chuva acumulados na Zona Norte da cidade Rio de Janeiro entre 16h do dia 05/04/2010 e 04h do dia 06/04/2010	64
Figura 4.12 – Panorama de consequências das chuvas de 2010 na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Revista Veja, edição 2160, 14 de abril de 2010).....	66
Figura 4.13 – Defesa Civil atuando no resgate às vítimas no Morro do Bumba, na cidade de Niterói, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, em abril de 2010 (Fonte: Jornal O Globo, 10 de abril de 2010)	67
Figura 4.14 – Centro de Operações Rio (COR), localizado no bairro Cidade Nova, na Zona Central da Cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Centro de Operações Rio)	68
Figura 4.15 – Radar Meteorológico do Sumaré da Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Sistema Alerta Rio)	70
Figura 4.16 – Imagem fornecida pelo radar Sumaré do Alerta Rio (Fonte: Sistema Alerta Rio).	71
Figura 4.17 – Sirenes do Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Fortes (A2C2) (Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro).....	72
Figura 4.18 – Sala de Situação do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – CEMADEN (Fonte: Cemaden).....	73
Figura 4.19 – Projeto Defesa Civil nas Escolas na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro).	75
Figura 4.20 – Volumes de Chuvas acumulados na Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro entre 16h do dia 08/04/2019 e 09/04/2019	79
Figura 4.21 – Fatores que causaram a chuva extrema em abril de 2019 no município do Rio de Janeiro (Fonte: Climatempo).....	80
Figura 4.22 – Imagem do radar meteorológico do sistema Alerta Rio às 17h30 do dia 08 de abril de 2019 (Fonte: Sistema Alerta Rio).	81
Figura 4.23 – Imagem de satélite GOES-16 sobre o Estado do Rio de Janeiro às 20h30 do dia 08 de abril de 2019 (Fonte: Climatempo StormGeo)	81
Figura 4.24 – Automóveis parcialmente submersos no bairro do Jardim Botânico, na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro, durante a chuva forte do dia 08 de abril de 2019 (Fonte: G1) ..	82
Figura 4.25 – Atuação da Defesa Civil após o deslizamento de terra no Morro da Babilônia, no bairro do Leme, na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: O Globo).	83

Figura 4.26 – Mensagem de texto da Defesa Civil nas Chuvas de abril de 2019 (Fonte: Folha de São Paulo).....	84
Figura 4.27 – Agentes da Defesa Civil durante treinamento do projeto Defesa Civil Itinerante (Fonte: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro).	85
Figura 4.28 – Projeções futuras do indicador PRCPTOT na cidade do Rio de Janeiro	86
Figura 4.29 – Projeções futuras do indicador R95p na cidade do Rio de Janeiro	87
Figura 4.30 – Projeções futuras do indicador R30mm na cidade do Rio de Janeiro	88
Figura 4.31 – Projeções futuras do indicador RX1day na cidade do Rio de Janeiro	89
Figura 4.32 – Projeções futuras do indicador RX5days na cidade do Rio de Janeiro	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Principais danos decorrentes de inundações em áreas urbanas (Fonte: Cançado, 2009).....	2
---	----------

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Riscos Naturais Hidrológicos segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE, 2019).....	7
Tabela 3.1 – Relação de todos os postos pluviométricos da cidade do Rio de Janeiro gerenciados pela Fundação Geo-Rio (Fonte: Alerta Rio).....	32
Tabela 3.2 – Informações das estações pluviométricas analisadas nessa pesquisa	34
Tabela 4.1 – Os 10 (dez) maiores acumulados pluviométricos em 24h na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Alerta Rio)	63
Tabela 4.2 – Classificação de risco de deslizamento de encostas por volume acumulado de chuvas (Fonte: Alerta Rio).....	65
Tabela 4.3 – Critérios de acionamento das sirenes do Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Fortes – A2C2 (Fonte: Resposta ao Ofício da CPI das Enchentes, Res. 1450/2019 nº 031/2019)	72
Tabela 4.4 – Acumulados pluviométricos relacionados à chuva extrema do dia 08 de abril de 2019 na cidade do Rio de Janeiro. Os percentuais se referem às chuvas acumuladas em 4h em comparação com a média do mês de abril.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS

A2C2	Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Fortes
ACI	Assessoria de Controle Interno
AR5	<i>Fifth Assessment Report</i>
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro
CCCEN	Centro de Coordenação e Controle de Emergência Nuclear
CEAMA	Coordenação Especial de Ações do Meio Ambiente
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
CEMADEN-RJ	Centro Estadual de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENAD	Centro Nacional De Gerenciamento de Riscos e Desastres
CEP	Código de Endereçamento Postal
CEPEDEC	Centro de Estudos e Pesquisas em Defesa Civil
CESTAD	Centro Estadual de Administração de Desastre
CESTGEN	Centro Estadual de Gerenciamento de Emergência Nuclear
CET-Rio	Companhia de Engenharia de Tráfego da Prefeitura do Rio de Janeiro
CLIVAR	<i>Research Program Climate Variability and Predictability</i>
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
Comlurb	Companhia Municipal de Limpeza Urbana da Cidade do Rio de Janeiro
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
COR	Centro de Operações Rio
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DGDEC-RJ	Departamento Geral de Defesa Civil
EBC	Empresa Brasileira de Comunicação
ECI	Evento de Chuva Intensa
EDC	Escola de Defesa Civil
ETCCDMI	<i>Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices</i>
FUNCAP	Fundo Especial para Calamidades Públicas

GEACAP	Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEO-RIO	Fundação Instituto de Geotécnica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICTDEC	Instituto Científico e Tecnológico de Defesa Civil
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MST	Modelos do Sistema Terrestre
Munic	Pesquisa de Informações Municipais
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONG	Organização Não Governamental
PIB	Produto Interno Bruto
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PRCPTOT	Acumulado Pluviométrico Anual
PRF	Polícia Rodoviária Federal
PROJETA	Projeções de Mudança do Clima Para a América do Sul Regionalizadas Pelo Modelo ETA
R30mm	Dias do ano com Chuvas Maiores que 30 mm
R95p	Total Pluviométrico Anual dos Dias em que PREC for maior que o Percentil 95 da Climatologia
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
REDEC	Regionais de Defesa Civil
RIOTUR	Empresa de Turismo do Município do Rio de Janeiro
RX1day	Maior Volume de Chuvas em 1 Dia
RX5days	Maior Volume de Chuvas em 5 Dias Consecutivos
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SEOP	Secretaria Municipal de Ordem Pública
SINDEC	Sistema Nacional de Defesa Civil
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SMAC	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SMS	<i>Short Message Service</i>

SUBPDEC	Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil
SUBSEDEC	Subsecretaria de Estado de Defesa Civil
SUOP	Superintendência Operacional
UNFCCC	<i>United Nation Framework Convention on Climate Change</i>

SUMÁRIO TEMÁTICO

1	INTRODUÇÃO.....	01
1.1	Considerações Iniciais	01
1.2	Contextualização da Dissertação.....	03
1.3	Objetivos do Estudo	05
1.4	Relevância da Pesquisa.....	05
1.5	Organização do Trabalho.....	06
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	07
2.1	Panorama Histórico de Eventos de Chuvas Extremas no Rio de Janeiro.....	07
2.2	Utilização de Dados Pluviométricos em Pesquisas Científicas	11
2.3	Aspectos Fisiográficos das Chuvas e Inundações no Rio de Janeiro	14
2.4	Fatores Antrópicos Associados a Eventos de Alagamento e Inundação.....	16
2.5	Atuação da Defesa Civil no Município do Rio de Janeiro	19
2.5.1	Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro.....	19
2.5.2	Defesa Civil Estadual do Rio de Janeiro	22
2.6	Projeções para Chuvas Intensas no Município do Rio de Janeiro	24
2.6.1	Tendências Observadas	25
2.6.2	Projeções Futuras	27
3	METODOLOGIA	31
3.1	Dados Pluviométricos da Cidade do Rio de Janeiro (1998-2018).....	31
3.2	Indicadores de Chuvas Extremas e Análise do Clima Presente	32
3.2.1	Acumulados Pluviométricos Médios Anuais e Mensais (PRCPTOT).....	37
3.2.2	Total Anual de Dias com Precipitação acima de 30mm (R30mm).....	38
3.2.3	Percentil 95 dos Totais Pluviométricos Diários (R95d).....	38
3.2.4	Volume de Chuvas Máximo em 1 Dia (RX1day).....	38
3.2.5	Volume de Chuvas Máximo em 5 Dias Consecutivos (RX5day).....	39
3.3	Estudos de Eventos de Forte Precipitação no Município do Rio de Janeiro	39
3.4	Tendências e Projeções das Chuvas Intensas no Clima Futuro	39
4	RESULTADOS.....	42

4.1	Análise da Climatologia de Chuvas Fortes na Cidade do Rio de Janeiro (1998-2018).....	42
4.1.1	Acumulados Pluviométricos Médios Anuais (PRCPTOT)	42
4.1.2	Acumulados Pluviométricos Mensais Médios (PRCPTOTmês)	44
4.1.3	Frequência Média Anual dos Dias com Chuvas acima de 30mm (R30mm).....	47
4.1.4	Percentil 95 dos Totais Pluviométricos Diários (R95p - Chuvas Intensas).....	50
4.1.5	Volumes Máximos de Chuva em 24h (RX1day)	53
4.1.6	Volumes Máximos de Chuva em 5 Dias Consecutivos (RX5days).....	56
4.2	Avaliação de Episódios de Precipitações Intensas ocorridos no Rio de Janeiro e Ações de Defesa Civil	59
4.2.1	O Rio de Janeiro em Colapso com as Chuvas de Janeiro de 1998.....	59
4.2.2	As Consequências e as Ações após as Chuvas de Abril de 2010.....	62
4.2.3	Rio de Janeiro em Crise com as Chuvas de Abril de 2019	78
4.3	Projeções Futuras	85
5	CONCLUSÕES	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

O Rio de Janeiro é uma das cidades de maior relevância no Brasil e no mundo, especialmente no que diz respeito à população, à economia e ao turismo. É a segunda maior metrópole brasileira, atrás apenas do município de São Paulo. Está entre as maiores economias do país, representando 5,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) e frequentemente representa a imagem do país no exterior, visto que é a cidade brasileira mais conhecida no cenário global.

Nos últimos trinta anos, a capital fluminense foi o município que mais sediou eventos de grande importância no âmbito internacional, com milhares de feiras, congressos, eventos culturais, religiosos e esportivos, tendo como destaque nesse período o Congresso Internacional sobre o Meio Ambiente (Eco-92), os jogos Pan Americanos de 2007, os Jogos Mundiais Militares de 2011, a Rio+20 em 2012, a Jornada Mundial da Juventude em 2013, a Copa do Mundo (como uma das cidades sede) em 2014 e os Jogos Olímpicos de 2016. Além disso, têm eventos anuais em seu calendário de fama internacional, como o Carnaval e o Réveillon de Copacabana.

O verão da cidade do Rio de Janeiro é caracterizado por muitos dias de sol e calor, mas essa é também a estação mais crítica em termos de chuvas extremas (Dereczynski *et al.*, 2017; Pristo *et al.* 2018). Historicamente, o município sofre com os efeitos, muitas vezes devastadores, dos eventos de chuvas fortes característicos dessa estação, como é o caso de desastres de origem hidrológica, tais como alagamentos (Figura 1.1), inundações e enxurradas causando inúmeras perdas e danos, sendo eles tangíveis ou intangíveis, diretos ou indiretos, conforme Caçado (2009) (Quadro 1.1).

Usualmente, tais chuvas intensas também são acompanhadas de outros fenômenos meteorológicos e geológicos, como descargas elétricas, ventos fortes e escorregamento de massa (deslizamento de terra). Essas circunstâncias agravam ainda mais as consequências dos eventos de precipitação severa, muitas vezes gerando cenários críticos na cidade. No entanto, é importante ressaltar que não há uma relação direta entre desastres e os eventos de inundações, enchentes ou alagamentos. Em áreas não habitadas, por exemplo, essas ocorrências não são consideradas desastres porque não há pessoas afetadas (Londe *et al.*, 2014).

Quadro 1.1 – Principais danos decorrentes de inundações em áreas urbanas (Fonte: Cançado, 2009).

Danos Tangíveis	
Danos Diretos	Danos Indiretos
Danos físicos aos domicílios: construção e conteúdo das residências.	Custos de limpeza, alojamento e medicamentos. Re-alocação do tempo e dos gastos na reconstrução. Perda de renda.
Danos físicos ao comércio e serviços: construção e conteúdo (mobiliário, estoques, mercadorias em exposição, etc.).	Lucros cessantes, perda de informações e base de dados. Custos adicionais de criação de novas rotinas operacionais pelas empresas. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados.
Danos físicos aos equipamentos e plantas industriais.	Interrupção da produção, perda de produção, receita e, quando for o caso, de exportação. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados.
Danos físicos à infra-estrutura	Perturbações, paralisações e congestionamento nos serviços, custos adicionais de transporte, efeitos multiplicadores dos danos sobre outras áreas.
Danos Intangíveis	
Danos Diretos	Danos Indiretos
Ferimentos e perda de vida humana.	Estados psicológicos de <i>stress</i> e ansiedade.
Doenças pelo contato com a água, como resfriados e infecções.	Danos de longo prazo à saúde.
Perda de objetos de valor sentimental.	Falta de motivação para o trabalho.
Perda de patrimônio histórico ou cultural.	Inconvenientes de interrupção e perturbações nas atividades econômicas, meios de transporte e comunicação.
Perda de animais de estimação.	Perturbação no cotidiano dos moradores.



Figura 1.1 – Ponto de alagamento na área da Leopoldina, no Centro da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Jornal O Estado de S. Paulo, Estadão, 2010).

As tempestades mais fortes ocorridas no município já deixaram registros de centenas de mortos e milhares de desabrigados, registrando situações caóticas. Dentre tais condições críticas, pode-se citar veículos completamente submersos, móveis e eletrodomésticos boiando sobre as águas, descargas elétricas ocasionadas pelo contato das águas com a rede de energia, queda de árvores por conta do alagamento do solo, deslizamentos de terra cujos sedimentos atingem pessoas e moradias, entre outras situações trágicas.

1.2. Contextualização da Dissertação

Nessas ocorrências de chuvas fortes, a atuação da Defesa Civil ganha grande visibilidade diante da mídia e da sociedade, visto que são suas ações de resposta aos desastres que prestam auxílio imediato à população, através de operações como busca e salvamento, primeiros-socorros e atendimento pré-hospitalar. No entanto, as ações de socorro não são as únicas atribuições da Defesa Civil nem são exercidas apenas nos momentos imediatamente após a ocorrência de eventos críticos.

As atividades da Defesa Civil estão inseridas em um conjunto de ações que visam realizar a gestão dos riscos e o gerenciamento de desastres aos quais a população está exposta, minimizando os danos sofridos em caso de situações adversas. Dessa forma, a atuação da Defesa Civil é contínua e se estende aos momentos antes, durante e depois de desastres, estando alicerçada em cinco ações distintas e inter-relacionadas, previstas na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC, 2012): prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (Figura 1.2).



Figura 1.2 – Ações de proteção e defesa civil e suas etapas (Fonte: Defesa Civil do Estado de Minas Gerais).

Atualmente, as ações de maior foco na Defesa Civil, instituída pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil são as atividades de prevenção, que são as executadas antes da ocorrência de desastres e que consistem em medidas e atividades prioritárias, destinadas a evitar ou reduzir o acontecimento de novos desastres. São ações como, por exemplo, o mapeamento de áreas de riscos, a conscientização da sociedade civil local e a construção de obras de contenção e correção de encostas e drenagem (Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – SEDEC, 2017).

A priorização de ações de prevenção, visando tornar as cidades mais resilientes vai ao encontro do estudo de Santos e Rocha (2018), que ressalta que desde as Conferências das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento ocorridas em Estocolmo (1972) e no Rio de Janeiro (1992), a comunidade internacional começou a debater e se preocupar com os impactos trazidos pelas mudanças climáticas. As discussões alertam para a necessidade da promoção de um desenvolvimento mais sustentável, que reflete na consideração de mais elementos de ação em relação aos desastres, antes restritos apenas à resposta e à reconstrução. As novas recomendações passaram a ser o desenvolvimento de ações de minimização de desastres, como prevenção e preparação, prioritárias para o reestabelecimento da situação de normalidade mais rapidamente.

Diversos estudos da comunidade científica internacional, como as pesquisas compiladas nos Relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007; 2013), convergem em indicar que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) estão causando o aumento da temperatura global desde meados do século XX. Conseqüentemente, há uma alteração do ciclo hidrológico e, dessa maneira, uma modificação na frequência e na intensidade dos eventos de precipitação (Frich et al., 2002; Haylock et al., 2006; Donat et al., 2013; Adler et al., 2017).

Diversos trabalhos detectaram tendências de aumento dos episódios extremos de precipitação em várias regiões do Brasil no decorrer das últimas décadas, inclusive no Estado do Rio de Janeiro (Marengo et al., 2010; Penereiro et al., 2013; Luiz-Silva et al., 2014; Soares et al., 2016; Regoto, 2020; entre outros). Alguns estudos baseados nos cenários de mudanças climáticas do IPCC projetam a continuidade de tais eventos extremos ao longo do século XXI (Marengo et al., 2012; Chou et al., 2014; Luiz-Silva et al., 2014; entre outros).

Devido à relevância em âmbito nacional e internacional da cidade do Rio de Janeiro e de seu histórico de chuvas intensas, o conhecimento detalhado da climatologia da precipitação é de grande importância para as ações de planejamento urbano e gerenciamento de riscos. Sendo

nacionalmente o segundo município mais populoso, com aproximadamente 6,7 milhões de habitantes (IBGE, 2018), ganha destaque sua grande concentração demográfica, visto que cerca de 3% de toda a população brasileira reside na cidade. Esse fator gera um alerta para sua ocupação territorial, cada vez mais verticalizada e com ocupações de encostas e morros com risco geológico, o que aumenta a exposição dos moradores dessas localidades às consequências geradas por chuvas intensas (Amorim *et al.*, 2014). Desse modo, as mudanças climáticas exigirão ações de planejamento e gestão de risco para que a cidade do Rio de Janeiro esteja preparada para suportar eventos extremos de precipitação que já são observados nos dias atuais.

1.3. Objetivos do Estudo

Diante do contexto apresentado até então, o objetivo principal desta dissertação é analisar os dados observados de precipitação e as ações de Defesa Civil nos últimos anos, além dos cenários futuros de eventos extremos na cidade do Rio de Janeiro.

Especificamente, esse estudo apresenta e discute os registros climatológicos de precipitação na cidade no período de 1998 a 2018, com foco na análise de indicadores de chuvas severas. A fim de consolidar essas informações, alguns episódios significativos foram selecionados para minuciosa investigação em relação aos impactos e às atividades do poder público (em especial da Defesa Civil), tanto para prevenção quanto para resposta. Por fim, projeções futuras de precipitação para o município nas próximas décadas são examinadas.

1.4. Relevância da Pesquisa

As chuvas extremas no Rio de Janeiro apresentam um risco recorrente para a população que habita a cidade. Residências e empresas se veem periodicamente expostos a diversos tipos de perdas decorrentes destes episódios, conforme apresentado no Quadro 1.1. A atuação da Defesa Civil e as projeções futuras sobre essas ocorrências não são capazes de evitar os eventos de chuvas fortes, pois trata-se de fenômenos naturais, agravados pelas condições físicas e geográficas do município. No entanto, o conhecimento acerca desses fenômenos e das projeções futuras são capazes de corroborar com a necessidade de existir insumos para um melhor preparo acerca do enfrentamento de desastres, com a formulação de ações eficazes de prevenção e proteção da sociedade, resultando na minimização dos danos e perdas causados pelas chuvas intensas.

Deve-se ressaltar que grandes perdas já foram registradas na história por ocorrências de chuvas severas e que ainda há uma expressiva vulnerabilidade socioambiental na cidade do Rio de Janeiro, além da precária cultura de prevenção. Isso não ocorre somente no Rio de Janeiro,

mas também em outros municípios do Brasil, conforme dados da Pesquisa de Informações Municipais (Munic IBGE, 2017), os quais apontam que mais da metade das cidades brasileiras (59,4%; 3.308 cidades) não atuam com qualquer instrumento de gestão de risco nem de prevenção a desastres. Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que disseminem as ações de atuação da Defesa Civil na prevenção de desastres e proteção da população.

1.5. Organização do Trabalho

O presente trabalho, na modalidade dissertação, é dividido em cinco capítulos, da seguinte maneira:

No Capítulo II é exposto o referencial teórico sobre o qual o estudo foi elaborado. São abordados os conceitos de desastres naturais hidrológicos, como alagamento, inundação e enxurrada. São revisitadas literaturas pertinentes aos aspectos históricos, geográficos, fisiográficos, antrópicos e climatológicos da cidade do Rio de Janeiro, principalmente em relação às chuvas fortes. Além disso, são apresentadas as formas de atuação da Defesa Civil municipal e estadual do Rio de Janeiro, além de alguns estudos de tendências e projeções de extremos de precipitação.

O Capítulo III descreve a Metodologia empregada na pesquisa, explanando assim as bases de dados consultadas e utilizadas e os critérios determinados para tal investigação.

O Capítulo IV se dedica a expor os resultados obtidos após a análise dos dados de eventos de chuvas intensas ocorridos entre 1998 e 2018 na cidade do Rio de Janeiro, por meio de alguns indicadores. Além disso, são examinadas individualmente as ocorrências das chuvas com maior impacto na cidade para o período supracitado e para um evento de chuva severa ocorrido em 2019. Também são discutidas as projeções futuras para as precipitações no município até o final do século XXI.

No Capítulo V estão as conclusões e considerações finais referentes aos resultados do trabalho.

Por fim, são apresentadas as Referências Bibliográficas utilizadas durante o estudo e elaboração dessa pesquisa.

Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA




Neste capítulo, são visitados estudos que contextualizam os episódios de chuvas fortes na cidade do Rio de Janeiro, traçando um breve histórico sobre ocorrências marcantes e abordando alguns desafios que tais eventos trouxeram para a Defesa Civil no decorrer das últimas décadas. Além disso, são apresentados fatores que agravam os impactos das chuvas intensas no município, as atribuições da Defesa Civil Municipal, e finaliza-se com um panorama geral sobre tendências observadas e projeções futuras de mudanças climáticas associados a eventos extremos no Brasil, com foco na cidade do Rio de Janeiro.

2.1. Histórico de Chuvas Extremas no Rio de Janeiro e a Evolução da Defesa Civil

As situações críticas de emergência em eventos de chuvas extremas marcam a história do Rio de Janeiro desde os períodos de sua fundação como cidade, sendo registrados rastros de destruição, danos ao patrimônio, mortes e perdas de bens da população ao longo dos anos, principalmente entre os meses de dezembro e março, período no qual se compreende a estação do verão, conhecida por suas chuvas de maior intensidade. Deste modo, os eventos de alagamentos, inundações que presenciamos com frequência nos dias de hoje não são atípicos na cidade do Rio de Janeiro.

A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) classifica chuvas intensas como fenômenos meteorológicos, de origem natural, que ocorrem com acumulados significativos, causando múltiplos desastres, como por exemplo inundações, alagamentos, movimentos de massa, enxurradas, etc. A COBRADE também classifica desastres em um grupo de riscos de origem natural do grupo hidrológico, divididos em três subgrupos: Inundações, Enxurradas e Alagamentos, conforme Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Riscos Naturais Hidrológicos segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE, 2019).

	GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA
1. NATURAIS	2. Hidrológico	1. Inundações	0	0	Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.	1.2.1.0.0	
		2. Enxurradas	0	0	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.	1.2.2.0.0	
		3. Alagamentos	0	0	Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.	1.2.3.0.0	

Costa (2001) define que enchentes históricas ocorrem comumente em regiões habitadas e estão sempre associadas às grandes chuvas, seja por sua duração ou pela intensidade com que acontecem. O autor relata que uma das primeiras inundações geradas por chuvas intensas desta natureza ocorrida na cidade do Rio de Janeiro foi registrada no século XVI.

Maia (2012) realizou um levantamento histórico de diversos registros de chuvas intensas ocorridas no município do Rio de Janeiro, através de fotografias, cartas, crônicas, obras literárias, jornais e outros documentos de época, apontando que figuras conhecidas, relevantes e importantes de nosso país, como o padre jesuíta José de Anchieta, D. João VI, Olavo Bilac, Machado de Assis entre outros, presenciaram e relataram ocorrências de chuvas extremas e a destruição que as mesmas causaram. Destacam-se nestes relatos as chuvas ocorridas em fevereiro de 1811, episódio que ficou conhecido como “Águas do Monte”, com descrição de chuvas que duraram por cerca de uma semana, causando deslizamento de terra no morro do Castelo, localizado no Centro da cidade, arrastando e destruindo edificações ali construídas, além de deixar vítimas fatais, levadas pela enxurrada e soterradas.

Os anos 1960 também foram bastante expressivos na história de chuvas intensas na cidade do Rio de Janeiro. Um episódio catastrófico e de grande notoriedade ocorrido no Rio de Janeiro e que merece destaque são as chuvas ocorridas em janeiro de 1966, não somente no município, mas em todo o Estado da Guanabara, atingindo todos os bairros. O mesmo foi noticiado na época como o “Maior Temporal de Todos os Tempos”, pelo jornal O Globo (Figura 2.1).

Segundo Maia e Sedrez (2011), as chuvas de janeiro de 1966 foram as maiores precipitações ocorridas na cidade até então, na qual se atingiu o acumulado pluviométrico de 245 mm em menos de 24 horas, um recorde para a época. Não se sabe o número exato de mortos, mas estima-se mais de 200 vítimas, além de dezenas de milhares de pessoas que ficaram desabrigadas, cujas moradias foram afetadas e precisaram de abrigo promovido pelo governo, ou desalojadas, nos casos em que foram obrigadas a abandonar suas habitações por conta das destruições, avarias ou evacuações preventivas causadas pelas chuvas.



Figura 2.1 - Capa do Jornal O Globo em 11 de janeiro de 1966 (Fonte: Acervo – O Globo).

No ano seguinte, em 1967, a cidade ainda traumatizada pelos eventos de chuvas severas ocorridas no verão anterior vivenciou uma nova tragédia. De acordo com o Acervo O Globo, as chuvas causaram a morte de 116 pessoas, sendo que o caso mais grave ocorreu em Laranjeiras, bairro da zona sul do Rio de Janeiro, onde uma pedra se desprendeu de uma encosta e provocou o desabamento de três edificações.

Esses dois desastres ocorridos na cidade do Rio de Janeiro em um intervalo tão curto de pouco mais de um ano, somaram-se a outras duas catástrofes ocorridas também em 1967 na região Sudeste do Brasil. A primeira foi em janeiro de 1967, na Serra das Araras, localizada entre os municípios de Paracambi, Pirai e Mangaratiba, na região da Baixada Fluminense do

Estado do Rio de Janeiro. Nessa área também ocorreram chuvas muito fortes, que resultaram em deslizamentos de terras, soterrando veículos e edificações. Esta era considerada a maior tragédia da história do país até então, sendo o evento natural de maior letalidade, para o qual se estima mais de 1.000 vítimas fatais. Dois meses depois, em março de 1967, ocorreu outro desastre relacionado às intensas chuvas, também no Sudeste do país, desta vez atingindo a cidade de Caraguatatuba, no litoral paulista. Foram registradas centenas de vítimas, também atingidas por sedimentos ocasionados pelos deslizamentos de terra.

Esses eventos extremos de precipitação propiciaram a estruturação de novos corpos técnicos do governo, aptos a atuar para minimizar as ameaças geotécnicas dos municípios e a lidar com maior eficiência diante de tragédias associadas às chuvas fortes (Gonçalves, 2015). Essas tragédias também foram um marco na atuação, consolidação e profissionalização da Defesa Civil do Brasil, que a partir daquele momento passou por grandes transformações, visando aprimorar seus métodos de trabalho e buscando utilizar novas tecnologias. O historiador e soldado bombeiro do Corpo de Bombeiros, Antônio Mattos, atuou nas tragédias de 1966 e 1967 e relatou em entrevista à Empresa Brasileira de Comunicação (EBC) algumas destas mudanças: “os chassis e os motores das viaturas ficaram muito mais altos. Alavancas e cordas foram substituídas por recursos hidráulicos (...)”.

Constituída duas décadas antes, nos anos 1940, durante o período da Segunda Guerra Mundial, a corporação ganhou maior visibilidade e relevância ao atuar na resposta a essas catástrofes, constituindo um Grupo de Trabalho voltado ao estudo e à mobilização dos órgãos estaduais em situações de catástrofe. Foi assim elaborado o Plano Diretor de Defesa Civil do Estado da Guanabara, responsável pela criação das Coordenadorias Regionais – REDECs, que definiu incumbências para cada um dos órgãos componentes do Sistema Estadual de Defesa Civil e organizou a primeira Defesa Civil Estadual do Brasil, em dezembro de 1966.

Em 1967, houve a criação do Ministério do Interior que, entre outras competências, visava assistir populações atingidas por calamidade pública em todo o país. O então novo ministério instituiu um fundo especial, denominado Fundo Especial para Calamidades Públicas (FUNCAP), voltado a oferecer recursos para assistência imediata às populações atingidas por tais situações e pagamento de entidades públicas e privadas que prestam serviços de socorro. Além disso, foi criado o Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas (GEACAP), que mais tarde se transformaria no que hoje conhecemos como Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC).

Atualmente este órgão é responsável por coordenar a proteção e defesa civil no Brasil na gestão de riscos e de desastres, desenvolvendo ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, em âmbito municipal, estadual e federal, promovendo a implementação de normas, instrumentos, planos diretores, preventivos, de contingência e de operação, além de programas de capacitação, treinamento de recursos humanos da Defesa Civil. Essas competências, determinadas pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, ao qual a SEDEC é subordinada, visam que tais ações sejam multiplicadas, tornando-as mais amplas e eficazes na atuação em situações de desastres.

2.2. Utilização de Dados Pluviométricos em Pesquisas Científicas

Outros artigos acadêmicos buscaram catalogar os eventos de chuvas intensas não somente pelos relatos da ocorrência dos mesmos através de registros históricos, pela percepção desses episódios pela imprensa ou por outros registros de época, mas também pela mensuração de sua magnitude através de bases de dados dos registros pluviométricos.

Esses dados se referem aos registros de precipitação, variável esta aferida por equipamentos específicos chamados pluviômetros, que pode ser definido como um instrumento meteorológico utilizado para medir a quantidade de água da chuva precipitada, constituído por um funil de captação e um reservatório, graduado em milímetros (mm), sendo esta a unidade de medida da chuva. Há também os pluviógrafos, que são pluviômetros que possuem um sistema de registro contínuo por meio de um gráfico.

Conforme Costa (2001), os registros pluviométricos na cidade do Rio de Janeiro só começaram a ser disponibilizados a partir de 1851. No entanto, não se tratava de mensurações com grande nível de detalhamento, conforme se pode observar em Dereczynski *et al.* (2017). Os autores traçaram um histórico dos eventos de chuvas intensas ocorridos no município do Rio de Janeiro, utilizando o limiar de 100 mm ou mais em 24 horas para selecionar os casos de chuvas extremas do estudo. Para identificarem tais ocorrências, buscaram fontes de dados impressos da estação do Observatório Nacional (1881 a 1917) e registros de quatro estações do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (1961 a 1996). Dereczynski *et al.* (2017) delimitam um valor específico na definição dos eventos extremos a serem observados (100 mm em 24 horas), diferentemente de outros estudos aqui apresentados, que por algumas vezes citam os valores pluviométricos aferidos, mas não consideram um limiar pré-determinado em suas análises.

O estudo de Dereczynski *et al.* (2017) aponta que, dentre os 82 casos de chuvas extremas identificados dentro do parâmetro estabelecido com danos registrados à população, aquele que apresentou o maior total pluviométrico diário foi o de 26/02/1971, com 287,7 mm observados na estação de Bangu. Contudo, essa mesma pesquisa e os demais trabalhos aqui apresentados nos mostram que as chuvas de 1966 e 1967 foram significativamente mais sentidas pela população do que esta em termos de perdas humanas e patrimoniais.

Isso evidencia que apesar de haver uma forte correlação entre os valores aferidos de precipitação acumulada devido às chuvas extremas e os danos causados pelos mesmos, nem sempre seus impactos são sentidos e percebidos pela população de forma linear, por razões que podem ser explicadas, por exemplo, por algumas regiões serem mais vulneráveis do que outras a eventos de deslizamentos ou inundações. Segundo Janczura (2012), há uma forte correlação entre os conceitos de risco e vulnerabilidade, sendo o primeiro definido como a iminência de um perigo ou possibilidade de perda futura por ausência de prevenção e o segundo relacionado aos indivíduos e às suscetibilidades ou predisposições a respostas em situações de desordem ou estresse bem como às suas consequências negativas.

Também é interessante notar o quanto havia escassez de maiores detalhes e informações documentais acerca de dados meteorológicos, desde o final do século XIX até o início do século XX, especificamente de eventos de chuvas intensas. Alguns desses episódios de chuvas severas nem mesmo são noticiados pela mídia, em função de falhas de registros ou então por informações pouco detalhadas, como é o caso do Boletim das Normas do Rio de Janeiro (1922), no qual são apresentados os maiores totais pluviométricos diários para cada dia do ano no período de 1882 a 1920, usado como fonte de dados do trabalho de Dereczynski *et al.* (2017). No Boletim constam somente os valores máximos da chuva diária observada para cada dia do ano do período analisado, de modo que somente uma chuva extrema ocorrida em um dia é registrada. Caso tenha ocorrido outra chuva extrema no mesmo dia de algum outro ano no período citado, mas com valor inferior, tal caso não constará do Boletim das Normas do Rio de Janeiro. A ausência desses dados prejudica a análise da medida e de sua magnitude em relação ao evento ocorrido.

Essas constatações nos mostram os avanços da disponibilização e do detalhamento de dados acerca dos eventos meteorológicos, em especial das precipitações, ocorridas no município do Rio de Janeiro, com o surgimento de instituições voltadas aos estudos de precipitação. Destacam-se o INMET e o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), este último agregado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que

emitem previsões de tempo pela internet, além do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, gerenciado pela Fundação GEO-Rio que, desde a sua criação em 1996, conta com diversas estações espalhadas pela cidade, realizando o monitoramento das condições do tempo, aferindo a cada 15 minutos os acumulados de precipitação e informando-os em tempo real para a população, para que a mesma tenha conhecimento das condições do tempo e possam se prevenir da exposição aos riscos decorrentes de eventos de chuvas intensas. Esta base de dados é utilizada nesta dissertação e será mais detalhada nos próximos capítulos.

Os estudos mais recentes sobre análises climatológicas da precipitação na cidade do Rio de Janeiro utilizam como base tais dados do CPTEC e do Alerta Rio. Pristo *et al.*, (2018) utilizaram informações aferidas pelos 32 postos pluviométricos do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro para elaborar uma climatologia de 20 (vinte) anos de Eventos de Chuvas Intensas ocorridas no município do Rio de Janeiro entre 1997 e 2016. Diferentemente de Dereczynski *et al.* (2017), que utilizaram um critério estabelecendo o limite de 100 mm para identificação de eventos de chuvas intensas, Pristo *et al.*, (2018) estabelece um critério de que um Evento de Chuva Intensa (ECI) se caracteriza por um total pluviométrico diário igual ou superior a seu percentil 95, com ocorrência no mesmo dia de pelo menos um registro de chuva em 15 minutos igual ou superior a esse limiar. O estudo analisa as características baseadas no local onde foram aferidas as precipitações, ou seja, as estações onde estão instalados os pluviômetros e pela sazonalidade em que tais eventos de chuvas intensas são mais frequentes, bem como o número médio de ocorrências de ECIs no ano, identificados dentro do critério estabelecido pelos autores.

Os resultados obtidos em tal estudo ressaltam os aspectos espaciais e sazonais da climatologia do município, evidenciando o verão como a estação de chuvas mais intensas e demonstrando a influência do relevo, percebida pela concentração dos registros máximos de precipitação no entorno de serras e maciços, como o Maciço da Tijuca, o Maciço da Pedra Branca e a Serra do Mendanha (Figura 2.2). Logo, é possível obter uma visão espacial mais bem definida pela distribuição geográfica dos pluviômetros, identificando as regiões de maior e menor frequência e intensidade de eventos de chuvas fortes na cidade do Rio de Janeiro.

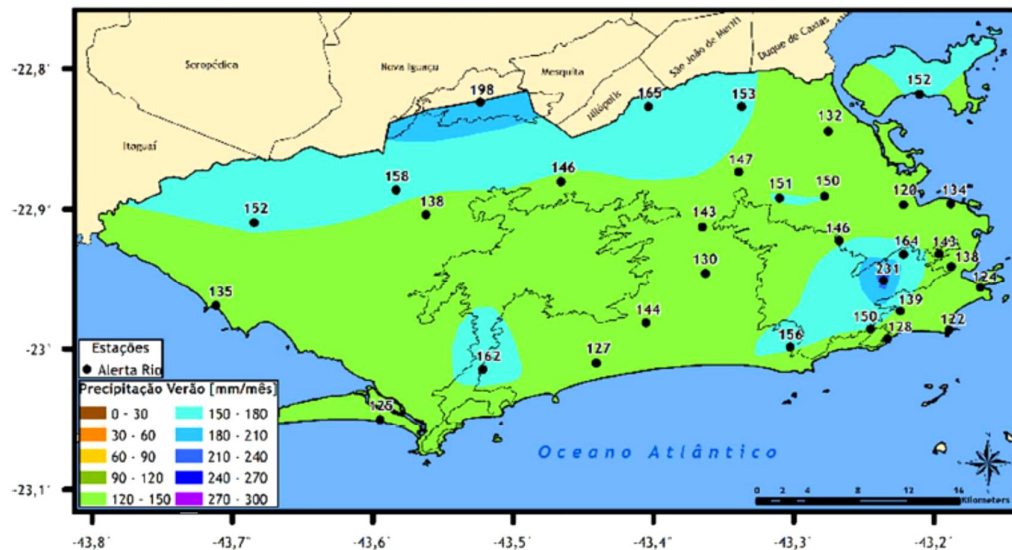


Figura 2.2 – Climatologia da precipitação média mensal (mm/mês) para o período de 1997-2016, a partir de 32 postos pluviométricos do Alerta Rio no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) (Fonte: Pristo *et al.*, 2018).

2.3. Aspectos Fisiográficos das Chuvas e Enchentes no Rio de Janeiro

Ao acompanharmos esses recorrentes relatos históricos sobre alagamentos e inundações ocorridos na cidade do Rio de Janeiro, descritos desde a sua fundação como cidade e estendendo-se até os dias atuais, nos questionamos acerca das razões pelas quais esses tipos de evento são tão frequentes na região. Uma vez que tais episódios extremos ocasionam significativos transtornos à população em geral, torna-se fundamental estudar suas principais causas a fim de se buscar possíveis medidas de mitigação dos impactos.

Trata-se de uma vasta e complexa conjuntura de fatores, composta por condições naturais da cidade, como o clima da região, o oceano, o relevo, o tipo de vegetação, as bacias hidrográficas, entre outros. Aliados a tais fatores estão os aspectos antrópicos, que são aqueles oriundos das ações do homem no meio ambiente, como por exemplo, as intervenções realizadas no processo de ocupação da cidade, o descarte inadequado de resíduos sólidos, entre outras ações, que influenciam direta e indiretamente na forma como os eventos de chuvas intensas impactam a capital fluminense e sua população.

A respeito dos fatores naturais, podemos destacar o clima como um dos mais importantes, considerando que o Rio de Janeiro é uma grande metrópole, com clima classificado como Tropical Atlântico. Segundo o modelo de classificação de Köppen-Geiger

(1928), o clima da cidade do Rio de Janeiro é enquadrado como “Aw”, ou seja, quente e úmido, com variações locais, devido às diferenças de altitude, vegetação e proximidade do oceano. Esta classificação ainda destaca a influência da massa de ar tropical atlântica, que provoca chuvas intensas, principalmente nos períodos próximos ao verão, de outubro a abril, observações essas que serão analisadas nessa dissertação. Esse clima, em geral, caracteriza-se por verões mais quentes e úmidos e invernos mais frios e secos.

A vegetação é característica de floresta tropical e a cidade está integralmente localizada no domínio da Mata Atlântica, um dos biomas com maior biodiversidade do mundo. Segundo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC), a parte deste bioma que compreende o Rio de Janeiro é composta por uma zona litorânea, banhada pelo Oceano Atlântico, duas baías (Baía de Guanabara e Baía de Sepetiba) e três maciços.

Os três maciços que compreendem o município do Rio de Janeiro, destacados no mapa da Figura 2.3, são: o Maciço da Tijuca, localizado na Zona Norte da cidade, junto aos bairros da Tijuca, Alto da Boa Vista e Barra da Tijuca; o Maciço da Pedra Branca, localizado na Zona Oeste, junto a Campo Grande, Santa Cruz, Guaratiba, Jacarepaguá e Barra da Tijuca, onde localiza-se o Pico da Pedra Branca, com 1.025 metros de altitude, sendo este o ponto mais alto da cidade; e o Maciço de Gericinó ou do Mendanha, também localizado na Zona Oeste da cidade, junto ao bairro de Bangu e no limite com o município de Mesquita, na Baixada Fluminense. Neste maciço estão situadas as Serras do Mendanha e de Gericinó.



Figura 2.3 – Principais maciços da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Mapa Turístico da Riotur).

Esses três maciços se conectam através de uma rede hídrica, formada por rios, lagoas e depósitos de águas subterrâneas. Segundo Costa (2001), os rios e córregos do município contam com forte declividade, drenando bruscamente as águas das serras para as baixadas, quase ao nível do mar. Logo, é possível observar que os fatores relacionados ao relevo da cidade,

combinados com fatores hidrológicos se tornam agravantes para alagamentos e inundações em ocasiões de chuvas intensas, principalmente no verão.

2.4. Fatores Antrópicos Associados aos Eventos de Deslizamentos e Inundações

Associados aos fatores naturais estão os fatores antrópicos, ou seja, fatores relacionados às modificações provocadas pelo homem no meio ambiente. Alguns destes são relacionados às modificações estruturais da cidade, ações decorrentes do processo de ocupação e urbanização do espaço físico ao longo dos séculos. Um dos principais efeitos do desenvolvimento urbano brasileiro recai justamente sobre a drenagem urbana, com a elevação na incidência e a ordem de grandeza das inundações e da grande degradação ambiental (Tucci, 2002).

Nacaratti (2008) destaca que a expansão da malha urbana da cidade, que se iniciou na área central da cidade, se deu em grande parte pelos desmontes (destruição) de morros, que cercavam uma extensa área de pântano e lagoas. Esses processos podem ser exemplificados pelos desmontes dos morros localizados no Centro, como os do Castelo, de Santo Antônio, de São Bento e da Conceição, além do morro do Desterro, que era localizado onde hoje é Santa Teresa. Muito do material oriundo dos desmontes, daria posteriormente origem aos aterros de orla e de alagadiços, predominantemente na Zona Sul e Baía de Guanabara, conforme pode ser observado na Figura 2.4. Este processo acabou gerando um desordenamento na ocupação dessas regiões. Vale ressaltar que o processo de expansão urbana é contínuo e tais práticas se perpetuam até os dias atuais, podendo hoje ser observados, por exemplo, na Zona Oeste da cidade, onde se localiza a Baixada de Jacarepaguá e de Sepetiba.

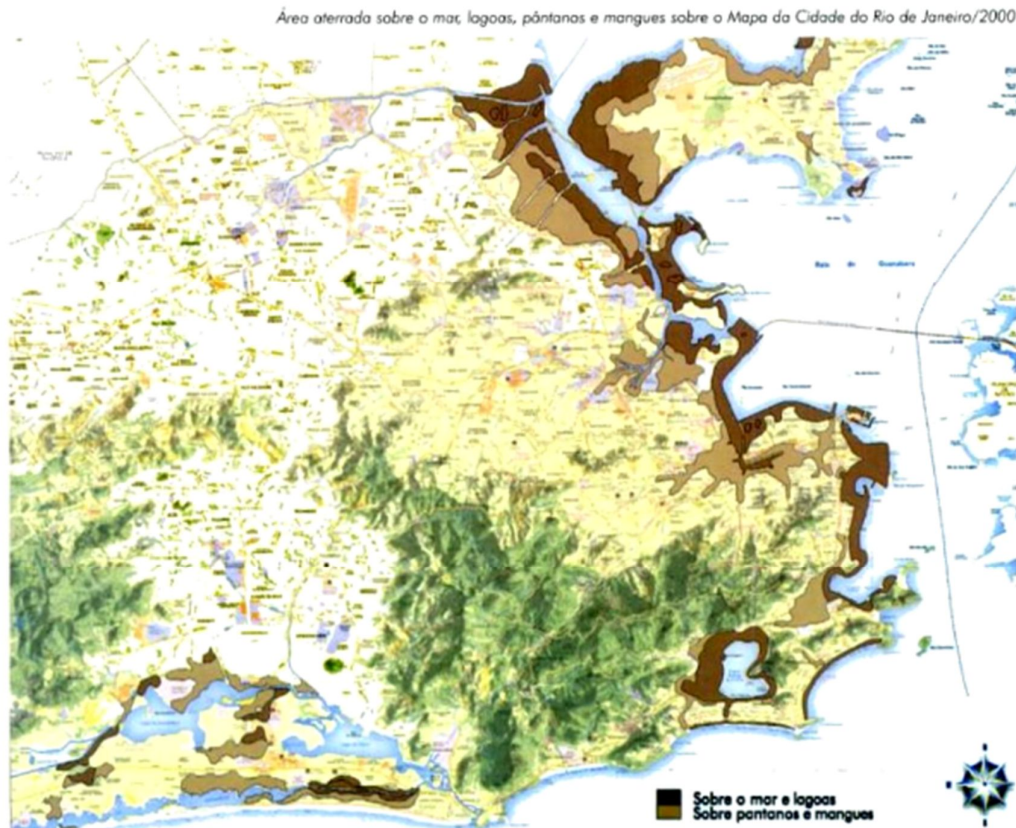


Figura 2.4 - Área aterrada sobre o mar, lagoas, pântanos e mangues, sobre a cidade do Rio de Janeiro, em 2000 (Fonte: Andreatta, 2006).

Costa *et al.* (2018) vão ao encontro desse estudo, abordando as ações antrópicas realizadas nos processos de alteração na morfologia natural da cidade. Um exemplo são as mudanças nas redes de drenagem e desmatamentos de encostas para ocupação por comunidades nas áreas periféricas da cidade, exemplificada na Figura 2.5 que, com a retirada de sua cobertura vegetal, acabaram por agravar os riscos de escorregamentos de massa, deixando a população lá instalada mais vulnerável a eventos de chuvas intensas.



Figura 2.5 – Comunidade da Rocinha, zona sul da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Agência O Globo).

Além disso, ressalta-se também outras intervenções, como as ocorridas com a retilinização dos cursos fluviais, o assoreamento dos canais e a ampliação da rede de drenagem pluvial e de abastecimento de água e esgoto nas encostas, que, em uma análise conjunta com outros fatores de complexidade, contribuem para a ocorrência de enchentes urbanas, como destacado no trecho a seguir do estudo de Costa *et al.* (2018).

“Paralelamente às conquistas de faixas de terra e mar, houve o ataque à montanha, dado de duas formas: pelo desmonte e pela ocupação das encostas. O desmonte, apesar de ter uma justificativa saneadora, vai propiciar na verdade, o ganho de espaço de duas maneiras: pela área resultante da destruição dos morros (houve o predomínio do desmonte nos morros do centro da cidade) e pelos aterros que serão realizados com o material resultante da destruição. A ocupação das encostas se dará primeiramente pelas culturas da cana-de-açúcar e do café, com a devastação da floresta nativa. Por volta de 1870, foi iniciado o reflorestamento do Maciço da Tijuca, até que no decorrer do século XX reiniciou-se o desmatamento e a ocupação das encostas, por meio de habitações. Apesar do predomínio das favelas com população de baixa renda, também as classes mais altas ocuparam as encostas com suas

residências, principalmente em bairros de Zona Sul e na Grande Tijuca, no Alto da Boa Vista.” (Costa *et al.*, 2018, p.6)

Aliados aos fatores antrópicos de planejamento e intervenções estruturais, estão outros fatores, como o descarte irregular de rejeitos sólidos, como o lixo jogado nas ruas, que gera o entupimento no sistema de águas e esgotos, com transbordamento da rede de esgotos, que é precária em muitas regiões da cidade.

2.5. Atuação da Defesa Civil no Município e no Estado do Rio de Janeiro

2.5.1. Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro

O Decreto nº 7.257, de 4 de agosto de 2010, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) define o conceito de Defesa Civil como o conjunto de ações preventivas, de socorro, assistenciais e recuperativas destinadas a evitar desastres e minimizar seus impactos para a população e reestabelecer a normalidade social. Também conceitua desastres como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

A Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro foi criada através do Decreto Municipal nº 1.496, de 6 de abril de 1978. Como visto anteriormente, as chuvas extremas em anos anteriores configuraram eventos de desastre, castigando a cidade e resultando em perdas humanas e materiais, tornando necessária a criação de um órgão municipal que trabalhasse justamente em ações de prevenção de acidentes e desastres e na minimização de seus impactos e consequências.

Denominada atualmente como Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil (SUBPDEC) pelo decreto Municipal nº 44.554, de 16 de maio de 2018 e vinculada à Secretaria Municipal de Ordem Pública (SEOP), o órgão conta com aproximadamente 200 servidores de diferentes segmentos, tais como técnicos, engenheiros, agentes de defesa civil, corpo operacional e administrativo, entre outros. Esses profissionais atuam em regime de plantão, 24 horas por dia, todos os dias da semana, para atender a população, através do número de telefone 199. A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) instituída através da lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012, atribui as seguintes competências ao Município no âmbito da Defesa Civil:

Art. 8º Compete aos Municípios:

I - executar a PNPDEC em âmbito local;

II - coordenar as ações do SINPDEC no âmbito local, em articulação com a União e os Estados;

III - incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal;

IV - identificar e mapear as áreas de risco de desastres;

V - promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas;

VI - declarar situação de emergência e estado de calamidade pública;

VII - vistoriar edificações e áreas de risco e promover, quando for o caso, a intervenção preventiva e a evacuação da população das áreas de alto risco ou das edificações vulneráveis;

VIII - organizar e administrar abrigos provisórios para assistência à população em situação de desastre, em condições adequadas de higiene e segurança;

IX - manter a população informada sobre áreas de risco e ocorrência de eventos extremos, bem como sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres;

X - mobilizar e capacitar os radioamadores para atuação na ocorrência de desastre;

XI - realizar regularmente exercícios simulados, conforme Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil;

XII - promover a coleta, a distribuição e o controle de suprimentos em situações de desastre;

XIII - proceder à avaliação de danos e prejuízos das áreas atingidas por desastres;

XIV - manter a União e o Estado informados sobre a ocorrência de desastres e as atividades de proteção civil no Município;

XV - estimular a participação de entidades privadas, associações de voluntários, clubes de serviços, organizações não governamentais e associações de classe e comunitárias nas ações do SINPDEC e promover o treinamento de associações de voluntários para atuação conjunta com as comunidades apoiadas; e

XVI - prover solução de moradia temporária às famílias atingidas por desastres.

Art. 9º Compete à União, aos Estados e aos Municípios:

I - desenvolver cultura nacional de prevenção de desastres, destinada ao desenvolvimento da consciência nacional acerca dos riscos de desastre no País;

II - estimular comportamentos de prevenção capazes de evitar ou minimizar a ocorrência de desastres;

III - estimular a reorganização do setor produtivo e a reestruturação econômica das áreas atingidas por desastres;

IV - estabelecer medidas preventivas de segurança contra desastres em escolas e hospitais situados em áreas de risco;

V - oferecer capacitação de recursos humanos para as ações de proteção e defesa civil; e

VI - fornecer dados e informações para o sistema nacional de informações e monitoramento de desastres.

Para atender as competências determinadas pela PNPDEC, a Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro atua de forma coordenada com órgãos públicos e privados, ONGs, associações de moradores, voluntários e com a sociedade como um todo, desenvolvendo projetos integrados e frentes de trabalho diversas, com foco em ações de prevenção e resposta a situações emergenciais e desastres. A Defesa Civil é responsável por disseminar a percepção de risco e a cultura da prevenção, através de ações de orientação da população, buscando incentivar uma cultura não apenas reativa, mas sim preventiva e resiliente, com capacidade de enfrentar, se adaptar e absorver os impactos de desastres e situações adversas.

Para que esse objetivo seja atingido, a Defesa Civil Municipal realiza múltiplas ações de conscientização, atuando em contato direto com a população em visitas domiciliares, divulgação de cartazes, panfletagem, palestras gratuitas, cursos e seminários (principalmente voltados aos locais mais vulneráveis) e capacitação de agentes comunitários (Figura 2.6). São realizados exercícios simulados em comunidades e escolas, com treinamentos sobre como proceder em situações críticas, passando orientações a respeito dos processos de desocupação em casos de emergência e divulgação de pontos de apoio e abrigos provisórios.



Figura 2.6 – Panfletos e cartazes explicativos para moradores e escolas (Fonte: Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro).

A Defesa Civil Municipal também é responsável pela elaboração de protocolos de atuação, como a construção de planos de Contingência, no caso do Rio de Janeiro especialmente voltados para a estação do verão e nos meses próximos, por conta das fortes chuvas que são comuns nesses períodos. Esses planos são elaborados pelo órgão e contam com a parceria das comunidades.

Além disso, a Defesa Civil Municipal realiza audiências públicas que visam divulgar e debater procedimentos de desocupação rápida e segura dos moradores em caso de ocorrência de deslizamentos de encostas, considerados pela SUBPDEC o maior problema decorrente das chuvas fortes na cidade do Rio de Janeiro. Nesse processo, são identificados os pontos com maiores riscos de deslizamentos de encostas na cidade e definidos protocolos de atuação, alinhados as estratégias de divulgação, ações de comunicação à população, através de alertas e alarmes, conforme preceituam as competências definidas para os municípios pela PNPDEC.

2.5.2. Defesa Civil Estadual do Rio de Janeiro

A Defesa Civil Estadual do Rio de Janeiro, atualmente denominada Secretaria de Estado de Defesa Civil (SEDEC-RJ) atua em todo o Estado do Rio de Janeiro, dividindo os 92 municípios fluminenses em 8 regiões de proteção e defesa civil, denominadas Regionais de Proteção e Defesa Civil (REDECs), sendo uma delas destinada exclusivamente ao município

do Rio de Janeiro, a REDEC Capital. Fazem parte da estrutura da SEDEC-RJ as seguintes instituições:

- Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ);
- Escola de Defesa Civil (EDC);
- Departamento Geral de Defesa Civil (DGDEC-RJ);
- Subsecretaria de Estado de Defesa Civil (SUBSEDEC);
- Superintendência Operacional (SUOP);
- Instituto Científico e Tecnológico de Defesa Civil (ICTDEC);
- Centro Estadual de Gerenciamento de Emergência Nuclear (CESTGEN);
- Centro Estadual de Administração de Desastre (CESTAD);
- Centro de Coordenação e Controle de Emergência Nuclear (CCCEN);
- Posto Central de Ajuda Humanitária;
- Coordenação Especial de Ações do Meio Ambiente (CEAMA);
- Centro de Estudos e Pesquisas em Defesa Civil (CEPEDEC);
- Assessoria de Controle Interno (ACI).
- Centro Estadual de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN-RJ);

Tanto a Defesa Civil Municipal quanto a Defesa Civil Estadual têm o dever de proteger a população e organizar medidas de prevenção e respostas aos desastres, mas suas funções e competências são diferentes. A PNPDEC determina aos Estados o cumprimento das seguintes competências:

Art. 7º Compete aos Estados:

I - executar a PNPDEC em seu âmbito territorial;

II - coordenar as ações do SINPDEC em articulação com a União e os Municípios;

III - instituir o Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil;

IV - identificar e mapear as áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, em articulação com a União e os Municípios;

V - realizar o monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico das áreas de risco, em articulação com a União e os Municípios;

VI - apoiar a União, quando solicitado, no reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública;

VII - declarar, quando for o caso, estado de calamidade pública ou situação de emergência; e

VIII - apoiar, sempre que necessário, os Municípios no levantamento das áreas de risco, na elaboração dos Planos de Contingência de Proteção e Defesa Civil e na divulgação de protocolos de prevenção e alerta e de ações emergenciais.

Parágrafo único. O Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil conterà, no mínimo:

I - a identificação das bacias hidrográficas com risco de ocorrência de desastres; e

II - as diretrizes de ação governamental de proteção e defesa civil no âmbito estadual, em especial no que se refere à implantação da rede de monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico das bacias com risco de desastre.

É perceptível que há muitas competências comuns, no entanto somente a SEDEC (âmbito federal) e a SEDEC-RJ (estadual) têm competência para determinadas ações, como por exemplo, decretar o reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública ou determinar transferências de recursos para ações de socorro e assistência às vítimas de desastres. Também compete somente a elas determinar o restabelecimento de serviços essenciais e atuar na reconstrução de áreas atingidas por desastre.

2.6. Mudanças Climáticas na Cidade do Rio de Janeiro

Conforme a revisão bibliográfica apresentada até o momento, nota-se que a população da cidade do Rio de Janeiro, assim como suas moradias, empresas e bens estão recorrentemente vulneráveis quando expostas aos riscos decorrentes de precipitações intensas, ainda mais diante de um cenário de prováveis mudanças climáticas a longo prazo. Vale mais uma vez salientar que o risco (desastre) é o produto entre a ameaça (chuva) e a vulnerabilidade (cidade).

O termo ‘mudanças climáticas’, nesta dissertação, é aplicado para se referenciar a todas as alterações no clima, considerando-se tanto as modificações naturais quanto as antrópicas, assim como utilizado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2013*), diferentemente do que é considerado pela Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (*United Nation Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*). O termo ‘mudanças

climáticas' é empregado pela UNFCCC para se referir às alterações no clima atribuídas direta ou indiretamente à atividade humana.

2.6.1. Tendências Observadas

A fim de examinar as tendências com que extremos climáticos (principalmente associados à precipitação e à temperatura do ar) vêm ocorrendo no globo, especialistas do mundo inteiro se reúnem regularmente para elaborar um compêndio acerca das mudanças climáticas observadas e projetadas para o futuro no planeta, onde avalia-se os mecanismos físicos envolvidos, os impactos na sociedade e as possíveis ações de adaptação. Dessa forma, os relatórios periódicos do IPCC sobre as causas, impactos e medidas de mitigação das mudanças climáticas globais representam uma referência padrão do assunto para toda a comunidade científica, governos e indústrias em todo o mundo.

Para se analisar tendências climáticas em uma determinada série histórica é necessário que a mesma possua uma suficiente extensão temporal, definida comumente por um período igual ou superior a 30 anos. Dessa forma, é possível avaliar tais propensões de modo que a direção da variável climática em questão represente de fato uma orientação fora do âmbito das principais variabilidades já observadas na natureza.

No Brasil, diversos estudos ao longo dos últimos anos vêm mostrando uma acentuada elevação da temperatura do ar em todo o país, além de um aumento estatisticamente significativo na frequência e na intensidade de extremos climáticos relacionados a ondas de calor, chuvas intensas e secas severas. Muitos desses estudos são realizados para uma ou mais regiões do país que apresentam similaridades entre si, visto que o país apresenta dimensões continentais e essas tendências não se aplicam ao país de forma homogênea.

Na Amazônia, por exemplo, Almeida *et al.* (2014) detectaram um aumento estatisticamente significativo de +0,04°C nas temperaturas máxima, mínima e média. Além disso, os autores sugerem que, diante dos resultados, as estações chuvosas vem registrando ainda mais chuva, enquanto as estações secas apresentam ainda menos precipitação, ou seja, uma maior discrepância no decorrer do ano.

Já o estudo de Marengo *et al.* (2017) teve como âmbito geográfico a região Nordeste do Brasil. As tendências observadas demonstraram reduções na precipitação e aumento significativo na temperatura do ar em todos os Estados. Foram também realizadas projeções climáticas futuras, indicando uma tendência à aridificação em grande parte da região.

Na porção centro-sul do Brasil, Teixeira e Satyamurty (2011) focaram na análise das regiões Sul e Sudeste do país e verificaram que as frequências anuais de eventos de chuvas extremas apresentaram tendências crescentes num período de 45 anos (1960-2004) nessas áreas. Essas tendências foram estatisticamente significativas especialmente na região Sul, o que indica de fato, mudanças climáticas em relação aos extremos de precipitação ao longo das últimas décadas.

Salviano *et al.* (2016) examinaram as tendências para as temperaturas máximas, médias e mínimas e para os valores de precipitação em todo o território nacional entre 1961 e 2011. As temperaturas apresentaram um aumento de $+0,6^{\circ}\text{C}$ na temperatura média da região Sudeste do Brasil e para as temperaturas máxima e mínima os valores indicaram um aumento de $+0,4^{\circ}\text{C}$. Nessa mesma região, o estudo constatou que houve um aumento médio de $+4,8\%$ nos acumulados pluviométricos. Particularmente, as precipitações no Estado do Rio de Janeiro apresentaram tendências positivas principalmente no mês de janeiro, um dos mais chuvosos do ano.

Estudos que contemplam análises específicas para o Estado do Rio de Janeiro de forma regionalizada, destacando suas regiões e a capital, vão de encontro as tendências verificadas por Salviano *et al.* (2016). Luiz-Silva e Dereczynski (2014) apontam um aumento da quantidade de precipitação associada a eventos de chuvas fortes, especialmente nas Baixadas Litorâneas, na Região Serrana e na Região Metropolitana (Figura 2.7). Dereczynski *et al.* (2013) pontua que tal aumento de chuvas intensas se dá principalmente nas regiões entorno da Floresta da Tijuca (Maciço da Tijuca).

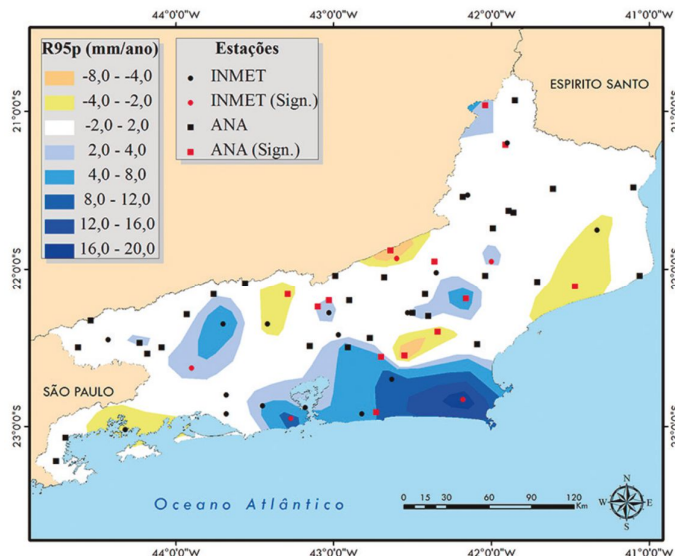


Figura 2.7 – Tendências observadas nos acumulados pluviométricos associados a chuvas intensas (mm/ano) no Estado do Rio de Janeiro entre 1961 e 2012 (Fonte: Luiz-Silva e Dereczynski, 2014).

2.6.2. Projeções Futuras

Os modelos matemáticos do sistema climático global, ou simplesmente modelos climáticos, são os melhores instrumentos para previsão de clima e para projeções de possíveis cenários de mudanças climáticas. Os modelos consideram de maneira numérica (quantitativa) o comportamento dos componentes do sistema climático terrestre, como a atmosfera, os oceanos, a criosfera (áreas com gelo e neve), a vegetação, os ciclos biogeoquímicos e suas interações. Além disso, tais modelos permitem a simulação de prováveis conjunturas de transformação do clima, levando-se em conta vários patamares de emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE), inserindo-se também alterações no uso e na cobertura do solo.

No *Fifth Assessment Report* (Quinto Relatório de Avaliação – AR5) do IPCC (2013), os Modelos do Sistema Terrestre (MSTs) são o atual estado da arte em modelagem de mudanças climáticas, pois incorporam a representação de múltiplos ciclos biogeoquímicos como os que envolvem os ciclos do carbono, de enxofre e do ozônio (Flato, 2011). Esses modelos fornecem os instrumentos mais detalhados disponíveis para simular respostas pretéritas e futuras do sistema climático devido à ação de forças externas, nas quais os *feedbacks* biogeoquímicos exercem um imprescindível papel.

Para as integrações dos modelos do AR5 do IPCC (2013), os cenários utilizados são os RCP – *Representative Concentration Pathways* (Van Vuuren *et al.*, 2011; Figura 2.8). Os RCPs

representam forçantes radiativas, onde o RCP2.6 simboliza um cenário de baixa emissão de Dióxido de Carbono (CO₂) com alta mitigação e inferior forçante. O RCP8.5 representa uma forçante radiativa maior e é similar a uma conjuntura de alta emissão. Os cenários RCP4.5 e RCP6.0 são de emissão média. Em todos os RCPs, as concentrações de CO₂ atmosférico são maiores em 2100 em comparação com os dias atuais, como resultado de um acréscimo das emissões cumulativas de CO₂ na atmosfera durante o século XXI.

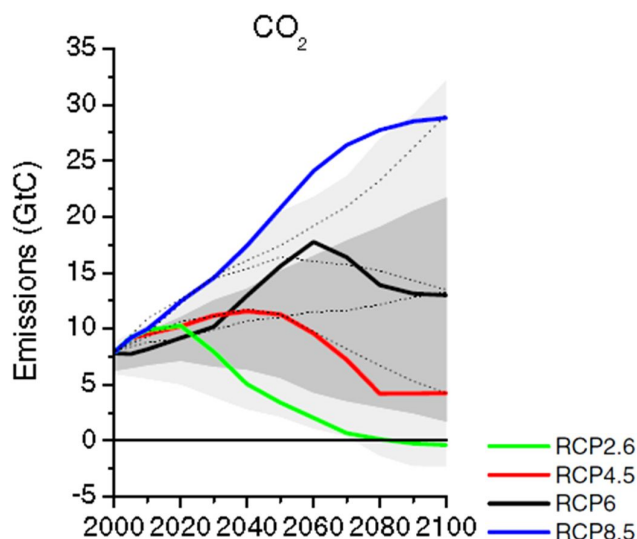


Figura 2.8 – Emissões de CO₂ conforme os cenários RCPs do AR5 do IPCC. Áreas hachuradas em cinza claro (escuro) indicam os percentis 90 (98) da literatura. As linhas pontilhadas simbolizam os antigos cenários do IPCC (Fonte: Van Vuuren *et al.*, 2011).

Conforme o AR5 do IPCC (2013), as mudanças na temperatura média da superfície do globo provavelmente excederão +1,5°C no final do século XXI em relação ao período de 1986 a 2005 para todos os cenários de RCP, exceto o RCP2.6 (Figura 2.9a). A temperatura provavelmente ultrapassará 2,0°C para os cenários RCP6.0 e RCP8.5, porém não passará desse valor no cenário RCP4.5. O aquecimento continuará além de 2100, segundo as conjunturas de RCP, exceto o RCP2.6. Observa-se que no Brasil, as projeções são de um aumento em torno de +2,0°C até +4,0°C na temperatura do ar no transcurso do século XXI (Figura 2.9a).

O AR5 também destaca que as alterações no ciclo global da água em virtude do aquecimento ao longo do século XXI não serão regulares. Os contrastes existentes entre regiões chuvosas e secas e entre períodos chuvosos e secos deverão aumentar (Figura 2.9b). Verifica-se que para o Brasil, projeta-se uma predominante redução das chuvas na porção centro-norte

do país e um aumento da precipitação na região Sul até 2100, sendo que a região Sudeste se estabelece em uma área de maior incerteza entre esses dois cenários (Figura 2.9b).

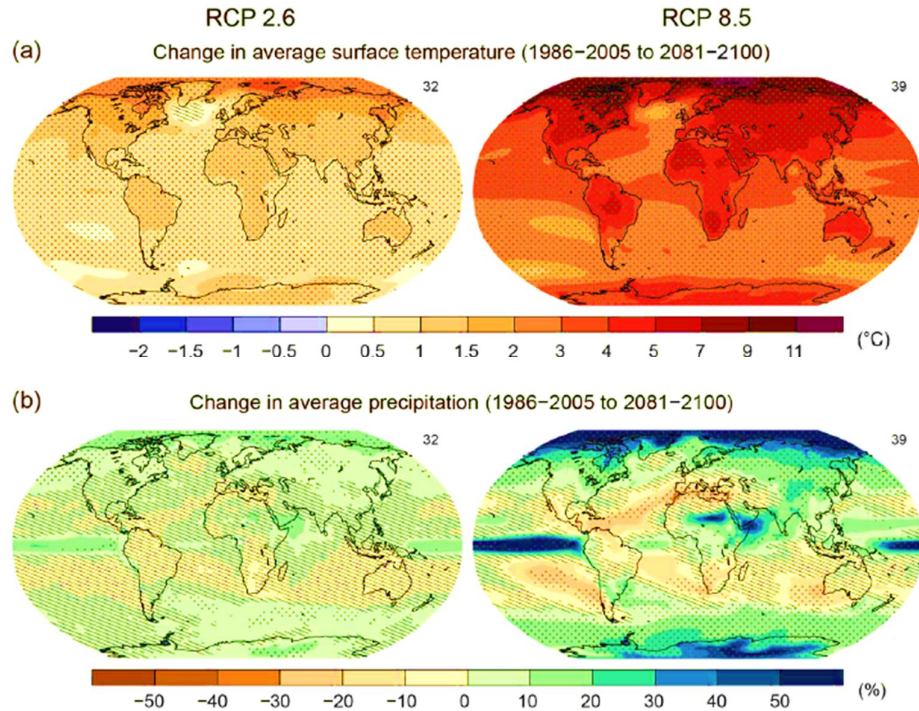


Figura 2.9 – Mudanças na (a) temperatura média (°C) e na (b) precipitação média (%) da superfície do globo em 2081-2100 em relação ao período 1986-2005, conforme os cenários RCP2.6 (esquerda) e RCP8.5 (direita) do AR5 do IPCC (Fonte: IPCC, 2013).

Para verificação de impactos, vulnerabilidade e adaptação, é necessário um maior detalhe, pois esses estudos possuem caráter regional ou local, como no caso da cidade do Rio de Janeiro. Os modelos atmosféricos regionais promovem o detalhamento do modelo global para um dado período e para uma determinada região. A Figura 2.10 representa esquematicamente a grade horizontal de um modelo regional na célula B, utilizando as variáveis resultantes da simulação de um modelo global como condições de contorno, de forma que processos atmosféricos e aspectos fisiográficos mais locais sejam mais bem descritos. Esse processo é denominado *downscaling* (ou regionalização) dinâmico(a) (Giorgi, 1990).

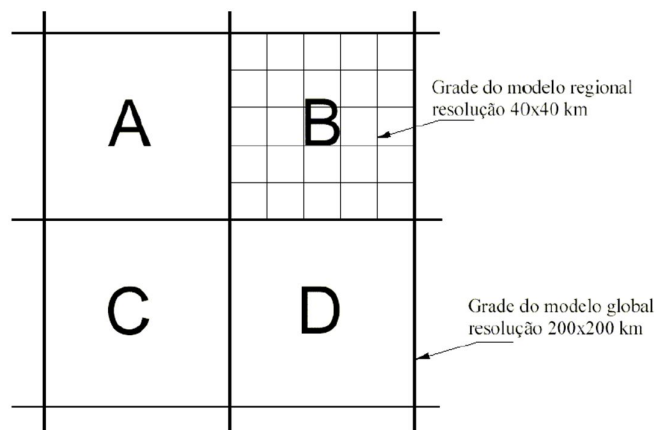


Figura 2.10 – Detalhamento da resolução dos modelos climáticos globais e regionais através da técnica de redução de escala (*downscaling* dinâmico). (Fonte: Giorgi, 1990).

Dereczynski *et al.* (2013) e Luiz-Silva *et al.* (2014) também realizaram projeções futuras para a cidade do Rio de Janeiro e para o Estado do Rio de Janeiro, respectivamente, utilizando o modelo regionalizado Eta-HadCM3 do INPE, com base nos antigos cenários do IPCC (2007). Os resultados mostraram um aumento na frequência de ocorrência e na quantidade de chuvas associadas a eventos severos, projetadas até o final do século XXI, com períodos de seca mais longos e períodos chuvosos mais curtos, ou seja, maior quantidade de chuva concentrada num período menor. Com relação à temperatura, além das tendências de aquecimento já identificadas, as projeções futuras apontam para uma continuidade deste aumento da temperatura do ar.

Em 2014, Chou *et al.* fizeram o *downscaling* dinâmico do modelo climático regional Eta (Mesinger, 2012) do CPTEC/INPE com resolução horizontal de 20 km aninhado a três modelos climáticos globais (HadGEM2-ES, BESM e MIROC5) sobre a América do Sul com os cenários do AR5 do IPCC (2013). As simulações do *downscaling* do modelo regional Eta no modelo global MIROC5 são utilizadas nesta dissertação para projeções futuras de extremos climáticos associados à precipitação no município do Rio de Janeiro.

Capítulo 3 – METODOLOGIA

3.1. Dados Pluviométricos da Cidade do Rio de Janeiro (1998-2018)

Um dos objetivos específicos deste estudo é analisar indicadores associados às chuvas extremas ocorridas na cidade do Rio de Janeiro no período entre 1998 e 2018. Para essa avaliação, foram agrupados os bairros do município conforme sua divisão oficial em quatro zonas, sendo elas Zona Central, Zona Norte, Zona Oeste e Zona Sul, conforme a delimitação geográfica apresentada na Figura 3.1.

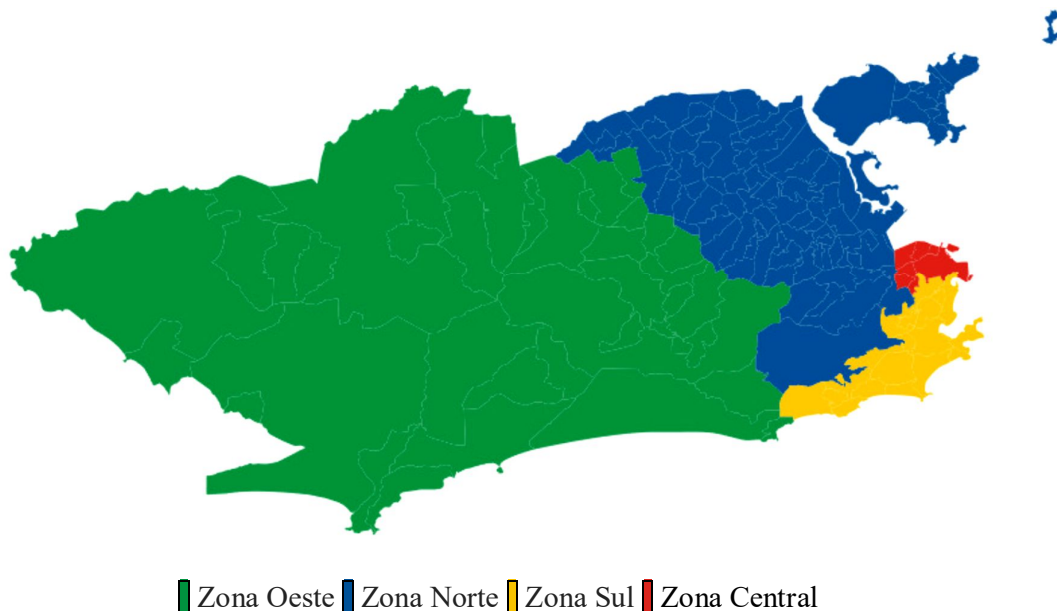


Figura 3.1– Mapa com a delimitação das zonas da cidade do Rio de Janeiro. (Fonte: Wikipedia)

Para determinar quais seriam os dados pluviométricos utilizados nessa investigação, foram consultadas todas as bases de dados pluviométricos disponibilizadas no sítio eletrônico do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, disponíveis em <http://alertario.rio.rj.gov.br/download/dados-pluviometricos/>. Trata-se de um banco de dados público e gratuito, administrado pela Fundação Geo-Rio. Os registros, em sua grande parte, tiveram início no dia 1º de janeiro de 1997. Os dados pluviométricos são aferidos a cada 15 minutos, em estações localizadas em diversos pontos da cidade.

No total, existem 33 estações telemétricas de administração da Geo-Rio ativas atualmente. Todas elas realizam medições de precipitação, sendo que 26 delas são apenas pluviométricas, ou seja, registram apenas leituras de chuva. Outras estações realizam uma aferição de dados mais ampla em relação aos dados meteorológicos. Barra/Rio Centro, Santa Cruz, Alto da Boa Vista, Jardim Botânico e Irajá são estações meteorológicas, que além de dados pluviométricos, mensuram a umidade do ar e a temperatura local. As estações de São Cristóvão e de Guaratiba, além de todos as variáveis já citadas, ainda registram medições de velocidade do vento e pressão atmosférica.

Neste trabalho, serão somente utilizados os dados referentes às medições pluviométricas, que são mensuradas por todas as estações, uma vez que o foco principal desta pesquisa é a ameaça proveniente de fortes precipitações. O período de análise determinado para este estudo climatológico das precipitações foi o recorte histórico de 21 anos, compreendidos entre 1998 e 2018. Para tal avaliação, não foi possível contemplar todas as estações atuais, pois ao longo do período analisado ocorreram modificações, como a desativação de quatro estações, a realocação de outras e a criação de novas unidades após o ano de 1998. A Tabela 3.1 lista todos os postos pluviométricos atuantes, além das estações que mudaram de nome ou foram substituídas no lugar de postos desativados, apresentando os nomes dos pluviômetros, as alterações ocorridas em algumas dessas estações e a data de instalação/substituição das mesmas.

Tabela 3.1 – Relação de todos os postos pluviométricos da cidade do Rio de Janeiro gerenciados pela Fundação Geo-Rio (Fonte: Alerta Rio).

Nº	ESTAÇÃO ATUAL	DATA INSTALAÇÃO	ALTERAÇÕES
1	Vidigal	01/01/1997	
2	Urca	01/01/1997	
3	Rocinha	01/01/1997	Se chamava São Conrado
4	Tijuca	01/01/1997	
5	Santa Teresa	01/01/1997	
6	Copacabana	01/01/1997	
7	Grajaú	01/01/1997	
8	Ilha do Governador	02/01/1997	
9	Penha	01/01/1997	
10	Madureira	01/01/1997	

11	Irajá	01/01/1997	Se chamava Av. Brasil/Irajá
12	Bangu	01/01/1997	
13	Piedade	01/01/1997	
14	Jacarépaguá/Tanque	01/01/1997	Se chamava Tanque
15	Saúde	01/01/1997	
16	Jardim Botânico	01/01/1997	
17	Barra/Barrinha	01/01/1997	Substituiu Itanhangá, desativada em 08/01/2013
18	Jacarépaguá/Cidade de Deus	01/01/1997	Se chamava Cidade de Deus
19	Barra/Riocentro	01/01/1997	Se chamava Riocentro
20	Guaratiba	01/01/1997	
21	Est. Grajaú/Jacarepaguá	01/01/1997	Substituiu Gericinó, desativada em 12/05/2010
22	Santa Cruz	01/01/1997	
23	Grande Méier	01/01/1997	Se chamava Cachambi
24	Anchieta	01/01/1997	
25	Grota Funda	01/01/1997	
26	Campo Grande	01/01/1997	
27	Sepetiba	01/01/1997	
28	Alto da Boa Vista	01/01/1997	Substituiu Sumaré, desativada em 16/04/2010
29	Av. Brasil/Mendanha	01/01/1997	Substituiu Mendanha, desativada em 01/04/2010
30	Recreio dos Bandeirantes	01/01/1997	Substituiu Itaúna
31	Laranjeiras	13/08/2000	Instalada após 1998
32	São Cristóvão	19/08/2000	Instalada após 1998
33	Tijuca/Muda	07/02/2011	Instalada após 1998

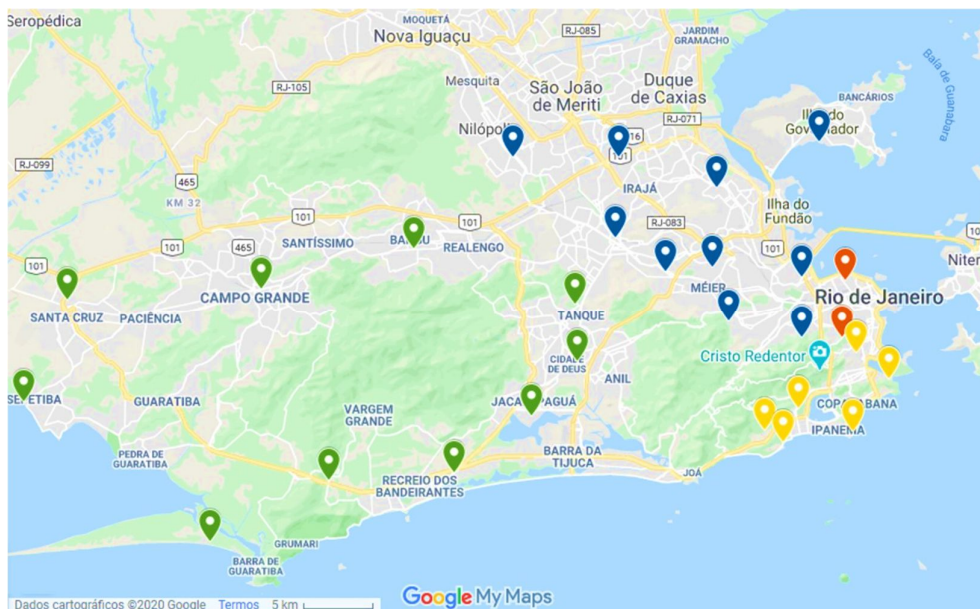
As estações pluviométricas de Laranjeiras e de São Cristóvão, por exemplo, somente foram instaladas no ano 2000. Já a estação Tijuca/Muda é a mais recente entre todas, sendo a segunda localizada no bairro, empregada em 2011. Logo, por tratar-se de uma estação muito recente, essa última foi excluída da análise, assim como estações desativadas, que foram realocadas para outros endereços distantes do originalmente instalado e por isso tiveram suas séries históricas recomeçadas. No entanto, este trabalho abrange as estações que foram realocadas para uma área próxima da originalmente instalada, podendo ser consideradas, pois

mantiveram sua série histórica sem alterações significativas. Logo, ficou determinado que esta investigação contemplaria apenas os 28 postos pluviométricos citados na Tabela 3.2 (com informações de localização e data de instalação) e situados na Figura 3.1. Para a caracterização de cada uma das macrorregiões do município do Rio de Janeiro em relação à climatologia e à análise das chuvas intensas leva-se em consideração a distribuição dos pluviômetros por cada uma das zonas da cidade (Zona Central, Zona Norte, Zona Oeste e Zona Sul), de acordo com a divisão oficial da Prefeitura do Rio de Janeiro (Figura 3.2).

Tabela 3.2 – Informações das estações pluviométricas analisadas nessa pesquisa (Fonte: Alerta Rio).

Nº	ESTAÇÃO	ENDEREÇO	ZONA	DATA INSTALAÇÃO
1	Vidigal	Hotel Sheraton - Av. Niemeyer, 121	Sul	Jan/1997
2	Urca	Instituto Militar de Engenharia - Av. Pasteur, 35	Sul	Jan/1997
3	Rocinha	Região Administrativa - Estrada da Gávea, 242	Sul	Jan/1997
4	Tijuca	Centro de Estudos do Sumaré - Estrada do Sumaré, 670	Norte	Jan/1997
5	Santa Teresa	Escola Estadual Monteiro de Carvalho - Rua Almirante Alexandrino, 2495	Centro	Jan/1997
6	Copacabana	Hotel Sofitel - Av. Atlântica, 4240	Sul	Jan/1997
7	Grajaú	Grajaú Country Clube - Rua Professor Valadares, 262	Norte	Jan/1997
8	Ilha do Governador	Iate Clube Jardim Guanabara - Rua Orestes Barbosa, 229	Norte	Jan/1997
9	Penha	Irmandade de N. S. da Penha de França - Largo da Penha, 19	Norte	Jan/1997
10	Madureira	Edifício Pólo I - Estrada do Portela, 99	Norte	Jan/1997
11	Irajá	Ceasa - Av. Brasil, 19001	Norte	Jan/1997
12	Bangu	Cassino Bangu - Rua Fonseca, 534	Oeste	Jan/1997
13	Piedade	Hospital Municipal da Piedade - Rua da Capela, 96	Norte	Jan/1997

14	Jacarepaguá/Tanque	Inst. Est. de Dermatologia Sanitária - Rua Godofredo Viana, 64	Oeste	Jan/1997
15	Saúde	Hospital Federal dos Servidores do Estado - Rua Sacadura Cabral, 178	Centro	Jan/1997
16	Jardim Botânico	Jóquei Clube - Rua Jardim Botânico, 1003	Sul	Jan/1997
17	Jacarepaguá/Cidade de Deus	Telemar - Estrada Mal. Salazar de Moraes, 1409	Oeste	Jan/1997
18	Barra/Riocentro	Parque Olímpico da Barra - Av. Embaixador Abelardo Bueno - Barra da Tijuca, S/N	Oeste	Jan/1997
19	Guaratiba	Campo de Provas Marambaia - Estrada Roberto Burle Marx, 9140	Oeste	Jan/1997
20	Santa Cruz	IBECOMB - Praça Ruão, S/N	Oeste	Jan/1997
21	Grande Méier	Paróquia Sto. Antônio de Pádua - Rua Tenente França, 141	Norte	Jan/1997
22	Anchieta	Esc. Municipal Cyro Monteiro - Rua Antúria, 31	Norte	Jan/1997
23	Grota Funda	Base Operacional da Transoeste - Entrada Recreio do Túnel da Grota Funda - Recreio dos Bandeirantes, S/N	Oeste	Jan/1997
24	Campo Grande	Centro Universitário Moacyr Sreder Bastos - Rua Eng. Trindade, 229	Oeste	Jan/1997
25	Sepetiba	Base Aérea de Santa Cruz - Rua do Império, S/N	Oeste	Jan/1997
26	Recreio dos Bandeirantes	Avenida Baltazar da Silveira, 335	Oeste	Jan/1997
27	Laranjeiras	1ª CIPM - Rua Cardoso Junior, 479	Sul	Ago/2000
28	São Cristóvão	GEORIO - Rua Campo de São Cristóvão, 268	Norte	Ago/2000



█ Zona Oeste █ Zona Norte █ Zona Sul █ Zona Central

Figura 3.2 – Localização dos postos pluviométricos da cidade do Rio de Janeiro por zona.

3.2. Indicadores de Chuvas Extremas e Análise do Clima Presente (1998-2018)

Inicialmente, esta dissertação visa realizar uma análise espaço-temporal de índices de chuvas severas relacionados aos dados pluviométricos diários observados, aplicando métodos estatísticos para a identificação dessas precipitações extremas ocorridas na cidade do Rio de Janeiro no período de 1998 a 2018. Para a coleta dos dados mencionados anteriormente, foi realizado o *download* das bases de dados pluviométricos existentes no sítio eletrônico do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Tais registros são disponibilizados no formato *.txt*, sendo seus *downloads* disponibilizados por pluviômetro, para os quais seleciona-se os anos, que resultam em um arquivo compactado, dividido mês a mês.

Foram selecionados os arquivos das 28 estações pluviométricas com as séries históricas completas (Tabela 3.2). Após a conclusão dos *downloads* dos 21 arquivos correspondentes aos anos para cada um dos 28 postos pluviométricos verificados, foi realizada a consolidação dos mesmos em uma única planilha, utilizando a ferramenta *Microsoft Office Excel*, ordenando-os a partir do dia 1º de janeiro de 1998 até o dia 31 de dezembro de 2018.

Os dados são distribuídos em diversas colunas para cada pluviômetro e dispostos em informações a cada 15 minutos, a cada 4 horas e a cada 24 horas. Para esta pesquisa, foram

utilizados os registros com intervalos de 15 minutos. Logo, essa base de dados foi utilizada para o cálculo de 5 (cinco) indicadores associados à precipitação. Esses índices possuem relevância para verificar os volumes de chuvas de cada pluviômetro ao longo do tempo, sendo possível compreender a forma com que a frequência e a intensidade das chuvas se distribuem no município do Rio de Janeiro.

Alguns dos indicadores aqui apresentados são baseados em índices de extremos climáticos propostos pelo *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI) no início dos anos 2000. O ETCCDMI foi estabelecido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo *Research Program Climate Variability and Predictability* (CLIVAR) para o desenvolvimento e análise de tendências observadas e projeções futuras em indicadores de extremos climáticos, especialmente associados à temperatura do ar e precipitação, sendo esse último o foco desse estudo. Uma das primeiras pesquisas que avaliam esses índices foi publicada por Frich *et al.* (2002) e posteriormente seguida por muitos outros trabalhos nos anos subsequentes em escalas global, regional e local.

A vantagem de utilizar indicadores pré-definidos é que eles possibilitam comparações em estudos que envolvam dados observados e modelagem numérica, além de diferentes regiões (Seneviratne *et al.*, 2012). A seguir, são apresentados os indicadores relacionados à precipitação verificados nesta pesquisa para o município do Rio de Janeiro.

3.2.1. Acumulados Pluviométricos Médios Anuais (PRCPTOT) e Mensais (PRCPTOTm)

A média é uma métrica da estatística descritiva que demonstra a concentração dos dados de uma distribuição. Dessa maneira, são analisados os totais pluviométricos médios anuais e mensais, conforme a seguinte Equação utilizada no *Microsoft Excel*:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad (1)$$

onde \bar{x} é a precipitação média, N é o número de observações e x_i é a chuva registrada em um determinado ano N .

Assim, torna-se possível estimar uma tendência central dos volumes de chuva anuais, além de visualizar a variabilidade sazonal da precipitação, caracterizando assim os meses mais

chuvosos e os meses mais secos do ano e, conseqüentemente, com maior e menor possibilidade de eventos extremos de chuvas, respectivamente. Além disso, por meio dos acumulados pluviométricos médios anuais e mensais, pode-se examinar o comportamento das chuvas em termos de intensidade nas diferentes zonas da cidade do Rio de Janeiro. Essa informação atualiza trabalhos feitos até então e é essencial para identificar áreas onde o fator ameaça (alagamentos, por exemplo) é mais enfático.

3.2.2. Total Anual de Dias com Precipitação acima de 30 mm (R30mm)

A frequência média anual de chuvas volumosas é examinada através do índice R30mm, que contabiliza os dias no ano em que a chuva total ultrapassou os 30 mm. A criação de uma tabela dinâmica no *Microsoft Excel* permitiu a realização desses cálculos. Desse modo, analogamente para a Equação 1, mas considerando x o total de dias com chuva acima de 30 mm, obteve-se os valores médios anuais de R30mm para cada pluviômetro.

3.2.3. Percentil 95 dos Totais Pluviométricos Diários (R95p)

O Percentil 95 é uma medida utilizada na estatística descritiva, que divide os dados em cem partes por ordem crescente e determina que 95% dos dados examinados estão abaixo desta grandeza. Logo, os 5% restantes representam os maiores valores da série de dados, os mais extremos do conjunto investigado. Dessa forma, procurou-se aqui estabelecer esses limiares (considerados como chuvas mais significativas para um dado período) para cada mês, além do valor anual.

3.2.4. Volume de Chuva Máximo em 1 Dia (RX1day)

As observações a cada 15 minutos acumuladas para cada 24h (0h às 23h59), além de terem sido utilizadas para o cálculo dos demais indicadores, também serviram para encontrar a maior chuva diária em cada um dos 12 meses entre 1998 e 2018. Dessa maneira, elabora-se uma análise correspondente aos maiores acumulados diários para cada mês em cada estação pluviométrica examinada.

3.2.5. Volume de Chuva Máximo em 5 Dias Consecutivos (RX5days)

Este índice representa a soma dos totais pluviométricos diários em 5 dias consecutivos. Logo, a partir de 1º de janeiro de 1998 soma-se o volume de chuvas desse dia e dos próximos 4 dias, e assim por diante com passos diários. Desse modo, faz-se uma avaliação correspondente aos maiores acumulados de chuva em 5 dias subsequentes para cada mês em cada posto pluviométrico investigado.

3.3. Estudos de Eventos de Forte Precipitação no Município do Rio de Janeiro

Como já demonstrado anteriormente, as chuvas intensas que ocorrem periodicamente na cidade do Rio de Janeiro são responsáveis por grandes desastres naturais, como inundações e deslizamentos de terra, que podem acarretar perdas de vidas e graves danos econômicos. Nessa dissertação, 3 (três) episódios extremos de chuvas severas no município (1998, 2010 e 2019) são minuciosamente examinados (estudos de caso) quanto ao fenômeno meteorológico, os prejuízos causados à população, a atuação da Defesa Civil e os aperfeiçoamentos nas ações de gerenciamento de risco.

Os dados observados de precipitação e as informações derivadas de jornais e periódicos são devidamente explanados. Além disso, destaca-se também o papel de resposta da Defesa Civil para evitar maiores perdas humanas e/ou patrimoniais nas áreas atingidas pelos desastres no município do Rio de Janeiro. Por fim, são apresentadas algumas medidas tomadas para aprimorar a prevenção do risco, tanto a nível operacional, como a implantação de sistemas para o dia a dia (como a inserção de sirenes de alerta), quanto a nível de planejamento, buscando alcançar uma solução ideal num prazo maior (como projetos de conscientização do risco).

3.4. Tendências e Projeções das Chuvas Intensas no Clima Futuro (2020-2099)

Após a análise pormenorizada dos indicadores associados a chuvas intensas ocorridos na cidade do Rio de Janeiro no período de 1998 a 2018, assim como os estudos específicos de caso onde houve chuvas extremas, busca-se verificar as tendências das projeções dessas precipitações severas para o futuro (próximas décadas), através da modelagem numérica de dados climáticos. Primeiramente, o comportamento dos indicadores de extremos de precipitação no decorrer dos últimos anos é apresentado para os dados observados. Esse tipo de

investigação mira na ratificação da importância na continuidade da tomada de medidas preventivas que visem a mitigação dos danos associados a eventos extremos de chuva que venham a causar desastres naturais.

Os dados utilizados para as projeções realizadas nesse trabalho foram extraídos da plataforma PROJETA (Projeções de Mudança do Clima para a América do Sul Regionalizadas pelo Modelo Climático Regional Eta), disponíveis no sítio eletrônico <https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard>. A PROJETA permite o acesso amplo e irrestrito a diversos parâmetros climáticos disponíveis, e visa atender as demandas dos usuários por acesso aos dados das projeções climáticas gerados pelo CPTEC/INPE, tratados e compatíveis com programas e plataformas de análises setoriais (Figura 3.3.1).

Figura 3.3 – Página eletrônica inicial da plataforma PROJETA.

Na coleta dos dados, foram selecionados três conjuntos de informações do modelo climático regional Eta aninhado ao modelo climático global MIROC5 (Eta-MIROC5; Chou *et al.*, 2014) – Histórico, RCP4.5 e RCP8.5 – extraídos em formato CVS (valores separados por vírgulas). A frequência analisada foi “diária”, a localização selecionada foi “por município”, no caso a cidade do Rio de Janeiro, correspondente à delimitação geográfica deste trabalho. O período associado aos dados históricos é de 1961 a 2005, enquanto o período das projeções futuras RCP4.5 e RCP8.5 é de 2020 a 2099. Os RCPs correspondem aos cenários de mudanças climáticas propostos pelo AR5 do IPCC (2013), como mostrado no capítulo anterior.

Os dados anuais dos dois cenários de projeções gerados foram subtraídos da média histórica do modelo (1961 a 2005) e são apresentados para o futuro (2020 a 2099) em termos

de diferenças percentuais. Em seguida, os dados de cada ano foram organizados entre o mínimo e o máximo de cada cenário para verificar a amplitude dos mesmos ao longo do período projetado, fornecendo assim a dimensão da incerteza. Logo, a faixa entre as projeções mínima e máxima poderiam simbolizar os possíveis valores para o futuro. Além disso, os resultados exibem também a média anual entre esses valores mínimo e máximo, assim como a sua curva de regressão ajustada para apontar o sinal da tendência para o futuro. Esses cálculos foram computados para os 5 (cinco) indicadores apresentados anteriormente, considerando agora somente uma modificação do índice R95d (aqui chamado de R95p):

- PRCPTOT (Acumulado Pluviométrico Anual);
- R30mm (Dias do ano com Chuvas Maiores que 30 mm);
- R95p (Total Pluviométrico Anual dos Dias em que PREC for maior que o Percentil 95 da Climatologia);
- RX1day (Maior Volume de Chuvas em 1 Dia);
- RX5day (Maior Volume de Chuvas em 5 Dias Consecutivos).

Capítulo 4 – RESULTADOS

4.1. Análise da Climatologia de Chuvas Fortes na Cidade do Rio de Janeiro (1998-2018)

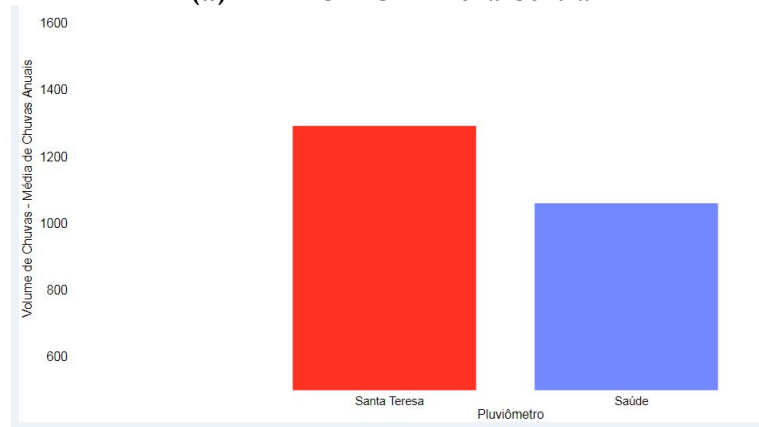
4.1.1. Acumulados Pluviométricos Anuais Médios (PRCPTOT)

A Figura 4.1 apresenta os totais pluviométricos médios anuais na cidade do Rio de Janeiro para o período de 1998 a 2018. Das quatro Zonas analisadas, a Zona Central é a que apresenta o menor número de pluviômetros, apenas dois, Saúde e Santa Teresa. Nessa Zona do município, o bairro de Santa Tereza exibe os maiores volumes anuais de chuva, com cerca de 1.300 mm (Figura 4.1a). A Zona Norte é área onde estão localizados dez pluviômetros: Anchieta, Grajaú, Grande Méier, Ilha do Governador, Irajá, Madureira, Penha, Piedade, São Cristóvão e Tijuca. Nessa área da cidade, o bairro da Tijuca alcança até 1.500 mm de acumulados pluviométricos médios anuais (Figura 4.1b).

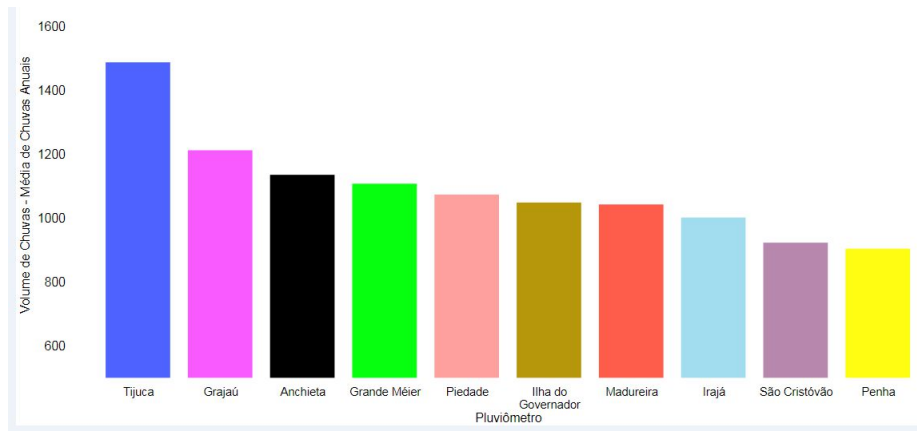
A Zona Oeste do município do Rio de Janeiro é a maior porção da cidade e apresenta os seguintes pluviômetros: Bangu, Campo Grande, Cidade de Deus, Grota Funda, Guaratiba, Recreio dos Bandeirantes, Rio Centro, Santa Cruz, Sepetiba e Tanque. Os acumulados pluviométricos médios mensais atingem em torno de 1.500 no bairro da Grota Funda (Figura 4.1c). Para a análise da chuva associada às estações localizadas na Zona Sul, foram analisados seis pluviômetros: Copacabana, Jardim Botânico, Laranjeiras, Rocinha, Urca e Vidigal. Nessa região da cidade, o pluviômetro da Rocinha ultrapassa os 1.600 mm de totais pluviométricos médios anuais (Figura 4.1d), resultando na área mais chuvosa do município (Figura 4.1e).

Frequentemente, o bairro da Tijuca, na Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro, sofre com transtornos associados aos acentuados volumes de chuva que ocorrem em episódios de tempestades, logo é uma das principais áreas que merecem precaução quando o município entra em estágio de atenção devido às chuvas fortes. A comunidade da Rocinha, na Zona Sul da cidade, é outro setor que necessita de enfático monitoramento diante de eventos de precipitação intensa, uma vez que enxurradas e deslizamentos pelas ruas e vielas são comuns nessas condições meteorológicas.

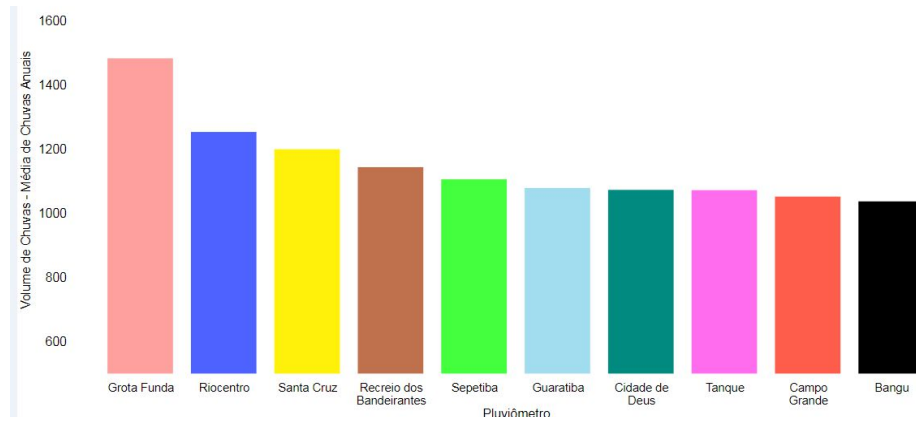
(a) PRCPTOT – Zona Central



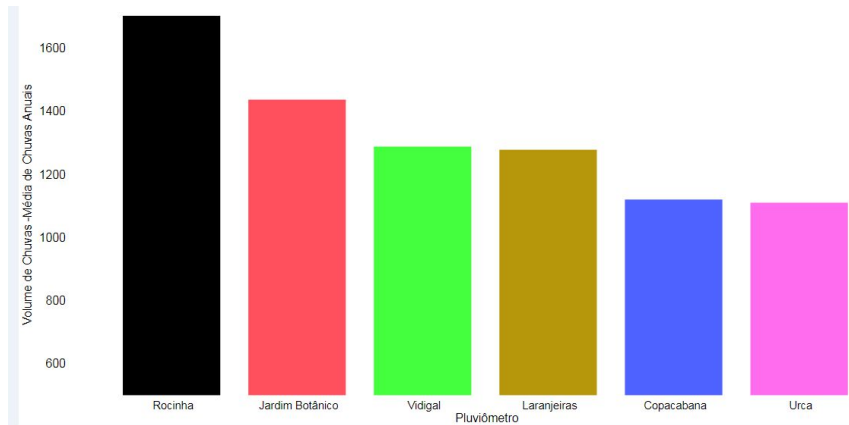
(b) PRCPTOT – Zona Norte



(c) PRCPTOT – Zona Oeste



(d) PRCPTOT – Zona Sul



(e) PRCPTOT – Média das Zonas

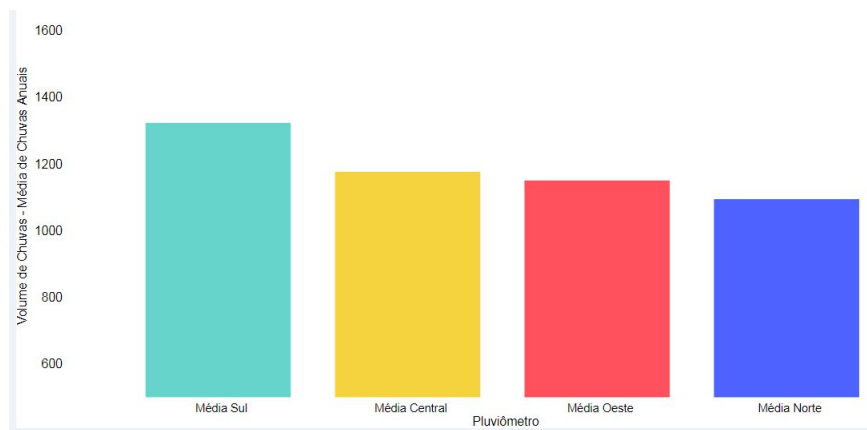


Figura 4.1 - Acumulados pluviométricos médios anuais (PRCPTOT) na cidade do Rio de Janeiro para as Zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste e (d) Sul e (e) média das Zonas.

4.1.2. Acumulados Pluviométricos Mensais Médios (PRCPTOTmês)

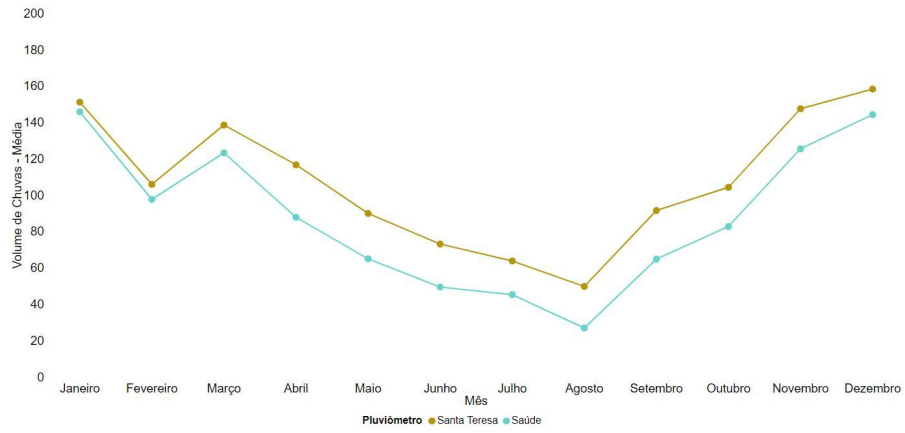
Os acumulados pluviométricos médios mensais da Zona Central da cidade do Rio de Janeiro (Figura 4.2a) demonstram que a estação de Santa Teresa apresenta as maiores médias para todos os meses em relação ao pluviômetro do bairro Saúde, atingindo seu valor máximo em dezembro (158,5 mm) e seu mínimo em agosto (50,0 mm). Os dois pluviômetros apresentam comportamento semelhante ao longo dos meses. O bairro de Santa Teresa está mais próximo do Maciço da Tijuca, onde as chuvas orográficas ganham intensidade, logo registra os maiores totais pluviométricos. Na análise dos volumes de chuva médios mensais da Zona Norte do município do Rio de Janeiro (Figura 4.2b), o pluviômetro da Tijuca apresentou as maiores

médias em todos os meses (mais uma vez influenciado pelo aspecto do relevo), com exceção de janeiro, que é o mês que detém a maior média dessa região, alcançando 203,5 mm no bairro de Anchieta. Os menores acumulados pluviométricos médios mensais da Zona Norte são registrados na Penha.

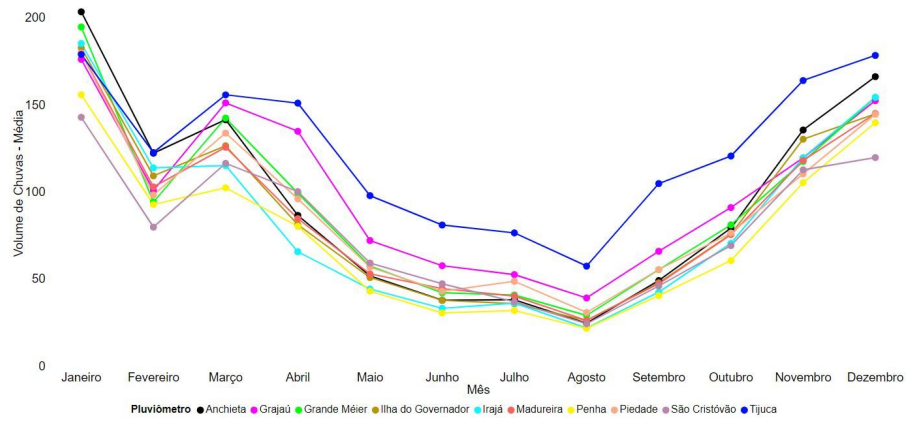
Na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro (Figura 4.2c), o pluviômetro da Grota Funda apresentou as maiores médias em todos os meses, exceto fevereiro, registrando no mês de janeiro a maior média (206,2 mm). Provavelmente isso se deve ao fato da localização desse bairro no extremo oeste da cidade, que recebe primeiramente os principais sistemas meteorológicos transientes vindos do sul do Estado do Rio de Janeiro. Na análise dos totais pluviométricos médios mensais da Zona Sul do município do Rio de Janeiro (Figura 4.2d), o pluviômetro da Rocinha apresenta as maiores médias em todos os meses observados, com exceção de fevereiro, sendo o mês de novembro com a maior média dessa região (190,1 mm). A questão da topografia afeta de maneira acentuada também as chuvas nessa área da cidade, em especial na Rocinha e no Jardim Botânico. A umidade que vem do mar em direção ao continente encontra o relevo e tais bairros estão praticamente localizados em suas encostas, recebendo as chuvas ali originadas. Já os pluviômetros de Copacabana e da Urca apresentam as menores médias dos pluviômetros da Zona Sul no transcurso do ano.

Ao avaliarmos o gráfico que apresenta os volumes de chuva médios mensais de cada Zona do município do Rio de Janeiro (Figura 4.2e), nota-se que as médias da Zona Sul são as maiores na maioria dos meses. A exceção fica por conta dos meses de verão, onde principalmente os bairros da Zona Norte registram maiores acumulados de chuva. Isso pode ser explicado pelas chuvas convectivas que se formam na região Serrana e na Baixada Fluminense e se deslocam em direção à cidade do Rio de Janeiro, atingindo primeiramente a Zona Norte do município. Já nos meses de inverno, predominam as passagens de frentes frias que, especialmente ao ocasionarem circulação marítima, influenciam principalmente os bairros da Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro.

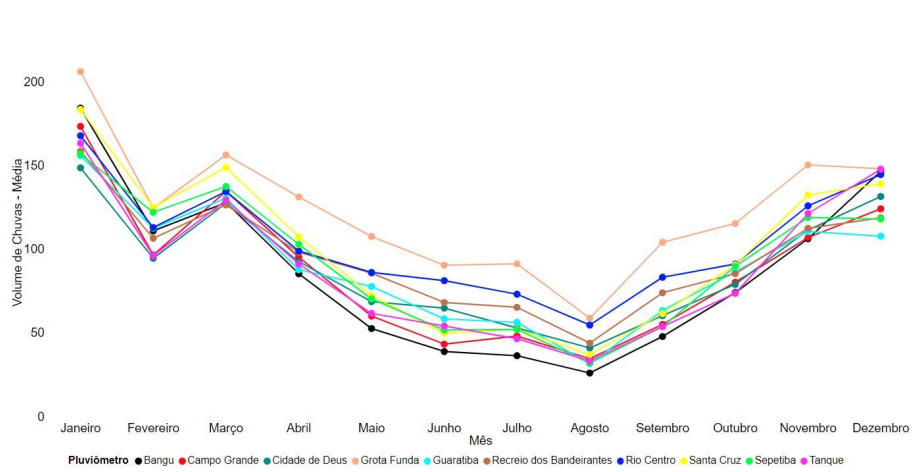
(a) PRCPTOTmês – Zona Central



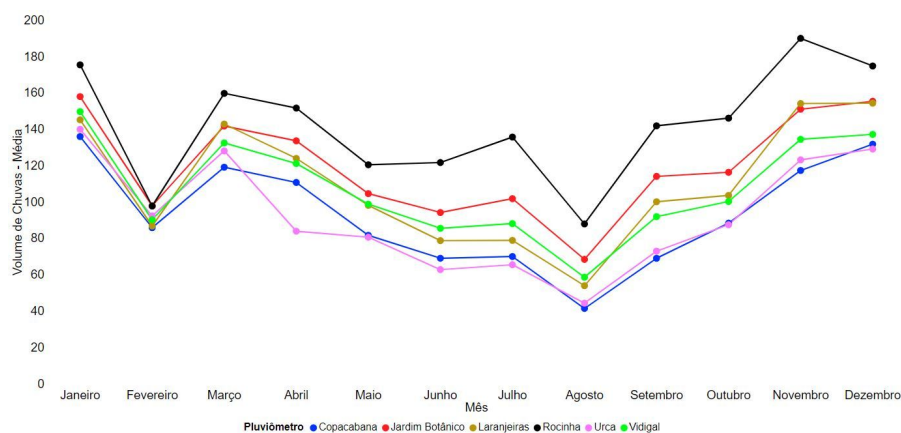
(b) PRCPTOTmês – Zona Norte



(c) PRCPTOTmês – Zona Oeste



(d) PRCPTOTmês – Zona Sul



(e) PRCPTOTmês – Média das Zonas

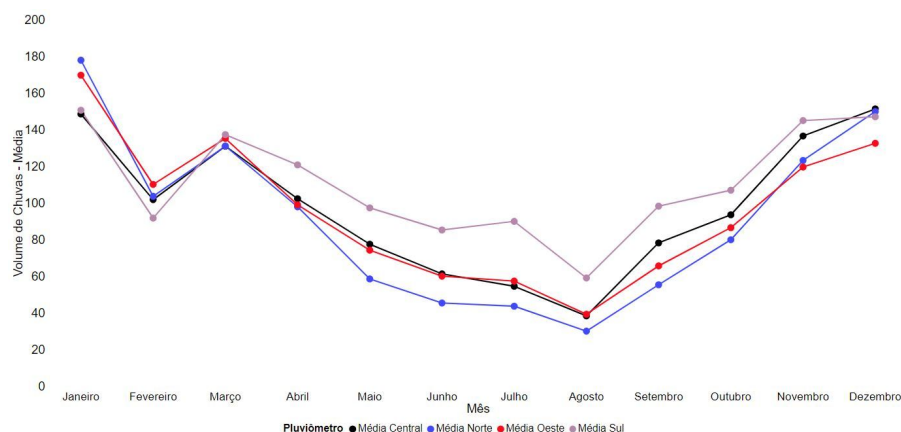


Figura 4.2 - Acumulados pluviométricos médios mensais (PRCPTOTmês) na cidade do Rio de Janeiro para as Zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) média das Zonas.

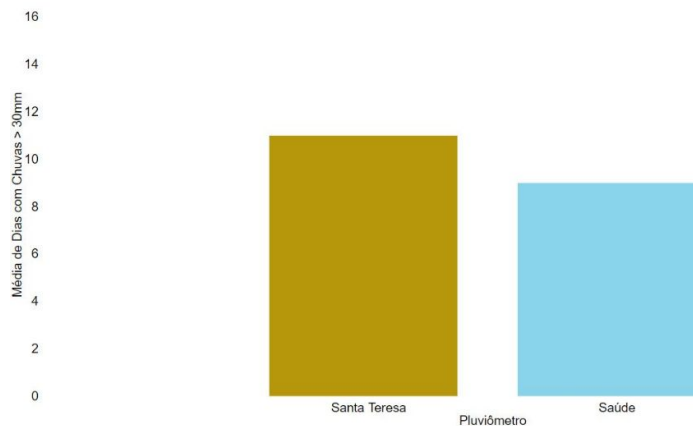
4.1.3. *Frequência Média Anual dos Dias com Chuvas acima de 30 mm (R30mm)*

A Figura 4.3 apresenta a frequência média anual dos dias com chuvas acima de 30 mm na cidade do Rio de Janeiro para o período de 1998 a 2018. Dos dois pluviômetros da Zona Central, o de Santa Tereza exhibe a maior média anual para o período, com 11 dias (Figura 4.3a). Os acumulados pluviométricos médios anuais para a Zona Norte são mais altos no pluviômetro da Tijuca e, conseqüentemente, registra em média 13 dias de R30mm. Ainda na Zona Norte, o pluviômetro da Penha é o que exhibe a menor média anual para o período, com 6 dias. (Figura 4.3b).

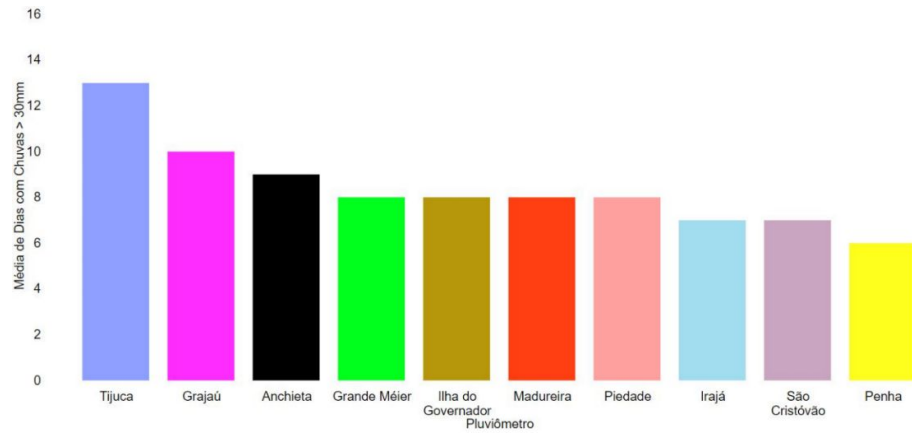
As médias anuais para a Zona Oeste se assemelham com os resultados da Zona Norte, sendo o pluviômetro da Grota Funda o pluviômetro com a maior média anual dos dias acima de 30 mm para o período, também com 13 dias (Figura 4.3c). A Zona Sul foi a Zona que registrou a maior média de todos os pluviômetros, com 17 dias em média registrados pelo pluviômetro da Rocinha, valor este coadunado aos acentuados acumulados pluviométricos computados nessa área. Nesta Zona, a menor média foi registrada pelo pluviômetro de Copacabana, com 8 dias em média para o período (Figura 4.3d).

Logo, analisando as médias para cada uma das quatro regiões da cidade do Rio de Janeiro, a Zona que apresentou a maior média de dias de chuva acima de 30 mm foi de fato a Zona Sul (12 dias), enquanto a que apresentou a menor média de dias de R30mm foi a Zona Norte, com 8 dias (Figura 4.3e). Diante de tais resultados, pode-se afirmar que o município segue um padrão coerente de frequência de dias com chuvas expressivas relacionadas diretamente aos maiores totais pluviométricos de cada posto, assim como sua intensidade, analisada a seguir.

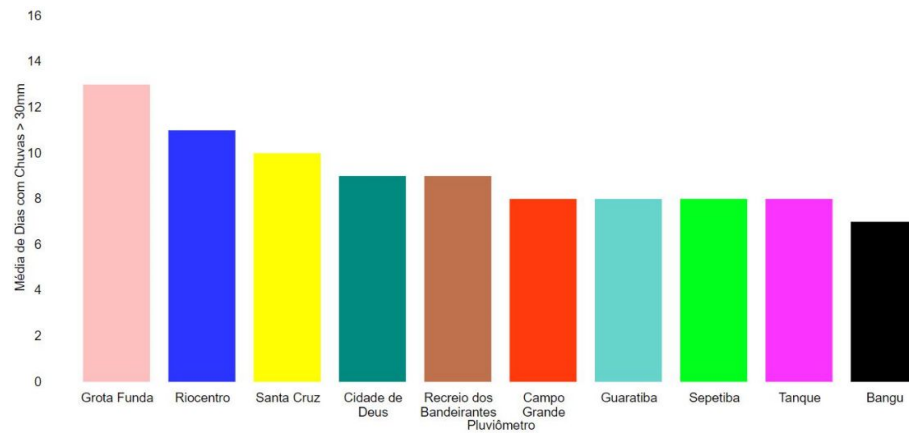
(a) R30mm – Zona Central



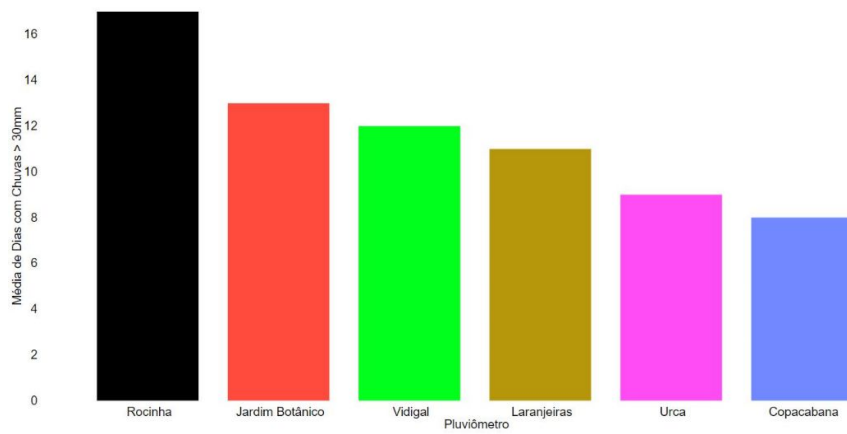
(b) R30mm – Zona Norte



(c) R30mm – Zona Oeste



(d) R30mm – Zona Sul



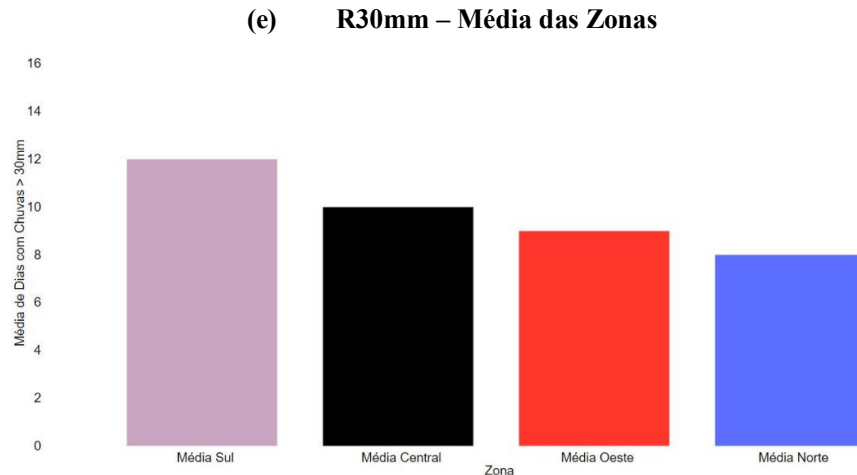


Figura 4.3 – Frequência média anual de dias com precipitação acima de 30 mm (R30mm) na cidade do Rio de Janeiro para as Zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) média das Zonas.

4.1.4. Percentil 95 dos Totais Pluviométricos Diários (R95p – Chuvas Intensas)

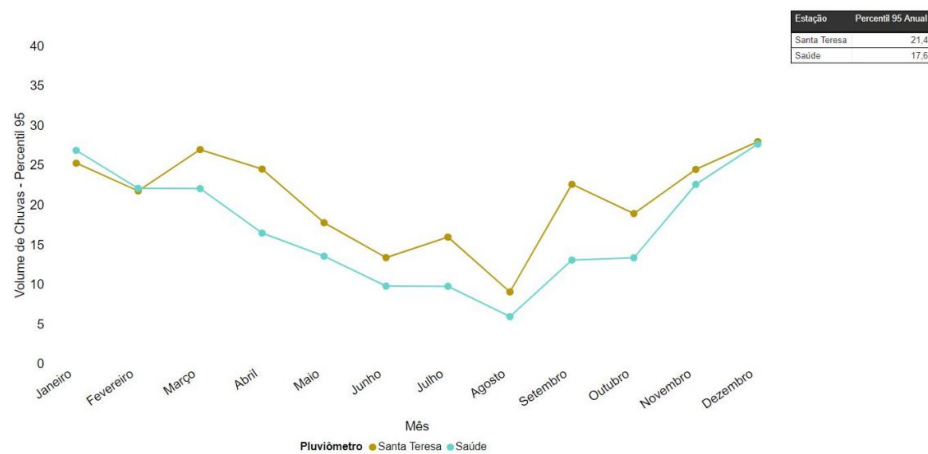
O comportamento mensal do indicador R95p é apresetado na Figura 4.4, onde mostra-se também os valores anuais no quadro situado no canto superior direito dos gráficos. Em relação aos limiares das chuvas intensas em 24h (R95p) da Zona Central da cidade do Rio de Janeiro (Figura 4.4a), o pluviômetro que apresentou o maior percentil 95 dos acumulados pluviométricos diários foi o de Santa Teresa, com 28 mm no mês de dezembro. O pluviômetro de Santa Teresa apresentou os maiores percentis 95 dos acumulados pluviométricos diários em grande parte dos meses para o período de 1998 a 2018, levando-se em conta o motivo já mencionando anteriormente, ou seja, a proximidade com o relevo favorecendo chuvas mais enfáticas. Na Zona Norte do município (Figura 4.4b), o pluviômetro que apresentou o maior percentil 95 dos acumulados pluviométricos diários foi da Tijuca, com 35 mm no mês de março. O bairro do Grajaú, ao lado da Tijuca e próximo ao Parque Nacional da Tijuca também registra valores elevados de P95dia. Esses bairros possuem histórico de significativos acumulados de chuva que causam sérios transtornos à população local.

O pluviômetro que apresentou o maior percentil 95 dos acumulados pluviométricos diários da Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro foi o de Bangu (Figura 4.4c), com 35,3 mm em janeiro. Contudo, ao longo de todo o ano, o pluviômetro da Grota Funda é o que apresenta os maiores percentis 95 dos acumulados pluviométricos diários na maior parte dos meses para o período de 1998 a 2018. Áreas de instabilidade que se formam na região da Costa Verde do Estado do Rio de Janeiro comumente conseguem atingir essa porção da cidade e, algumas

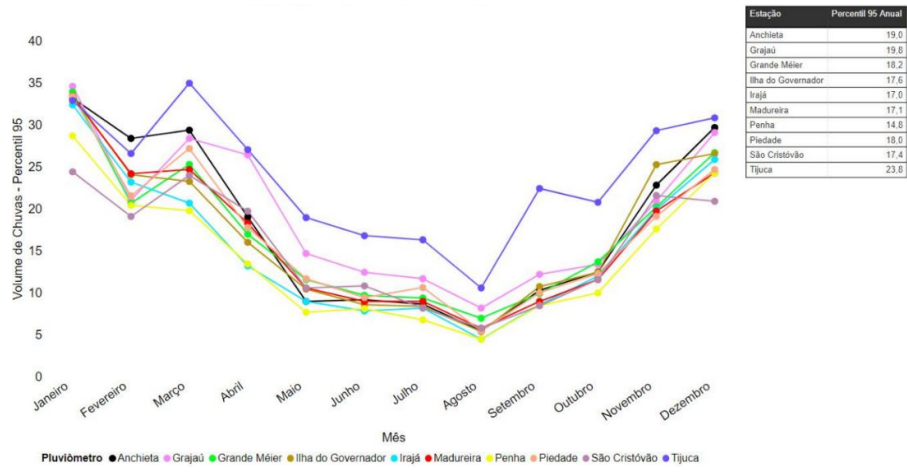
vezes, perdem intensidade à medida que avançam para as demais áreas do município. Em relação à Zona Sul da cidade (Figura 4.4d), o pluviômetro da Rocinha apresenta o maior percentil 95 em volume de chuvas, com 35,0 mm no mês de novembro, assim como observado para os totais pluviométricos médios mensais. Essa região do município merece especial atenção em virtude da acentuada concentração populacional na encosta de uma região com expressivo relevo.

Em relação às médias das quatro Zonas (Figura 4.4e) do município do Rio de Janeiro, é possível inferir que a Zona Sul apresenta uma média maior do que as outras áreas para grande parte dos meses, e que a Zona Norte apresenta as menores médias dos percentis 95 para o mesmo período de análise. No entanto, durante o período do verão (de dezembro a março), para o qual são registrados os maiores volumes de chuva, a média da Zona Norte em janeiro foi a maior de todos os meses (32,9 mm), assim como observado para os acumulados médios mensais. Verifica-se que a Zona Sul da cidade é a que possui menor variabilidade intersazonal em relação às chuvas intensas. Logo, esse setor da cidade parece ser um dos mais vulneráveis em relação a volumes de chuva diários mais altos no decorrer de todo o ano, seja pelas chuvas convectivas mais fortes do verão ou até mesmo pela frequente atuação de sistemas frontais durante o inverno. Em contrapartida, são raros os casos de chuvas intensas na Zona Norte do município ao longo do inverno.

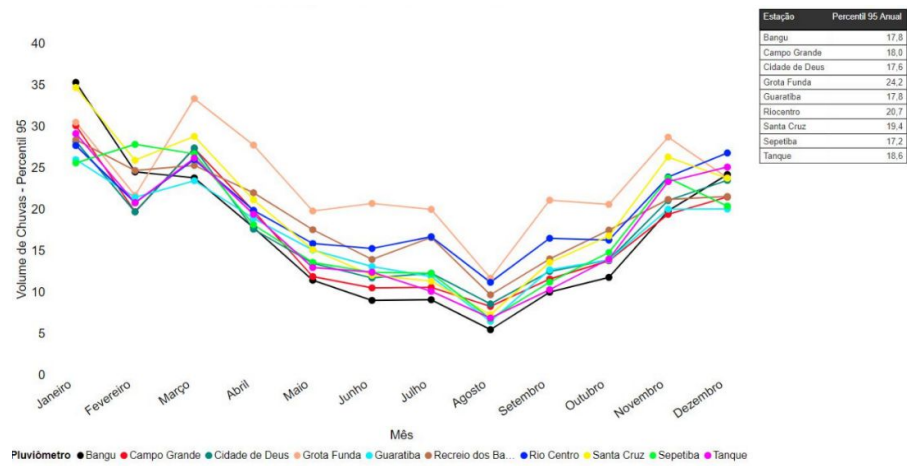
(a) R95p – Zona Central



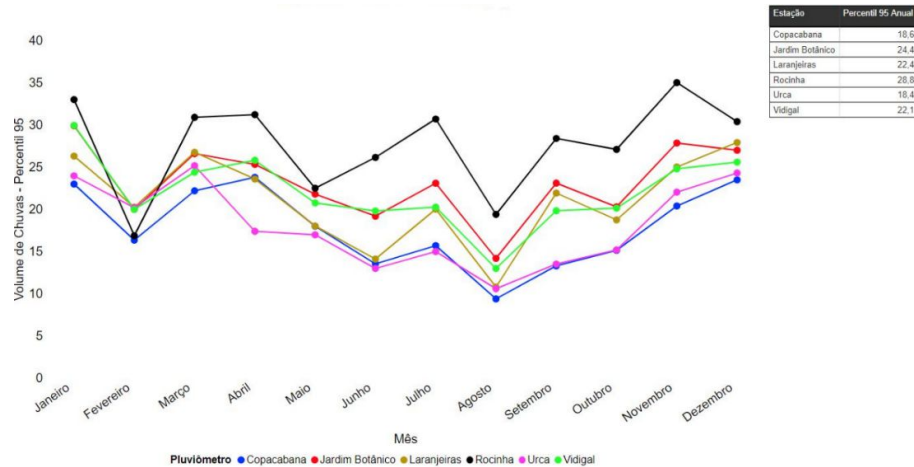
(b) R95p – Zona Norte



(c) R95p – Zona Oeste



(d) R95p – Zona Sul



(e) R95p – Média das Zonas

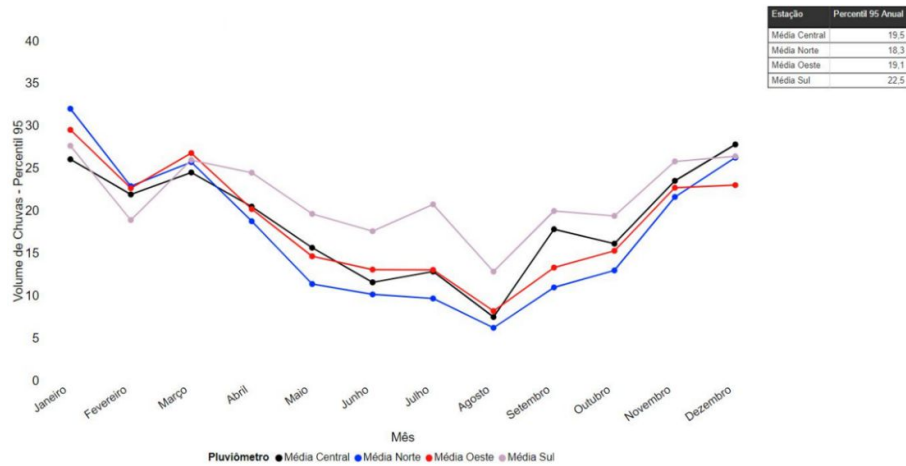


Figura 4.4 - Percentil 95 dos Totais Pluviométricos Diários (R95p – Chuvas Intensas) na cidade do Rio de Janeiro para as Zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste e (d) Sul e (e) média das Zonas.

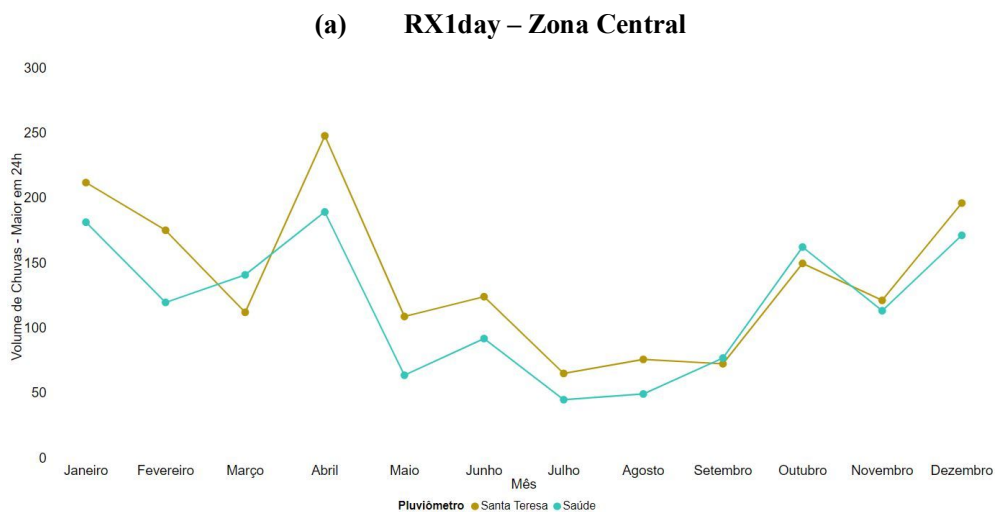
4.1.5. Volumes Máximos de Chuva em 24h (RX1day – Chuvas Extremas)

Os dados de chuvas acumuladas em 24h foram examinados a fim de buscar as maiores chuvas diárias de cada região da cidade do Rio de Janeiro (chuvas extremas). No período de análise (1998 – 2018) foi extraído o dia de cada mês em que ocorreu a maior chuva diária do mês para cada pluviômetro. Os gráficos da Figura 4.5 apresentam o maior volume de chuva em 24h dentro do período investigado para cada mês do ano.

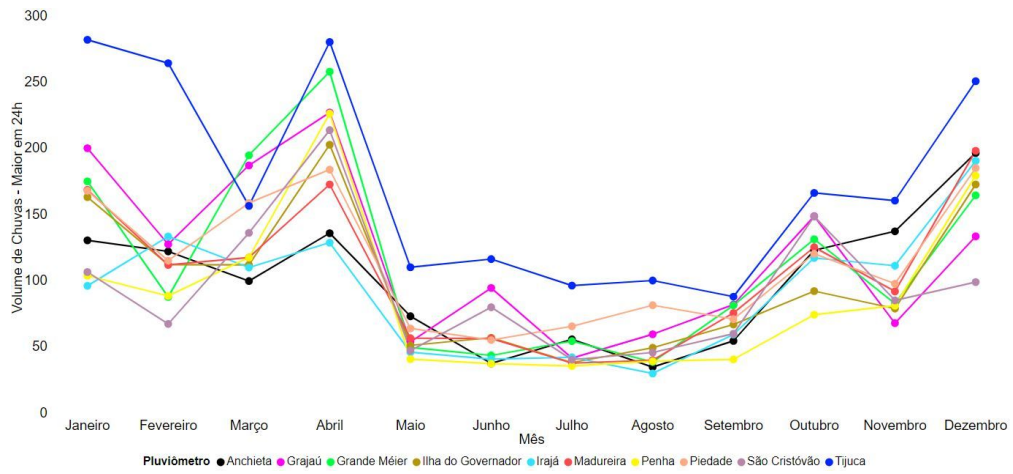
Ao observar os gráficos de maiores chuvas para a Zona Central (Figura 4.5a), é possível perceber que, mais uma vez, Santa Teresa é o pluviômetro com as maiores chuvas em quase todos os meses, exceto em março, setembro e outubro. O maior volume de chuva em 24h foi registrado em Santa Teresa no mês de abril, especificamente no ano de 2010, com o acumulado de 248,0 mm. Esse período refere-se à tragédia do morro do Bumba, em Niterói (cidade da região Metropolitana do Rio de Janeiro), onde 46 pessoas morreram soterradas em virtude de um deslizamento de encosta sobre várias residências. O gráfico para a Zona Norte (Figura 4.5b) demonstrou que o pluviômetro da Tijuca foi o que registrou as maiores chuvas em todos os meses, exceto março, apresentando o volume máximo de 281,9 mm em janeiro de 1998, mais precisamente no dia 08, quando 6 horas seguidas de chuva forte fizeram a cidade entrar em colapso.

Ao analisar as maiores chuvas em 24h da Zona Oeste (Figura 4.5c), nota-se que o pluviômetro de Campo Grande registrou a maior chuva dessa área, com volume de 274,5 mm em março, no ano de 2000. Outros bairros da Zona Oeste da cidade também registraram chuvas extremas nesse mesmo período. Na análise das maiores chuvas em 24h realizada na Zona Sul (Figura 4.5d) da cidade do Rio de Janeiro, o pluviômetro da Rocinha apresentou a maior chuva dessa área em 24h em quase todos os meses, com máximo de 304,6 mm em abril, no ano de 2010, assim como em Santa Tereza na Zona Central. Nesse período, a chegada de uma frente fria, combinada com uma atmosfera carregada de umidade e o calor, foi um gatilho para a tempestade entre a tarde e a noite do dia 05 de abril de 2010.

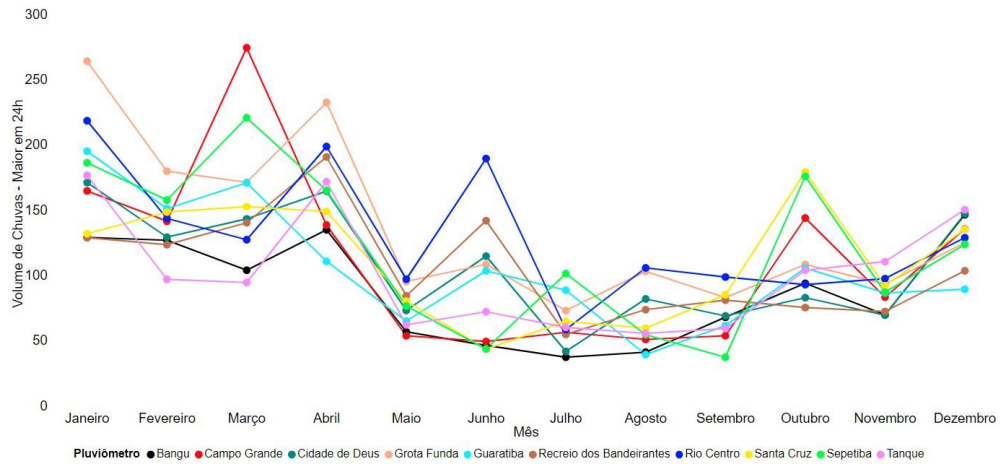
Para a média de todas as áreas do município em relação às maiores chuvas em 24h (Figura 4.5e), é possível perceber mais uma vez a predominância da Zona Sul no período de abril a setembro. A mesma apresentou a maior média das chuvas extremas de todas as regiões (249,7 mm) no mês de abril. A Zona Sul da cidade é muito mais influenciada pela circulação marítima, principalmente após a passagem de frentes frias, que são mais frequentes nessa época do ano. Logo, os acumulados pluviométricos em 24h tendem a ser mais elevados nessa porção da cidade entre o final do outono e o início da primavera. As demais áreas do município possuem seus máximos totais de chuva em 24h essencialmente entre o final da primavera e o início do outono, uma vez que as “chuvas de verão” associadas ao calor e à umidade são mais frequentes nessas regiões.



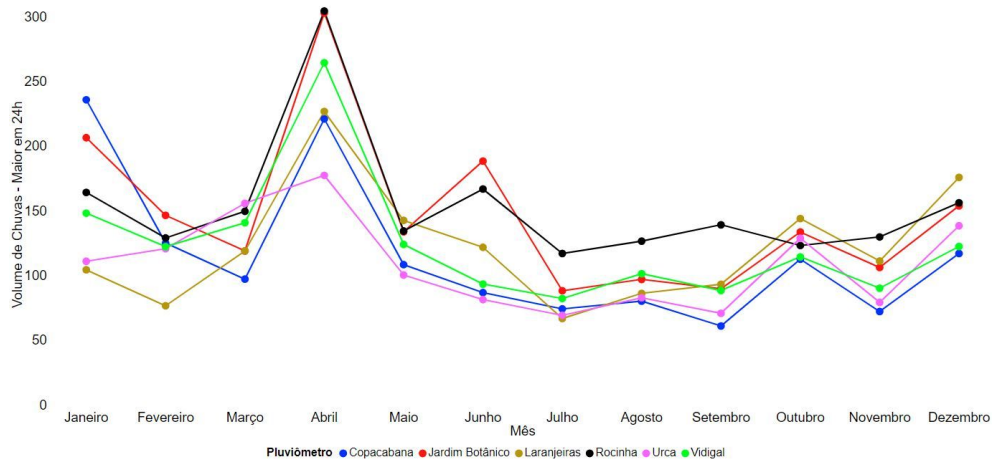
(b) RX1day – Zona Norte



(c) RX1day – Zona Oeste



(d) RX1day – Zona Sul



(e) RX1day – Média das Zonas

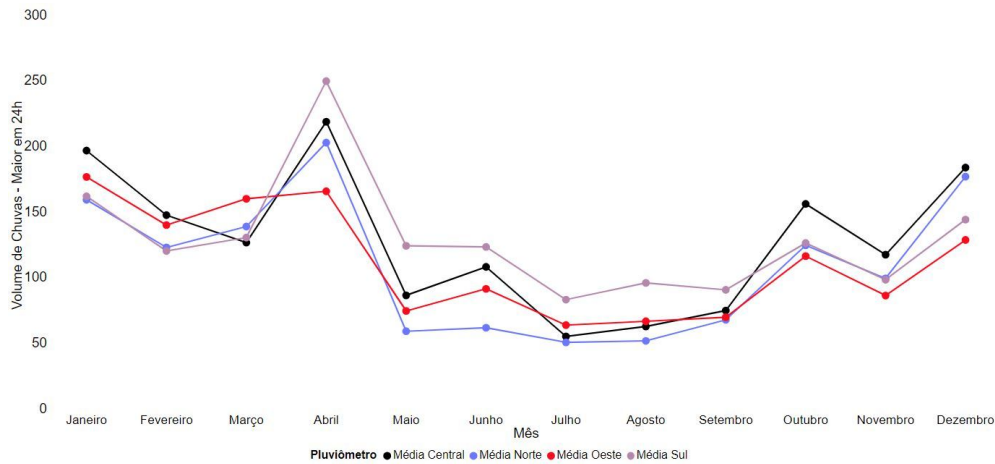


Figura 4.5 - Volumes Máximos de Chuva em 24h na cidade do Rio de Janeiro (RX1day – Chuvas Extremas) para as Zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) média das Zonas.

4.1.6. Volumes Máximos de Chuva em 5 Dias Consecutivos (RX5days – Chuvas Severas)

Em relação às chuvas severas ocorridas na cidade do Rio de Janeiro, buscou-se os maiores acumulados pluviométricos em 5 dias consecutivos (RX5days) para cada mês dentro do período analisado (1998 a 2018). Na Zona Central do município (Figura 4.6a), o pluviômetro que apresentou a maior chuva em 5 dias consecutivos dos acumulados pluviométricos foi o de Santa Teresa, com 328,2 mm entre 5 e 9 de abril de 2010. O pluviômetro de Santa Teresa apresentou as maiores chuvas em 5 dias consecutivos na maioria dos meses, exceto em março e outubro. Na Zona Norte do município (Figura 4.6b), o pluviômetro que apresentou o maior volume de chuvas em 5 dias consecutivos foi da Tijuca, com 391,6 mm também entre 5 e 9 de abril de 2010. Esse pluviômetro apresentou os maiores volumes de chuvas em quase todos os meses, exceto em março e dezembro. A tempestade que ocorreu no dia 5 de abril de 2010 e as chuvas contínuas que ocorreram nos dias subsequentes causaram diversos transtornos à cidade do Rio de Janeiro. Nessa região da Tijuca, os bombeiros utilizaram botes salva-vidas para resgatar pessoas que ficaram presas com o transbordamento do rio Maracanã, que corta o bairro.

O pluviômetro que apresentou o maior volume de chuvas em 5 dias consecutivos da Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro foi o da Grota Funda (Figura 4.6c), com 374,0 mm também entre 5 e 9 de abril de 2010. Contudo, ao longo de todo o ano, ele apresentou volumes menores que nos outros pluviômetros em metade dos meses para o período de 1998 a 2018. Em

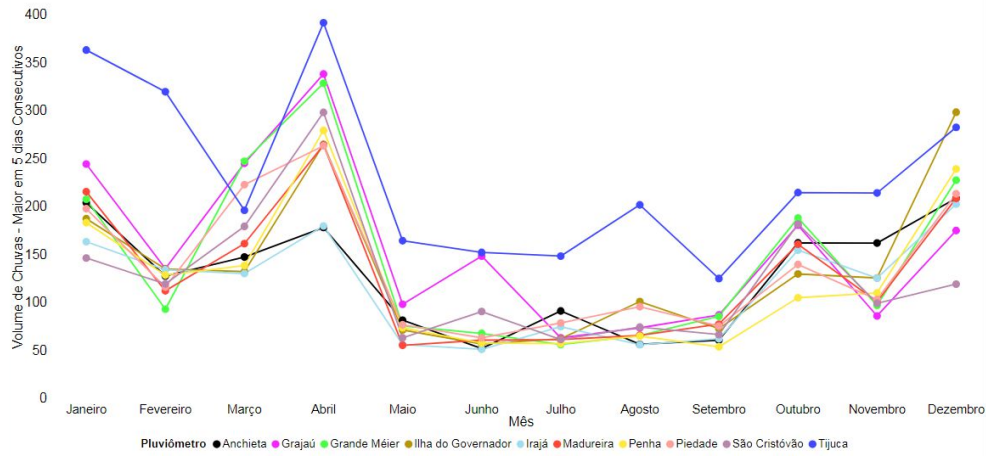
relação à Zona Sul da cidade (Figura 4.6d), o pluviômetro da Rocinha mais uma vez predomina com os maiores volumes de chuva em 5 dias consecutivos em quase todos os meses, exceto para janeiro, março e maio. Ele apresentou seu máximo no mês de abril com 415,2 mm entre 5 e 9 de abril de 2010.

Em relação às médias das quatro Zonas (Figura 4.6e) do município do Rio de Janeiro, verifica-se que a Zona Sul apresenta uma média maior do que as outras Zonas para grande parte dos meses, enquanto a Zona Norte apresenta as menores médias do maior volume de chuvas em 5 dias consecutivos para o mesmo período de análise. A maior média fica por conta da Zona Sul do município com 337,0 mm no mês de abril, influenciados fundamentalmente pelo evento extremo ocorrido no ano de 2010. Entretanto, é importante observar que os meses de dezembro e janeiro também são períodos em que enfáticos totais pluviométricos são registrados por dias consecutivos, uma vez que condições de calor e umidade estão frequentemente presentes na cidade nessa época do ano.

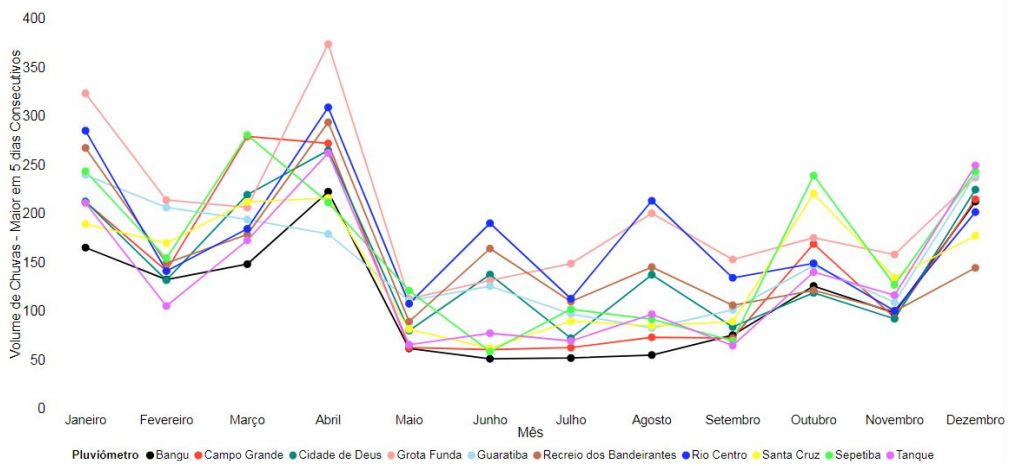
(a) RX5days – Zona Central



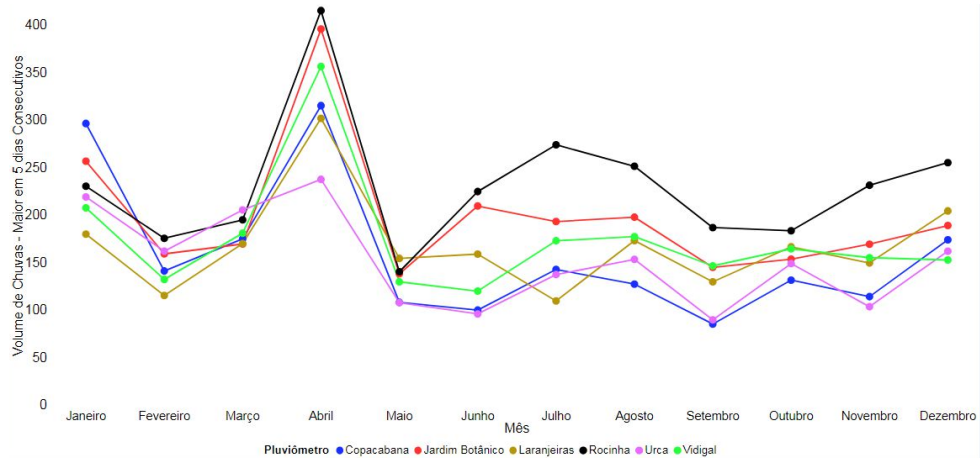
(b) RX5days – Zona Norte



(c) RX5days – Zona Oeste



(d) RX5days – Zona Sul



(e) RX5days – Média das Zonas

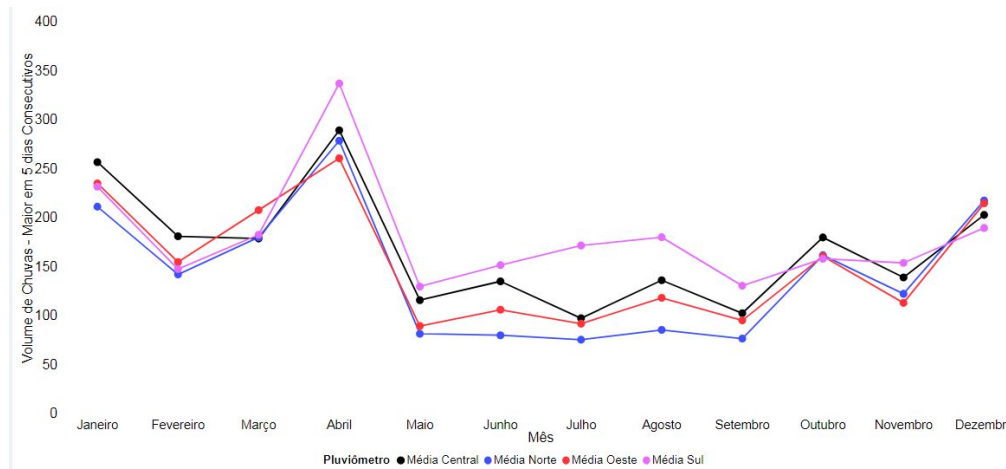


Figura 4.6 - Volumes Máximos de Chuva em 5 Dias Consecutivos (RX5days – Chuvas Severas) na cidade do Rio de Janeiro para as Zonas (a) Central, (b) Norte, (c) Oeste, (d) Sul e (e) média das Zonas.

4.2. Avaliação de Episódios de Precipitações Intensas ocorridos no Município do Rio de Janeiro e Ações de Defesa Civil

4.2.1. O Rio de Janeiro em Colapso com as Chuvas de Janeiro de 1998

A chuva forte que aconteceu no dia 08 de janeiro de 1998 causou uma acentuada crise na cidade do Rio de Janeiro. Segundo registros do Jornal Folha de São Paulo, “seis horas de chuva forte e constante levaram a cidade ao caos”. Os alagamentos ocorreram em diversos pontos da cidade (Figura 4.7). A Rádio Bras (atual EBC) publicou em seu sítio eletrônico em 09/01/1998: “(...) Em toda a cidade, carros arrastados pela enchente, pessoas com água pela cintura”. A Defesa Civil registrou no município do Rio de Janeiro 237 ocorrências em razão das fortes chuvas, como deslizamentos, quedas de árvores, inundações e desabamentos.



Figura 4.7 - Enchente após forte temporal em janeiro de 1998 na comunidade Rio das Pedras, em Jacarepaguá, na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Agência O Globo, 1998).

Conforme informações da imprensa, 6 pessoas morreram em consequência das chuvas, cerca de 1.000 pessoas ficaram desalojadas e dezenas de famílias ficaram desabrigadas. A primeira morte foi a de um vendedor no bairro do Catete, na Zona Sul da cidade, afogado após sofrer uma descarga elétrica. Outra vítima faleceu atingida por uma árvore na Praça XV, na Zona Central. Dois corpos foram encontrados com sinais de afogamento, um em Jacarepaguá, na Zona Oeste, e outro na Praça da Bandeira, na Zona Norte. Também foram registradas duas mortes no município vizinho de Duque de Caxias, na Baixada Fluminense, onde um homem morreu devido a uma descarga elétrica e outro foi soterrado após um deslizamento de terra, segundo a Folha de São Paulo.

Os acumulados de chuva em 24 horas mensurados por 30 pluviômetros da GeoRio no mês de janeiro de 1998 são apresentados na Figura 4.8, onde é possível visualizar o grande volume de chuva ocorrido nos dias 08 e 09 de janeiro de 1998. Nota-se que em diversos bairros, o total pluviométrico de 24h superou a média histórica para o mês de janeiro, cujo valor fica em torno de 150 mm, como visto na sessão anterior (Figura 4.2). O bairro mais afetado pelas fortes chuvas foi Jacarepaguá, na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, sendo que essa região também já havia sido enfaticamente atingida por outras enchentes dois anos antes, em 1996. Houve o transbordamento do rio Grande e as águas cobriram as ruas, viraram carros e caminhões e deixaram aproximadamente 105 famílias desabrigadas ou temporariamente desalojadas.

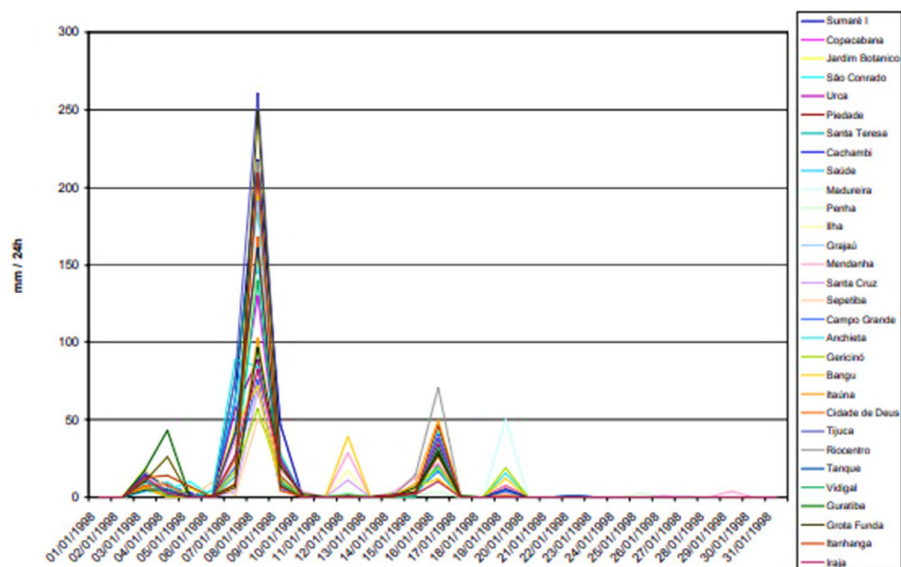


Figura 4.8 - Acumulados diários de precipitação no mês de janeiro de 1998 em 30 estações pluviométricas da rede telemétrica da GeoRio (Fonte: Barcellos, 2009).

As chuvas de janeiro de 1998 causaram muitos outros estragos pela cidade do Rio de Janeiro. De acordo com a Comlurb (Companhia de Limpeza Urbana do Município do Rio de Janeiro), cerca de 1.000 toneladas de lixo foram recolhidas. O abastecimento de energia elétrica também foi impactado, pois as galerias da Light, companhia de eletricidade da cidade, ficaram inundadas. Cerca de 60 mil pessoas em 28 bairros ficaram sem o fornecimento de energia por horas. Na ocasião, houve também desabastecimento de gás encanado e até mesmo as telecomunicações foram afetadas, com pelo menos 12 mil linhas telefônicas interrompidas.

A mobilidade na cidade do Rio de Janeiro também foi afetada de maneira expressiva. Segundo o Jornal O Globo, milhares de pessoas ficaram impossibilitadas de voltarem para casa na noite da tempestade. Durante a chuva, 13 pessoas foram resgatadas pelos bombeiros por estarem em pontos isolados por conta das águas que subiram rapidamente (Figura 4.9). Pontos importantes para o tráfego do município, como a ponte Rio-Niterói e o aeroporto Santos Dumont ficaram fechados devido às chuvas. A Avenida Brasil contabilizava diversos pontos de alagamento ao longo de toda a via. O asfalto da Avenida Suburbana, atualmente Avenida Dom Hélder Câmara, afundou. Alguns pontos tiveram engarrafamentos por conta dos bolsões d'água entre a tarde e a noite do dia 08 de janeiro, mas já no dia 09 de janeiro o trânsito fluiu melhor, pois grande parte da população ficou em casa, seguindo orientações das autoridades.



Figura 4.9 - Capa do Jornal O Globo em 09 de janeiro de 1998 (Fonte: Agência O Globo, 1998).

Nessa então circunstância, a GeoRio informou o alto risco de desabamento em pelo menos 12 pontos da cidade, onde habitavam centenas de famílias. No bairro do Catumbi, na Zona Norte da cidade, houve deslizamento de terra sobre uma residência localizada numa comunidade e os moradores tiveram de ser removidos. Próximo dessa região, em Santa Teresa, na região central, deslizamentos também fizeram com que moradores de um prédio abandonassem os apartamentos temendo a queda do edifício.

As chuvas de janeiro de 1998 no município do Rio de Janeiro eram apenas mais um evento extremo evidenciando que a cidade ainda carecia de um aperfeiçoamento de seu planejamento urbano para evitar ou pelo menos minimizar os efeitos nocivos de enchentes, deslizamentos e outras consequências capazes de produzir prejuízos sociais e econômicos.

4.2.2. As Consequências e as Ações após as Chuvas de Abril de 2010

Entre os dias 05 e 07 de abril de 2010, ocorreu mais um evento de chuvas severas na cidade do Rio de Janeiro, sendo registrado em todos os bairros o maior volume de chuva em 5 dias consecutivos para este mês entre 1998 e 2018 (Figura 4.6). Segundo dados do Alerta Rio, foram registrados 360,2 mm em 24 horas (Tabela 4.1) na estação pluviométrica do Sumaré (posto extinto), na Zona Norte do município, o maior volume desde o início das medições em 1997. Como mostrado anteriormente, bairros populosos como Tijuca e Rocinha registraram perto de 400 mm em um total de 5 dias seguidos (05 a 09 de abril).

Tabela 4.1 - Os 10 (dez) maiores acumulados pluviométricos em 24h na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Alerta Rio).

As Dez maiores precipitações pluviométricas em 24 horas.				
ID	Estação	mm/24h	Data	Hora
103	Sumaré	360,2	06/04/2010	17:35
3	Rocinha	343,4	09/04/2019	15:00
28	Alto da Boa Vista	341,2	09/04/2019	16:15
17	Barra/Barrinha	335,2	09/04/2019	15:00
16	Jardim Botânico	334,4	09/04/2019	15:00
6	Copacabana	329,4	09/04/2019	15:30
1	Vidigal	312,2	09/04/2019	14:45
19	Barra/Riocentro	311,4	09/04/2019	15:00
18	Jacarepaguá/Cidade de Deus	289,6	09/04/2019	16:00
33	Tijuca/Muda	286,0	26/04/2011	19:30

Segundo o INMET, as chuvas foram resultado do calor e da umidade presentes na atmosfera, em associação com a passagem de uma frente fria. A cidade do Rio de Janeiro decretou estado de emergência, enquanto Niterói e São Gonçalo (municípios da região metropolitana) decretaram estado de calamidade pública. A imagem do satélite GOES-12 (Figura 4.10) disponibilizada pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) mostra um núcleo convectivo (tons em azul) às 18 horas do dia 05 de abril de 2010 nas adjacências da região metropolitana do Rio de Janeiro. Essas nuvens carregadas se formaram no final da tarde do dia 05 de abril e foram retroalimentadas no decorrer da noite, causando chuva forte e contínua, conforme mostrado nos acumulados da Figura 4.11.

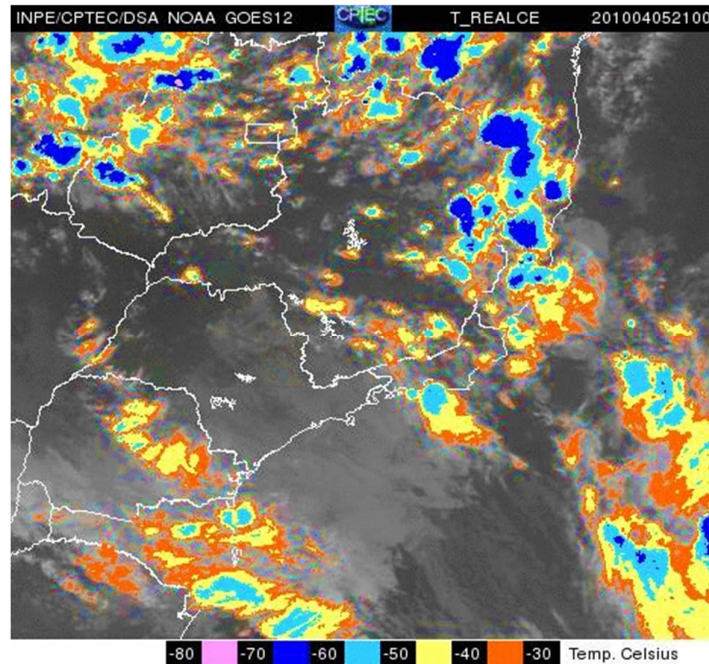


Figura 4.10 - Imagem do satélite GOES-12 sobre a região Sudeste do Brasil às 18h do dia 05 de abril de 2010 (Fonte: CPTEC).

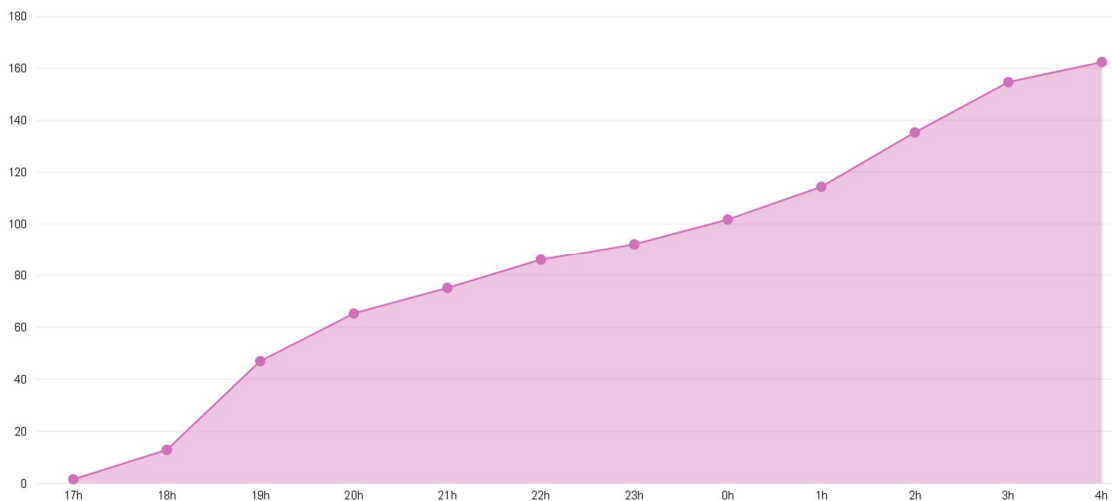


Figura 4.11 – Volumes de chuva acumulados na Zona Norte da Cidade do Rio de Janeiro entre 16h do dia 05/04/2010 e 04h do dia 06/04/2010.

➤ *Impactos na Cidade do Rio de Janeiro e Região Metropolitana*

As primeiras horas desse evento de chuva intensa ocorreram no fim da tarde do dia 05 de abril de 2010 e se estenderam até à noite, causando uma situação caótica no trânsito da cidade, com diversos pontos de alagamento e ocasionando o fechamento de vias importantes da cidade, como a autoestrada Grajaú-Jacarepaguá, que liga a Zona Norte à Zona Oeste. Na Zona

Norte, o rio Maracanã transbordou e a Praça da Bandeira ficou inundada. Milhares de pessoas enfrentaram dificuldades no trajeto de retorno para suas casas por conta das vias alagadas. O Corpo de Bombeiros utilizou como recurso botes salva-vidas para prestar socorro a pessoas que ficaram isoladas em função das enchentes. A Rede Brasil Atual relatou que a Polícia Rodoviária Federal (PRF) fechou as pistas da Ponte Rio-Niterói, sentido Rio de Janeiro, em virtude dos pontos de alagamento na chegada ao município do Rio de Janeiro.

Além dos diversos pontos com acúmulo de água da chuva, outras ocorrências também causaram transtornos ao trânsito, afetando a circulação de pessoas e veículos na cidade. Houve queda de árvores, deslocamento de tampa de bueiros, grande quantidade de lixo, lama e resíduos espalhados pelas ruas e a interrupção do fornecimento de energia em muitos bairros.

Por medida de segurança, autoridades municipais e estaduais recomendaram à população que permanecesse em suas casas no dia seguinte às chuvas mais fortes. Vários serviços essenciais na cidade foram afetados por conta das chuvas. O Tribunal de Justiça do Estado teve audiências suspensas, as aulas em todas as universidades e colégios públicos e privados do município do Rio de Janeiro foram canceladas, o aeroporto Santos Dumont ficou fechado para pousos e decolagens por horas, o comércio foi afetado, com diversos estabelecimentos pela cidade fechados, visto que não havia grande fluxo de pessoas circulando pelas ruas e os próprios funcionários não conseguiam chegar até seus locais de trabalho.

Na ocasião, a Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro classificou como “muito alto” o risco de deslizamento de encostas na cidade, o mais elevado dos níveis adotados pela Defesa Civil, que é estipulado de acordo com o acumulado de chuvas registrado em períodos de 1 hora, 24 horas e 96 horas, conforme a Tabela 4.2. Segundo dados da Defesa Civil apurados pela revista Veja, em todo o Estado ocorreram 692 deslizamentos (Figura 4.12).

Tabela 4.2 - Classificação de risco de deslizamento de encostas por volume acumulado de chuvas (Fonte: Alerta Rio).

Acumulado	NIVEL MEDIO	NIVEL ALTO	NIVEL MUITO ALTO
<u>1h</u>	25 a 50 mm	50 a 80 mm	Maior que 80 mm
<u>24h</u>	85 a 140 mm	140 a 220 mm	Maior que 220 mm
<u>96h</u>	140 a 220 mm ⊕ 25 a 50 mm/24h	220 a 300 mm ⊕ 50 a 100 mm/24h	Maior que 300 mm ⊕ Maior que 100 mm/24h



Figura 4.12 – Panorama de consequências das chuvas de 2010 na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Revista Veja, edição 2160, 14 de abril de 2010).

Ocorreram deslizamentos de terra em diversos morros da cidade, como por exemplo, no Morro do Borel (Tijuca), no Morro dos Prazeres (Santa Teresa), no Morro dos Macacos (Vila Isabel) e no Morro do Turano (Rio Comprido). Também foram registrados deslizamentos na Avenida Niemeyer, via que liga o bairro da Barra da Tijuca, na Zona Oeste, à Zona Sul da cidade. Segundo dados do relatório Rio Resiliente (2015), foram contabilizadas 67 mortes, sendo todos moradores de comunidades localizadas em encostas.

Dados apurados pelo Acervo O Globo apontam que 249 pessoas morreram e mais de 3 mil ficaram desabrigadas em todo o Estado do Rio de Janeiro devido às chuvas do início de abril de 2010. Em Niterói, cidade da região metropolitana do Rio de Janeiro, o acúmulo de água provocou um grande deslizamento de terra no dia 07 de abril, no Morro do Bumba, localizado no bairro do Cubango (Figura 4.13).

Especificamente neste caso de Niterói, a comunidade na região do Morro do Bumba foi formada em uma região de vale, denominado Viçoso Jardim, que servia de lixão na década de 1960 e que foi desativado na década de 1980. Durante anos, toneladas de camadas de lixo foram alternadas com camadas de terra, formando um terreno instável e fazendo com que o solo perdesse a sua aderência, não resistindo ao abundante volume de chuvas e ocasionando um grande deslizamento de lixo e lama que soterrou moradias e pessoas.

Foram registradas 47 vítimas, além de centenas de desabrigados. Houve um trabalho intenso da Defesa Civil no resgate às vítimas, contando com mais de 150 bombeiros. Segundo

a Prefeitura de Niterói, esse foi o maior deslizamento da história da cidade e esse episódio gerou grande reflexão sobre a ocupação dessa área e a responsabilidade do poder público ao não impedir ou remover as construções no local.



Figura 4.13 – Defesa Civil atuando no resgate às vítimas no Morro do Bumba, na cidade de Niterói, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro em abril de 2010 (Fonte: Jornal O Globo, 10 de abril de 2010).

➤ *Providências após as Chuvas de Abril de 2010*

As chuvas intensas que atingiram a cidade do Rio de Janeiro e os municípios circunvizinhos em abril de 2010 foram extremamente intensas e se tornaram um marco histórico. Essa tragédia, que resultou em diversas mortes e muita destruição, se tornou um “divisor de águas” na atuação da Prefeitura do Rio de Janeiro e da Defesa Civil Municipal com relação ao gerenciamento de risco. Diversas medidas foram tomadas, através de projetos e ações conjuntas com órgãos públicos, privados e com a própria sociedade, para que fosse possível minimizar perdas e salvar vidas.

- *Criação do COR – Centro de Operações Rio (2010)*

O Centro de Operações Rio (COR) foi inaugurado em dezembro de 2010. Sua criação foi motivada pelas fortes chuvas ocorridas em abril do mesmo ano, que provocaram uma situação caótica na cidade, além do projeto das Olimpíadas Rio 2016.

O COR reúne informações de diferentes áreas das operações urbanas do município do Rio de Janeiro, como trânsito, limpeza urbana, ordenamento público, fornecimento de energia,

entre outros, e auxilia na atuação direcionada aos agentes públicos competentes, para que os impactos de eventos como manifestações, incêndios, enchentes, deslizamentos de terra, acidentes de trânsito e outros incidentes sejam minimizados. O sistema recebe imagens de mais de 900 câmeras de diversos pontos da cidade, permitindo também monitorar as condições do tempo e seus impactos (Figura 4.14).

Aproximadamente 30 órgãos atuam de forma articulada no fornecimento de informações para o COR. São secretarias municipais e concessionárias de serviços públicos, como por exemplo, Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro (Rio Águas), a Companhia Municipal de Limpeza Urbana da Cidade do Rio de Janeiro (Comlurb), a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), a Fundação Instituto de Geotécnica da Cidade do Rio de Janeiro (Geo-Rio), a Naturgy (empresa responsável pela distribuição de gás natural na cidade do Rio de Janeiro), a Light (empresa responsável pela distribuição de energia elétrica na cidade do Rio de Janeiro), a Companhia de Engenharia de Tráfego da prefeitura do Rio de Janeiro (CET-Rio), a Polícia Militar, entre outros.



Figura 4.14 - Centro de Operações Rio (COR), localizado no bairro Cidade Nova, na Zona Central da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Centro de Operações Rio – COR).

O COR também é responsável pela divulgação dos boletins que reportam os estágios operacionais da cidade, conforme divulgado no sítio eletrônico da Prefeitura do município (prefeitura.rio):

1 – NORMALIDADE: Não há fatores de risco de curto prazo e ocorrências que provoquem alteração significativa no dia a dia da população.

2 – MOBILIZAÇÃO: Risco de ocorrência de alto impacto na cidade devido a um evento previsto (como chuvas fortes) ou a partir da análise de dados provenientes de especialistas. Não há impactos na rotina, mas cidadãos devem acompanhar os comunicados e redes sociais da Prefeitura.

3 – ATENÇÃO: Uma ou mais ocorrências impactam a cidade, como a ocorrência de intensa precipitação, com reflexos relevantes na infraestrutura ou logística urbana, afetando a rotina de parte da população. A partir desse nível, o COR envia aviso aos órgãos, entidades municipais, cidadãos e imprensa.

4 – ALERTA: Uma ou mais ocorrências graves impactam a cidade, causando reflexos graves na infraestrutura e logística urbana, afetando severamente a rotina da população. Os múltiplos danos e impactos causados começam a extrapolar a capacidade de resposta imediata das equipes da Prefeitura. A cidade ainda possui recursos para retornar aos estágios de Atenção (3) e Normalidade (1) em um período de até 12 horas.

5 – CRISE: Uma ou mais ocorrências graves impactam a cidade, afetando severamente a rotina da população. Os múltiplos danos e impactos causados extrapolam de forma relevante a capacidade de resposta imediata das equipes da Prefeitura, que necessitam de período superior a 12 horas para retornar aos estágios de Atenção (3) ou Normalidade (1).

Em termos meteorológicos, esses boletins de alerta reportam a mudança de estágio à população quando há previsão de chuvas fortes que possam gerar impactos ao cidadão, como inundações em vias públicas ou deslizamentos de terra em encostas. Essa divulgação é realizada através de publicações e vídeos no sítio eletrônico e nas mídias sociais do COR. Atualmente, o COR tem amplo alcance em suas redes sociais, com mais de 120 mil seguidores no *Instagram*, mais de 450 mil seguidores na página oficial do *Facebook* e mais de 600 mil seguidores no *Twitter*.

- *Radar Meteorológico do Sumaré (2010)*

Ainda em dezembro de 2010, a cidade do Rio de Janeiro importou dos Estados Unidos, por meio da Geo-Rio e do Sistema Alerta Rio um radar meteorológico próprio, de tipo banda-C, que se localiza na Zona Norte da cidade, no Parque Nacional da Tijuca, no alto da Serra da Carioca, ao lado das antenas de telefonia (Figura 4.15).



Figura 4.15 - Radar meteorológico do Sumaré da Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Sistema Alerta Rio).

Trata-se de um sistema de alcance operacional de alta confiabilidade, com um raio de 250 km e possibilita a detecção e acesso a informações de precipitações originadas entre 700 e 1.800 metros de altitude (Figura 4.16). O radar acompanha a localização das chuvas e sua intensidade em tempo real e registra novas imagens a cada 2 minutos. Essas informações, em conjunto com outros parâmetros meteorológicos, como a temperatura do ar, direção e intensidade dos ventos, a umidade do ar, a pressão atmosférica entre outros, permitem que o meteorologista elabore uma previsão meteorológica de curtíssimo prazo (ou previsão imediata), na qual o profissional determina a trajetória mais provável para as chuvas e seu comportamento nas próximas horas (*nowcasting*).

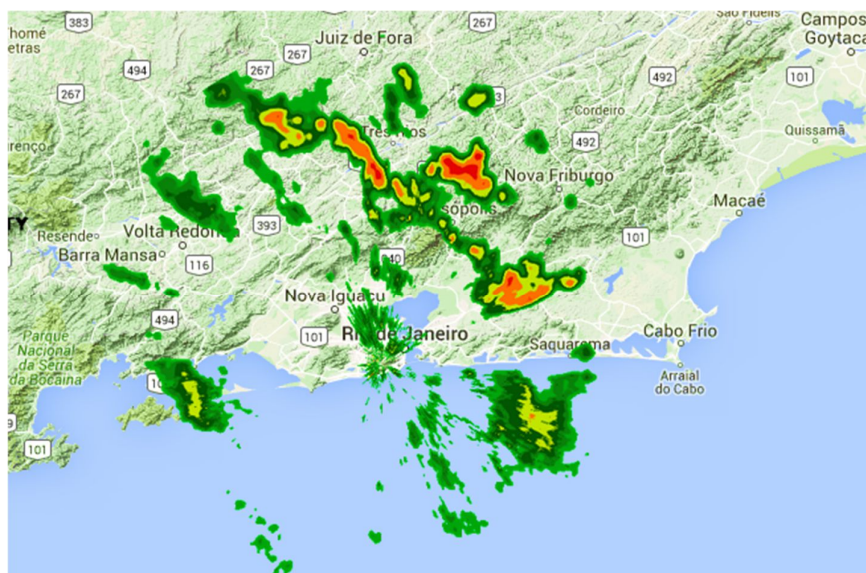


Figura 4.16 – Imagem fornecida pelo radar Sumaré do Alerta Rio (Fonte: Sistema Alerta Rio).

- *Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Fortes - A2C2 (2011)*

O Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Fortes da Prefeitura do Rio de Janeiro, também conhecido como A2C2, foi inaugurado em 2011, um ano após a cidade vivenciar o trágico evento de chuvas intensas em abril, que teve como uma de suas consequências o deslizamento de terra em encostas onde se localizavam comunidades, soterrando moradias e vitimando dezenas de cidadãos da cidade.

Trata-se de um sistema de sirenes que emitem avisos sonoros em volume elevado (Figura 4.17), semelhantes ao de uma corneta, que são acionadas pela Defesa Civil Municipal após monitoramento e avaliação dos índices críticos de chuva por meteorologistas, acionado conforme parâmetros estipulados na Tabela 4.3, alertando aos moradores de comunidades a possibilidade de chuvas fortes e deslizamentos. Além do aviso sonoro de atenção, é divulgada uma mensagem gravada indicando que as chuvas atingiram nível crítico e que é necessário que os moradores desocupem as casas e dirijam-se para áreas seguras e/ou para pontos de apoio previamente mapeados na região.



Figura 4.17 - Sirenes do Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Fortes (A2C2) (Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro).

Tabela 4.3 – Critérios de acionamento das sirenes do Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Fortes - A2C2 (Fonte: Resposta ao Ofício da CPI das Enchentes, Res. 1450/2019 nº 031/2019).

Parâmetro	Acionamento Condicionado	Acionamento Obrigatório
mm / 1h	Maior ou igual a 40	Maior ou igual a 55
mm / 24h	Maior ou igual a 125	Maior ou igual a 150 e Maior ou igual a 5mm/h
mm / 96h	Maior ou igual a 200	Maior ou igual a 275 e Maior ou igual a 5mm/h

A primeira sirene foi inaugurada em 2011, no Morro do Borel, localizado na Tijuca, Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro e hoje o município possui 83 pluviômetros da Defesa Civil, 165 sirenes e 194 pontos de apoio em 103 comunidades com alto risco de deslizamentos, conforme definido pela Geo-Rio. Para permitir a eficácia da ação, os agentes e líderes comunitários são convidados a participar de todo o projeto, são envolvidos nos treinamentos e simulações e recebem um relatório fotográfico da sua área e uma cartilha com orientações importantes em caso de acionamento das sirenes.

- *Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – CEMADEN (2011)*

O Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) foi criado em julho de 2011 (Figura 4.18), em meio ao contexto de diversos registros de desastres em várias partes do Brasil, como as tragédias no litoral do Estado de Santa Catarina (novembro de 2008), na Costa Verde do Estado do Rio de Janeiro (janeiro de 2010), na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (abril de 2010), nos Estados de Alagoas e Pernambuco (junho de 2010) e na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (janeiro de 2011).



Figura 4.18 – Sala de situação do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – CEMADEN (Fonte: Cemaden).

O CEMADEN é um instituto de pesquisa do governo, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), referência em âmbito nacional no monitoramento das ameaças naturais em áreas de riscos em municípios suscetíveis à ocorrência de desastres. Também realiza previsões hidrometeorológicas e geodinâmicas em todo o território nacional. Entre suas competências, está o envio de alertas de desastres naturais ao Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (Cenad), do Ministério da Integração Nacional (MI), auxiliando o Sistema Nacional de Defesa Civil na tomada de decisão no que se refere ao gerenciamento de riscos dos desastres de causas naturais.

- *Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC (2012)*

A instituição da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), através da Lei 12.608/2012, representa um marco para a institucionalização da prevenção de riscos de desastre e da proteção civil brasileira. Tal regulamento veio como uma resposta política à sociedade, sensibilizada pela ocorrência de grandes desastres causados por fortes chuvas e deslizamentos de terra em todo o Brasil, inclusive no Estado do Rio de Janeiro. Essas calamidades públicas trouxeram a temática da Defesa Civil para o topo da agenda do governo que, após algumas alterações, deu força de lei ao conteúdo anteriormente configurado na Política Nacional de Defesa Civil (1994).

O maior destaque da lei está nas medidas destinadas à proteção, por meio da prevenção que passou a ser o foco principal, mas sem descuidar das ações de resposta, socorro, assistência e recuperação. Foram priorizadas as ações de mapeamento e monitoramento de ameaças e vulnerabilidades, visando reduzir a ocorrência e a intensidade dos impactos desses eventos. Todas essas mudanças trazidas pela lei 12.608/12 visam estimular a cultura da resiliência nos municípios brasileiros, que serão capazes de resistir, absorver e se recuperar de forma eficaz, prevenindo vidas e bens.

- *Projeto Defesa Civil nas Escolas (2013)*

Conforme a Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro, a preparação dos moradores das comunidades e a implantação do sistema de alerta foram medidas fundamentais na redução dos desastres, em especial na minimização dos danos humanos. Contudo, também é necessário um investimento no comportamento de crianças, jovens e adultos. A Defesa Civil Municipal (Subsecretaria de Defesa Civil – SUBDEC) é responsável pelo desenvolvimento do Projeto Defesa Civil nas Escolas (Figura 4.19) que tem como instituição parceira a Cruz Vermelha Brasileira. Esse projeto tem como objetivo incorporar ao currículo escolar, de forma transversal, conceitos de redução de risco de desastre e acidentes, abordando ações da Defesa Civil com crianças, sendo o público alvo os alunos do quinto ano do ensino fundamental, com faixa etária entre 10 e 11 anos de idade.

A ação busca ambientar os alunos com uma cultura de prevenção e proteção civil e com práticas e comportamentos de segurança, visando o aumento do conhecimento não só nas escolas, mas também nas casas desses estudantes, tendo os mesmos como agentes de divulgação

das informações para suas famílias. O conteúdo programático do projeto envolve quatro módulos, sendo eles:

- 1 – Noções de Defesa Civil e prevenção de acidentes domésticos;
- 2 – Educação ambiental e desastres naturais com foco na cidade;
- 3 – Chuvas intensas e suas consequências na cidade do Rio de Janeiro e simulado de desocupação;
- 4 – Noções básicas de primeiros socorros e cuidados iniciais em situação de urgência.

Em 2016, participaram do projeto 48 escolas, sendo 43 escolas públicas e 05 escolas particulares, e os cursos foram ministrados por agentes da Defesa Civil Municipal, por representantes da Cruz Vermelha Brasileira e em parte por professores da instituição de ensino, com auxílio de material elaborado exclusivamente para o projeto. É estimulado que os cursos envolvam uma abordagem interdisciplinar, não apenas de aulas expositivas, mas também projetos extraclasse, exercícios simulados, interação com teatro, música, desenhos, gincanas, produção de maquetes, entre outros métodos (Projeto Defesa Civil nas Escolas, 2016).



Figura 4.19 - Projeto Defesa Civil nas Escolas na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro).

- *Projeto Rio Resiliente (2015)*

Em 2015 foi criado o plano estratégico “Rio Resiliente”, em parceria com a rede “100 Cidades Resilientes”, da Fundação Rockefeller, organização internacional sem fins lucrativos que financia diversos projetos de pesquisa ao redor do mundo. A Fundação Rockefeller, define resiliência como “a capacidade de indivíduos, comunidades, instituições, empresas e sistemas

dentro de uma cidade de sobreviver, adaptar-se e crescer, independentemente dos tipos de estresses crônicos e choques agudos que vivenciam”.

Nesse contexto, a fundação contribuiu com um aporte de 100 milhões de dólares destinado a dar suporte a 100 cidades, visando torná-las mais resilientes, para enfrentar seus desafios socioeconômicos e de infraestrutura, desenvolvendo um planejamento sustentável para as mesmas. Entre as cidades contempladas estão Atenas, Buenos Aires, Cidade do México, Nairóbi, Sydney, Medellín, Lisboa, Londres, Montevideo, Paris, entre outras. No Brasil, além do Rio de Janeiro, as cidades de Salvador e Porto Alegre também integram o projeto. O projeto visa a troca de experiências e boas práticas de resiliência entre as cidades associadas à rede.

O projeto Rio Resiliente é dividido em duas partes: a primeira, denominada “Diagnóstico e Áreas de Foco”, visa identificar os problemas enfrentados pela cidade do Rio de Janeiro, analisando o panorama das enchentes históricas, levando em conta fatores socioeconômicos, climáticos, geográficos, entre outros. Já a segunda parte trata de projeções e propostas de políticas públicas, com ações voltadas à prevenção e à redução de danos. São estipulados seis objetivos específicos:

- 1 – Aprofundar o conhecimento e mitigar os impactos das mudanças climáticas;
- 2 – Preparar a cidade para responder a eventos climáticos extremos e outros choques;
- 3 – Desenvolver e adaptar espaços urbanos verdes, frescos, seguros e flexíveis;
- 4 – Prover serviços básicos de alta qualidade para todos os cidadãos;
- 5 – Promover uma economia inclusiva, diversificada, circular e de baixo carbono;
- 6 – Aumentar a resiliência de cidadãos e promover a coesão social.

Nery (2015) descreve que desenvolvimento da parte de “Diagnóstico e Áreas de Foco” surgiu da compilação de 60 horas de entrevistas com diversos órgãos municipais, estaduais e privados, como as concessionárias responsáveis pelos serviços de energia, transporte, entre outros. Foram identificadas as vulnerabilidades que mais afetam a cidade do Rio de Janeiro, principalmente nas áreas de saúde, mobilidade, infraestrutura, segurança, clima, entre outras. São elas:

- 1- Chuvas fortes;
- 2- Ventos fortes;
- 3- Ondas e ilhas de calor;
- 4- Elevação do nível do mar;

- 5- Seca prolongada;
- 6- Epidemia local e pandemia;
- 7- Acidentes com infraestrutura urbana;
- 8- Saturação da infraestrutura viária;
- 9- Aglomeração de pessoas com impacto na normalidade;
- 10- Ações criminosas no espaço urbano.

As vulnerabilidades climáticas foram baseadas em análise de tendências, apontadas em estudos nacionais e nos relatórios do IPCC. Elas foram identificadas em seminários realizados por órgãos especializados como CEMADEN, COPPE/UFRJ e CPTEC/INPE e demonstra especialmente a preocupação com a vulnerabilidade do município do Rio de Janeiro em relação aos eventos de chuvas intensas no presente e no futuro, como será abordado na próxima sessão.

➤ *Sistema de Alerta por Mensagem de Texto – SMS (2017)*

Em dezembro de 2017, a Defesa Civil lançou na cidade do Rio de Janeiro o serviço de alerta de riscos por mensagens de celular (SMS), baseada na experiência de mais de 20 países em diferentes continentes que também o empregam como ferramenta na prevenção de desastres. Por conta de eventos meteorológicos constantes e potencialmente danosos, como vendavais, alagamentos, enxurradas, ressacas e granizo, esse projeto foi ativado inicialmente na região Sul do Brasil como um projeto-piloto que, logo em seguida, foi expandido para o restante do país, inclusive no município do Rio de Janeiro.

O sistema de alerta via mensagem de texto da Defesa Civil Municipal do Rio de Janeiro é um serviço gratuito e funciona 24 horas por dia. É um canal que visa ampliar o poder de alcance da comunicação de situações de risco, visto que atualmente grande parte da população faz uso de aparelhos celulares. É uma ferramenta de baixo custo, em parceria com a Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) e operadoras de telefonia celular, que servem como canal de envio das mensagens.

A adesão é voluntária e o cidadão envia um ou mais Códigos de Endereçamento Postal (CEPs) para o número 40199 para receber alertas através de SMS no aparelho e, caso o CEP faça parte de alguma região com previsão de chuvas intensas e outros eventos meteorológicos extremos, o usuário é avisado, para que fique em alerta para possíveis consequências.

Atualmente, a Defesa Civil busca expandir outros meios de divulgação para alertas, como por exemplo, as operadoras pagas de televisão (TV). Clientes de TV por assinatura poderão ver uma notificação da Defesa Civil através de um *pop-up* sobreposto à programação exibido diretamente na tela durante 10 segundos. O projeto é uma nova parceria da Anatel com a Defesa Civil e o Cenad.

4.2.3. Rio de Janeiro em Crise com as Chuvas de Abril de 2019

Após o estabelecimento de diversas medidas no sentido de prevenir desastres em condições de chuvas fortes na cidade do Rio de Janeiro, as situações caóticas decorrentes desses eventos passaram a ser monitoradas e previstas de maneira mais eficaz e com resposta mais veloz à população. No entanto, episódios de precipitações severas em curto período que ultrapassam a capacidade do município de reagir rapidamente dentro de suas vulnerabilidades ainda são ameaças frequentes e, desse modo, conservam o grau de risco inerente a esse cenário.

O ano de 2019, assim como praticamente todos os outros anos, apresentou alguns períodos de intensa precipitação na cidade do Rio de Janeiro. Após registrar chuvas significativas no verão, especialmente no mês de fevereiro de 2019, a cidade foi novamente atingida por uma forte tempestade entre a tarde e noite do dia 08 de abril, que prosseguiu com chuva contínua e moderada no dia seguinte.

O Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro reportou que a Prefeitura declarou estágio de crise no município às 20h55 do dia 08 de abril. Ao todo, 8 estações pluviométricas superaram sua própria série histórica de chuvas em 24h, conforme Tabela 4.4 (os 10 maiores acumulados pluviométricos em 24h): Rocinha (343 mm em 24h), Alto da Boa Vista, Barra/Barrinha, Jardim Botânico, Copacabana, Vidigal, Barra/Riocentro e Jacarepaguá/Cidade de Deus. Entretanto, o mês de abril de 2019 não foi o mais chuvoso da série de medições do Alerta Rio, que começou em 1997. Em 2010 (caso analisado anteriormente), a média do volume de chuvas do mês de abril considerando todos os pluviômetros foi de 350,7 mm e em 2019 essa média foi de 244,9 mm.

Em 4 horas no dia 08 de abril de 2019, choveu acima da média histórica de todo o mês de abril em alguns bairros do município do Rio de Janeiro, com destaque para a Zona Sul da cidade, que foi a mais atingida na ocasião (Tabela 4.4). Os pluviômetros com percentuais sinalizados em amarelo são os que superaram a média climatológica para o mês de abril. Nota-se que dos 6 pluviômetros localizados na Zona Sul (Vidigal, Urca, Laranjeiras, Rocinha, Jardim Botânico e Copacabana), apenas Laranjeiras não superou a média para o mês de abril.

Tabela 4.4 – Acumulados pluviométricos relacionados à chuva extrema do dia 08 de abril de 2019 na cidade do Rio de Janeiro. Os percentuais se referem às chuvas acumuladas em 4h em comparação com a média do mês de abril (Fonte: Alerta Rio).

Local	Chuva em 1h - entre 21h15 e 22h15 (mm)	Chuva em 4h - entre 18h15 e 22h15 (mm)	Média abril (mm)	% da média
Barra/Barrinha	57,6	212,0	120,1	177
Copacabana	58,2	168,4	112,2	150
Rocinha	18,8	164,0	149,7	110
Alto da Boa Vista	15,0	163,2	193,8	84
Barra/Riocentro	37,2	159,4	99,7	160
Jardim Botânico	8,4	149,6	136,0	110
Jacarepaguá/Cidade de Deus	24,2	143,8	95,6	150
Urca	65,4	143,0	85,3	168
Vidigal	13,4	132,6	122,6	108
Recreio dos Bandeirantes	34,8	110,8	95,2	116
Laranjeiras	49,0	99,4	135,0	74
Tijuca	15,4	90,4	163,9	55
Tijuca/Muda	5,0	88,4	169,9	52
Campo Grande	70,8	84,0	97,0	87

A Figura 4.20 apresenta os acumulados médios de chuva na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro entre a tarde do dia 08 de abril e a madrugada do dia 09 de abril. Observa-se que os totais pluviométricos mais acentuados ocorreram entre 18h e 23h do dia 08 de abril, quando a mobilidade já estava completamente prejudicada em bairros como Botafogo, Jardim Botânico e Lagoa. Apenas nesse período de 12h, o volume total de chuva sobre a Zona Sul ficou em torno de 218,2 mm.

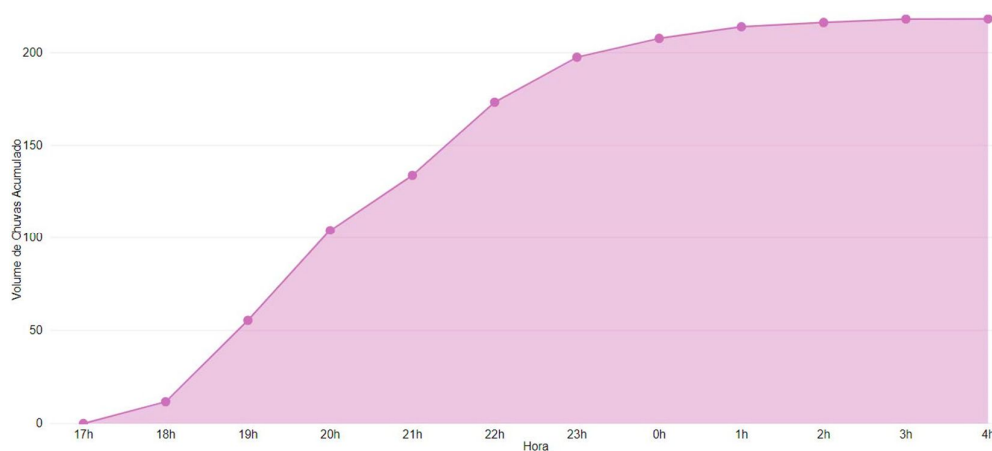


Figura 4.20 – Volumes de chuva acumulados na Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro entre 16h do dia 08/04/2019 e 04h do dia 09/04/2019.

Segundo a Climatempo StormGeo, empresa privada brasileira referência em meteorologia no país, durante o verão e outono de 2019 a água do mar entre o litoral dos Estados de São Paulo e do Rio de Janeiro apresentou temperatura acima do normal, colaborando para evaporação e formação de nuvens carregadas. Esse elemento associado a um sistema de baixa pressão atmosférica contribuiu para as chuvas intensas que atingiram a cidade do Rio de Janeiro (Figura 4.21). Outro fator importante é a topografia do município, com a presença dos morros e maciços (em particular, o Maciço da Tijuca), que reforçaram justamente os maiores totais pluviométricos sobre a Zona Sul da cidade.



Figura 4.21 - Fatores que causaram a chuva extrema em abril de 2019 no município do Rio de Janeiro (Fonte: Climatempo).

No final da tarde (por volta de 17h30), núcleos de chuva forte sobre a cidade do Rio de Janeiro já eram detectados pelo radar meteorológico do Alerta Rio (Figura 4.22). A imagem do satélite GOES-16 (Figura 4.23) mostra ainda as nuvens de precipitação intensa às 20h30 persistindo sobre o município. É possível visualizar em tons do amarelo ao vermelho os pontos de chuva forte sobre a capital e em outras cidades da região metropolitana.



Figura 4.22 – Imagem do radar meteorológico do sistema Alerta Rio às 17h30 do dia 08 de abril de 2019 (Fonte: Sistema Alerta Rio).

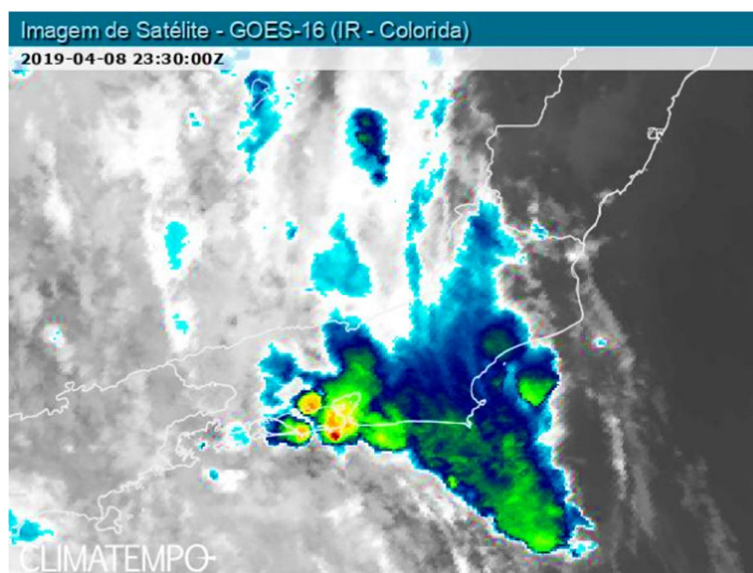


Figura 4.23 - Imagem de satélite GOES-16 sobre o Estado do Rio de Janeiro às 23h30 do dia 08 de abril de 2019 (Fonte: Climatempo StormGeo).

➤ *Impactos na Cidade do Rio de Janeiro*

Assim como em outros eventos de chuvas extremas na cidade, a Defesa Civil recebeu diversos acionamentos, contabilizando mais de 1.000 entre os dias 08 e 10 de abril, trabalhando em intensos esquemas de plantões para atender a todas as ocorrências. Foram registrados diversos bolsões d’água pela cidade, dificultando a mobilidade urbana e as autoridades

recomendaram que a população permanecesse em casa naquela semana. Dezenas de árvores e galhos caíram por conta dos ventos e da forte chuva, inclusive no bairro da Gávea onde uma árvore caiu sobre um ônibus. Houve um afundamento de pista registrado no bairro do Jardim Botânico. Centenas de automóveis ficaram danificados, atolados e/ou flutuaram nas vias alagadas da cidade (Figura 4.24) e mais de 100 imóveis foram interditados pelo risco de desabamento. Por mais de uma semana, o Rio permaneceu em estágio de crise e esse conjunto de impactos levou a prefeitura a decretar calamidade pública.



Figura 4.24 – Automóveis parcialmente submersos no bairro do Jardim Botânico, na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro, durante a chuva forte do dia 08 de abril de 2019 (Fonte: G1).

Vias importantes foram interditadas, como a Estrada do Alto da Boa Vista, a Avenida Embaixador Abelardo Bueno e a Autoestrada Grajaú Jacarepaguá. O Túnel Rebouças, que conecta a Zona Norte à Zona Sul da cidade também foi fechado temporariamente na ocasião. A ciclovia Tim Maia, na Avenida Niemeyer, ligando os bairros Leblon e São Conrado, teve uma quarta queda desde sua inauguração (a primeira vez foi quando uma ressaca derrubou um trecho em abril de 2016, outro trecho em solo afundou após um tempestade em fevereiro de 2018 e, novamente em fevereiro de 2019, após um deslizamento de terra, durante uma forte chuva).

A Zona Sul do município do Rio de Janeiro também foi a área com maior número de vítimas fatais. Lá ocorreram 7 das 10 mortes totais registradas nesse evento na cidade. Três pessoas morreram soterradas dentro de um táxi em Botafogo após um deslizamento de terra,

uma vítima na Gávea após cair de moto e ser arrastado pela enxurrada e 3 vítimas soterradas após um deslizamento no Morro da Babilônia, localizado no bairro do Leme (Figura 4.25). O sistema de sirenes foi acionado em 36 comunidades da cidade do Rio de Janeiro, com um total de 59 sirenes ligadas.



Figura 4.25 - Atuação da Defesa Civil após deslizamento de terra no Morro da Babilônia, no bairro do Leme, na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: O Globo).

Nesse evento de chuvas extremas, como forma de alertar a população, foram enviadas mensagens através do SMS da Defesa Civil. Às 14h31 e às 19h39 da segunda-feira (08 de abril de 2019), houve o disparo de mensagens de texto, conforme mostrado na Figura 4.26, sobre a previsão de períodos do dia e intensidade das chuvas previstas para a cidade e informando o número de telefone a ser contatado em caso de emergência (199 – número da Defesa Civil). É importante ressaltar que tais alertas oficiais a respeito das previsões de tempo são aliadas à Defesa Civil e a constante interação e transparência no acesso à informação evita a disseminação de informações falsas, as chamadas *fakenews*, que causam pânico aos moradores da cidade.

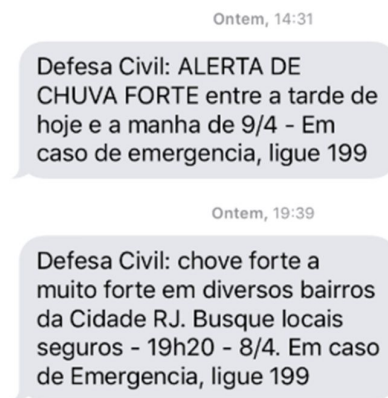


Figura 4.26 - Mensagens de texto da Defesa Civil nas chuvas de abril de 2019 (Fonte: Folha de S. Paulo).

A Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro também foi muito afetada pelas chuvas de abril de 2019, registrando 3 vítimas fatais, sendo duas em Santa Cruz e outra no Jardim Maravilha, em Guaratiba. Três dias após as fortes chuvas, com o solo ainda encharcado, em 12 de abril de 2019, houve o desabamento de prédios na Muzema, comunidade localizada no bairro do Itanhangá, também na Zona Oeste do município. Tal desabamento ocorreu em imóveis residenciais, mas de construção comprometida em termos estruturais. Essa região é bastante suscetível a alagamentos e também foi uma das mais atingidas pelas enchentes das chuvas de abril de 2019. No total, 24 pessoas faleceram e 10 ficaram feridas.

➤ *Providências após as Chuvas de Abril de 2019*

Poucos meses após as chuvas de abril de 2019, em agosto de 2019, diante da tragédia ocorrida no Morro da Babilônia, iniciou-se um novo projeto da Defesa Civil, denominado “Defesa Civil Itinerante”. Seu início se deu justamente nos morros da Babilônia e Chapéu Mangueira, ambos em Copacabana, na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro, os mais afetados pelas chuvas naquela conjuntura de abril.

A iniciativa tem como objetivo levar um programa de prevenção de riscos em caso de tempestades severas a moradores das 103 comunidades do município que contam com sirenes de alerta. São áreas que integram o Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Fortes (A2C2) da cidade (Figura 4.27).

Com essa ação, a prefeitura do Rio de Janeiro, por intermédio da Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil, visa preparar a população para situações de emergência e conscientizar

os moradores de áreas de risco acerca da importância do cuidado com possíveis deslizamentos de terra e desabamentos de imóveis durante as chuvas. Esse processo de assimilação dos riscos é realizado através de exercícios simulados, orientando ao morador a respeito do que deve ser feito durante a ocorrência de uma chuva intensa.



Figura 4.27- Agentes da Defesa Civil durante treinamento do projeto Defesa Civil Itinerante (Fonte: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro).

4.3. Projeções Futuras de Extremos de Precipitação

Esta sessão apresenta os resultados das projeções futuras do modelo climático Eta-MIROC5 para alguns indicadores de extremos de precipitação na cidade do Rio de Janeiro no decorrer do século XXI (2020 a 2100). Os gráficos exibem a menor e a maior diferença projetada para cada ano no futuro dentre os membros RCP 4.5 e 8.5 em relação à climatologia do próprio modelo (1961 a 2005).

A curva de tendência (ajuste linear) dos acumulados pluviométricos anuais (PRCPTOT) exibe um acentuado crescimento ao longo das próximas décadas. Em 29 anos do período projetado (cerca de 36%), os dois cenários (máximos e mínimos) apresentam aumento em relação à climatologia do modelo. Trata-se do indicador com maior frequência de anos em que a simulação para ambos os cenários é de aumento em relação à média histórica, em comparação aos outros quatro índices analisados nesse estudo. A projeção média de aumento dos volumes anuais de chuva é de 6% entre 2020 e 2100.

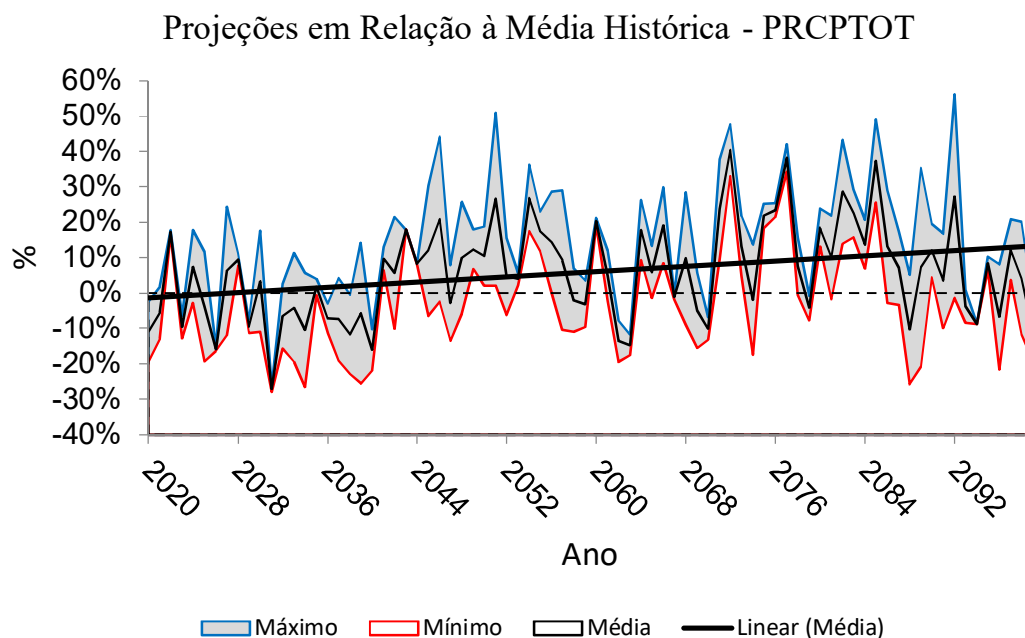


Figura 4.28 – Projeções futuras do indicador PRCPTOT na cidade do Rio de Janeiro.

Nas análises das projeções referentes ao total pluviométrico anual dos dias em que a precipitação é maior do que o percentil 95 (R95p), nota-se que esse indicador também apresenta uma expressiva tendência de elevação, ou seja, os eventos de chuvas fortes na cidade do Rio de Janeiro poderão ser ainda mais significativos. A partir da segunda metade do século XXI, alguns anos são projetados para registrarem mais de 50% dos volumes das chuvas intensas que são observadas nos dias atuais.

Em média, as projeções apontam para um aumento de 13% dos totais pluviométricos dessas chuvas mais fortes. Esse indicador reflete os volumes de chuva que seriam registrados acima dos percentis encontrados na climatologia da Figura 4.4. Essas projeções indicam que, por exemplo, para a Zona Sul do município, haverá um crescimento nos eventos de chuvas intensas que acumulam mais do que 22,5 mm num único dia.

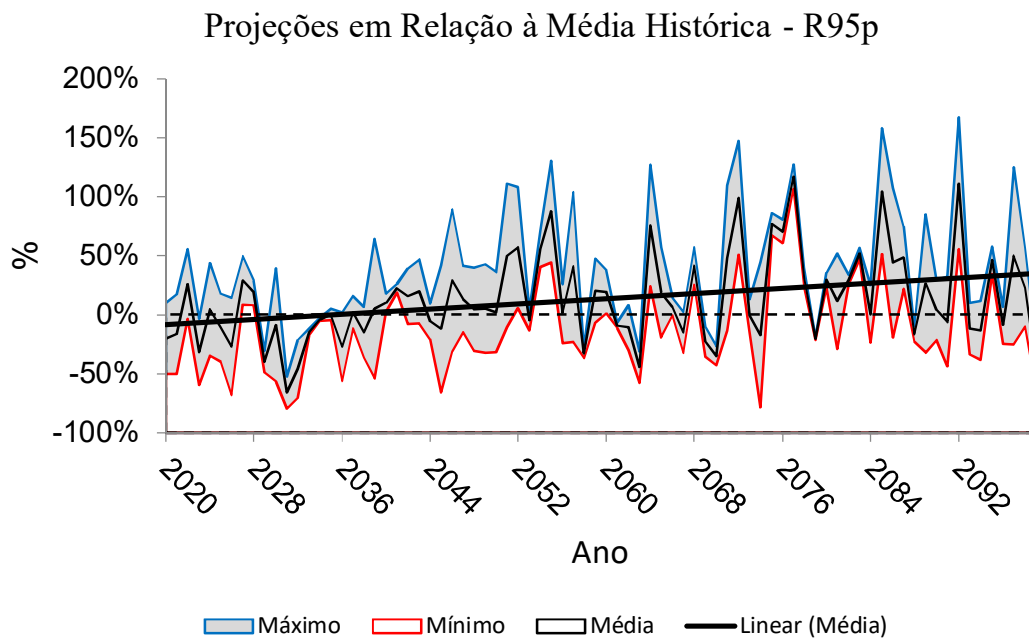


Figura 4.29 – Projeções futuras do indicador R95p na cidade do Rio de Janeiro.

Para a análise das projeções referentes à frequência de dias do ano com chuvas maiores que 30 mm (R30mm), observa-se mais uma vez a tendência de aumento, refletindo numa maior frequência de chuvas intensas no município do Rio de Janeiro nas próximas décadas. Projeta-se que, em média, haverá um crescimento de 5% na frequência dessas chuvas fortes. Tratando-se do clima tropical da cidade do Rio de Janeiro, espera-se que esses volumes acentuados de chuva sejam registrados no verão, causando os recorrentes transtornos que foram apresentados na sessão 4.2, como alagamentos e deslizamentos de terra.

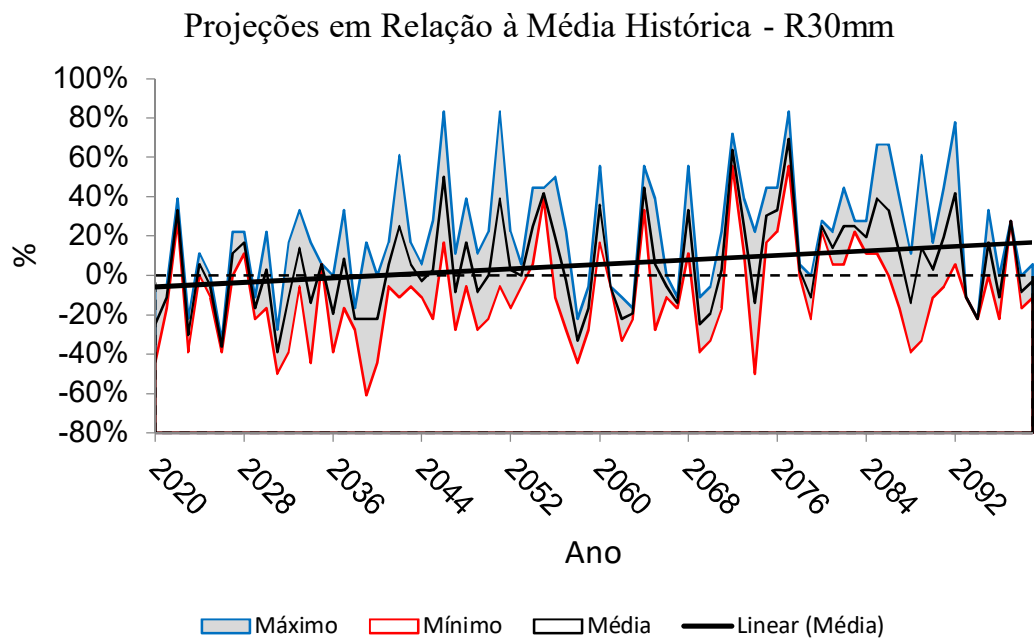


Figura 4.30 – Projeções futuras do indicador R30mm na cidade do Rio de Janeiro.

Para o indicador de maior volume de chuva em 1 dia (RX1day), verifica-se que, apesar da menor inclinação da reta ajustada, projeta-se muitos anos com valores de chuvas extremas acentuadamente acima da climatologia do modelo. O aumento médio para esses enfáticos acumulados de chuva em menos de 24h deverá ficar em torno de 6%. Esses totais pluviométricos concentrados em curtos períodos tem como maior desafio a sua previsibilidade para devida preparação da Defesa Civil. Dessa maneira, ressalta-se a importância do constante monitoramento e conhecimento dos valores climatológicos para a devida prevenção de desastres naturais, como o acionamento das sirenes em episódios de forte precipitação.

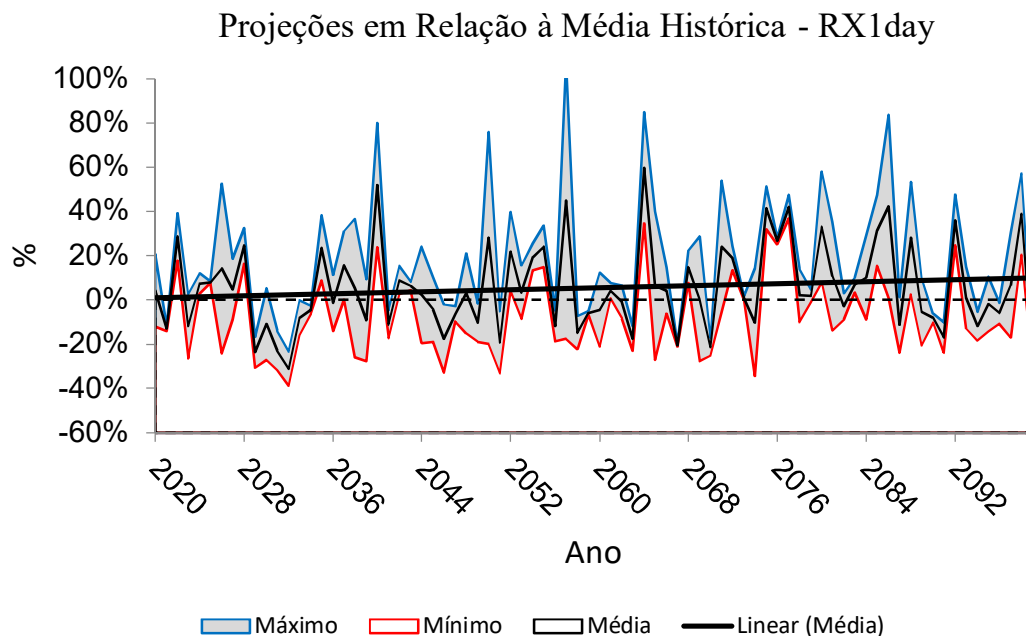


Figura 4.31 – Projeções futuras do indicador RX1day na cidade do Rio de Janeiro.

Assim como em todos os outros indicadores, as projeções referentes ao maior volume de chuva em 5 dias consecutivos (RX5day) também demonstram elevação nos próximos anos, indicando que significativos totais pluviométricos continuarão sendo registrados na cidade do Rio de Janeiro com frequência e num curto período. O aumento médio projetado é de 7%. Essas projeções de longo prazo de chuvas severas refletem o que o projeto Rio Resiliente busca conscientizar, sendo necessário aprofundar o conhecimento acerca das mudanças climáticas, preparando assim o município para uma rápida resposta e recuperação diante de eventos extremos de precipitação.

Projeções em Relação à Média Histórica - RX5day

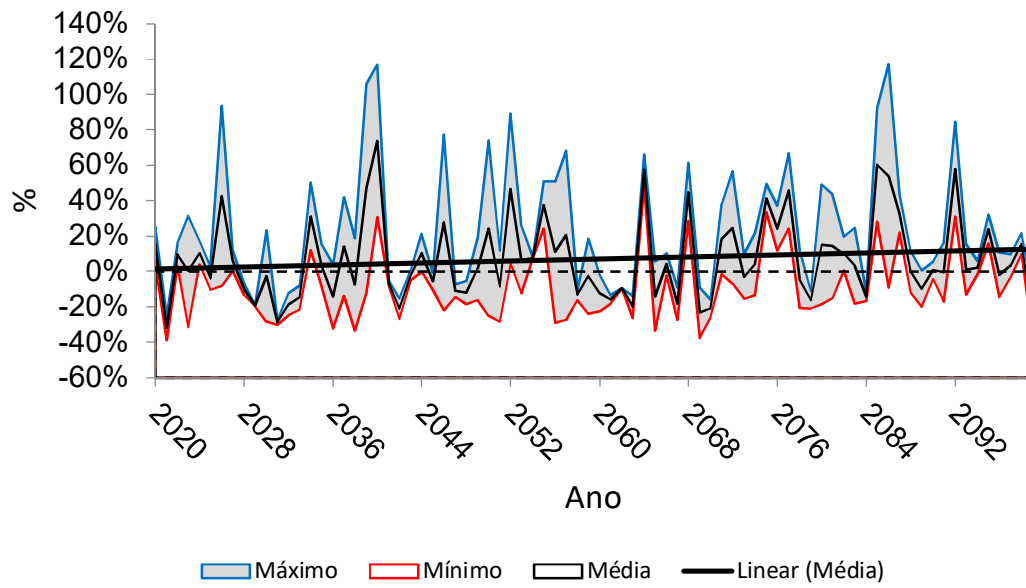


Figura 4.32 – Projeções futuras do indicador RX5days na cidade do Rio de Janeiro.

Capítulo 5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação foi estudado o registro das chuvas ocorridas na cidade do Rio de Janeiro nos últimos anos, assim como foram analisados alguns casos de precipitações extremas e as ações de Defesa Civil diante das ocorrências. Foi possível verificar que desastres oriundos de chuvas fortes não são atípicos no município e que ao longo das últimas décadas resultaram em acentuados danos e perdas de vidas. Dessa forma, projeções para as próximas décadas foram avaliadas de modo a corroborar com as atividades de prevenção que precisam ser continuadas. Em particular no verão, é notório que a população enxerga esses episódios de chuvas intensas como uma grave ameaça por conta de suas consequências, como por exemplo, deslizamentos de terra e inundações que impactam diretamente as residências e a mobilidade urbana.

A investigação da climatologia de precipitação foi baseada em 5 indicadores que levaram em conta os dados de 28 pluviômetros do sistema Alerta Rio, segmentados pelas quatro zonas da cidade do Rio de Janeiro, no período de 1998 a 2018. Dessa maneira, foi possível ratificar que os maiores acumulados pluviométricos são aferidos nos meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março) e nos meses próximos a essa estação (abril e novembro). Observou-se também chuvas expressivas em regiões que possuem significativa influência do relevo, uma vez que as precipitações mensuradas por pluviômetros localizados próximos aos maciços do município apresentaram os maiores limiares, o que acontece sobretudo durante a passagem de frentes frias.

Essa influência da topografia é principalmente destacada na região da Tijuca (Zona Norte), bairro esse que registrou um dos maiores índices pluviométricos em todos os indicadores examinados, devido à proximidade com o Maciço da Tijuca. Na Zona Oeste, os maiores totais pluviométricos foram observados na estação da Grota Funda, também localizada próximo à região de montanha (Maciço da Pedra Branca). Vale ressaltar as influências de instabilidades atmosféricas oriundas de outras regiões, como o desenvolvimento de chuva na Costa Verde que avança diretamente para a Zona Oeste da cidade, assim como as precipitações que se formam na Região Serrana e Baixada Fluminense e que se deslocam para a Zona Norte do município. Salienta-se também a influência da circulação marítima, especialmente nos limiares de precipitação registrados na Zona Sul da cidade. Nessa região, o pluviômetro que exibe os maiores volumes é o da Rocinha, bairro esse localizado na encosta do Maciço da Tijuca voltada para o mar, com enfática vulnerabilidade a chuvas extremas.

Desse modo, a atuação da Defesa Civil é essencial frente aos riscos provenientes da interação dessas chuvas com os aspectos fisiográficos e vulnerabilidades da cidade do Rio de Janeiro. Mudanças relacionadas à estruturação e atuação da Defesa Civil vem acontecendo no transcurso dos anos. Os maiores exemplos são o aperfeiçoamento principalmente após grandes tragédias, como a ocorrida em 1966, que resultou na criação da primeira Defesa Civil Estadual do Brasil, no Estado da Guanabara, com o aprimoramento de métodos de trabalho e utilização de novas tecnologias. No campo legal, o grande marco da última década foi a instituição da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC, 2012), formulada também após grandes tragédias, entre elas as chuvas severas ocorridas na cidade do Rio de Janeiro em abril de 2010, e na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011.

A PNPDEC prioriza as ações pré-desastre, principalmente a etapa de prevenção. Foi possível observar a evolução do trabalho da Defesa Civil Municipal e Estadual em conformidade com essa lei, atuando de forma integrada com a população e com órgãos públicos e privados. Tais ações puderam ser notadas na abordagem sobre o Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas Fortes da Prefeitura do Rio de Janeiro (em ação integrada com o Centro de Operações Rio) e do Projeto Defesa Civil nas Escolas. Esses projetos atuam ativamente junto à população residente em locais de risco, construindo junto à ela e suas lideranças locais os planos de desocupação e pontos de apoio visando preservar vidas em situações de emergência.

No decorrer dessa pesquisa, também foi verificado que as ações de prevenção e preparação são contínuas e devem estar alinhadas com as novas tecnologias. Nesse sentido, foi interessante notar o uso de novas tecnologias, como a parceria da Defesa Civil com a Anatel, que permitiu ações como o Sistema de Alerta por Mensagem de Texto (SMS) e futuramente nas operadoras de TV a cabo, que alertarão a população através de mensagens curtas durante a programação.

Nas análises referentes às projeções futuras para as chuvas intensas na cidade do Rio de Janeiro, as tendências apontadas pelos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do IPCC do modelo climático Eta-MIROC5 para as próximas décadas do século XXI é de aumento expressivo da precipitação, tanto em termos de frequência quanto intensidade. Isso indica uma continuidade de eventos extremos que já são observados no município nos dias atuais. Essa conjuntura futura vai de encontro à proposta da PNPDEC, visto que a Defesa Civil precisa estar preparada,

tomando decisões constantemente e elaborando planos de prevenção adequados a esses cenários extremos, buscando a proteção da população.

Para trabalhos futuros, é importante seguir acompanhando as tendências observadas e o estado da arte em projeções de precipitação no município do Rio de Janeiro. A atualização da climatologia da precipitação também deve ser realizada ao longo dos anos, buscando mudanças nos padrões dos limiares de chuvas extremas. Essas futuras pesquisas devem servir de apoio para as novas ações de atuação da Defesa Civil com relação à prevenção de riscos e desastres causados por chuvas severas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, R. F.; GU, G.; SAPIANO, M.; WANG, J-J; HUFFMAN, G. J. Global Precipitation: Means, Variations and Trends during the Satellite Era (1979-2014). *Surveys in Geophysics*, v. 38, n. 4, p. 679-699, 2017.

ANDREATTA, V. *Cidades quadradas, paraísos circulares: os planos urbanísticos do Rio de Janeiro*, Mauad X, 1a ed. Rio de Janeiro, 2006.

ALMEIDA, A. C. L. de. Chuva, lamaçal e inundação no Rio de Janeiro do século XIX: entre a providência divina e o poder público. *Revista do Arquivo Geral da Cidade do Rio de Janeiro* n.8, 2014.

AMORIM, M. F. de; QUELHAS, O. L. G.; MOTTA, A. L. T. S. da. A resiliência das cidades frente a chuvas torrenciais: estudo de caso do plano de contingência da cidade do Rio de Janeiro, em *Sociedade & Natureza*, 2014.

BARCELLOS, P. C. L. *Precipitações intensas na cidade do Rio de Janeiro: probabilidade e previsibilidade - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE*, 2009.

BRASIL. Lei 12.608, de 10 de Abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1o de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. *Diário Oficial*, Brasília, 11 abr. 2012.

BRASIL. Decreto Nº 7.257, de 4 de agosto de 2010; Regulamenta a Medida Provisória no 494 de 2 de julho de 2010, para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, sobre o reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública, sobre as transferências de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastre, e de outras providências.

CÂMARA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. Relatório Final da Comissão Parlamentar de Inquérito Instituída Pela Resolução N° 1.450/2019, 2019.

CANÇADO, V.L. Consequências Econômicas Das Inundações E Vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade. UFMG, Tese de Doutorado, Belo Horizonte, 2009.

CARACTERÍSTICAS Geográficas da Cidade do Rio de Janeiro, 07 de dez. de 2009. Disponível em < <http://www.rio.rj.gov.br/web/riotur/caracteristicas-geograficas> > Acesso em: 14 de outub. de 2019.

CENTRO DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS - CEMADEN. Sala de Operação. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/sala-de-operacao> Acesso em: 23 mar .2020.

CENTRO DE OPERAÇÕES PREFEITURA DO RIO <http://cor.rio/>

CENTRO DE OPERAÇÕES PREFEITURA DO RIO. Twitter: @OperacoesRio. Disponível em: <https://twitter.com/OperacoesRio> Acesso em: 18 mar. 2020.

CENTRO DE OPERAÇÕES PREFEITURA DO RIO. Instagram: @operacoesrio <https://www.instagram.com/operacoesrio/> Acesso em: 18 mar. 2020.

CENTRO DE PREVISÃO E ESTUDOS DO CLIMA - CPTEC. Boletins de Climanálise. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>. Acesso em: 20 mai. 2020.

CHOU, S.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; C. , PILOTTO, I. , GOMES, J. , BUSTAMANTE, J. , TAVARES, P. , SILVA, A. , RODRIGUES, D. , CAMPOS, D. , CHAGAS, D. , SUEIRO, G. , SIQUEIRA, G. and MARENGO, J. Assessment of Climate Change over South America under RCP4.5 and RCP8.5 Downscaling Scenarios. American Journal of Climate Change, v. 3, p. 512-527, 2014.

CHOU, S.C, LYRA, A. , MOURÃO, C. , DEREZYNSKI, C. , PILOTTO, I. , GOMES, J. , BUSTAMANTE, J. , TAVARES, P. , SILVA, A. , RODRIGUES, D. , CAMPOS, D. , CHAGAS, D. , SUEIRO, G. , SIQUEIRA, G. and MARENGO, J. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. American Journal of Climate Change, 3, 438-454. 2014.

CHOU, S.C, LYRA, A. , MOURÃO, C. , DEREZYNSKI, C. , PILOTTO, I. , GOMES, J. , BUSTAMANTE, J. , TAVARES, P. , SILVA, A. , RODRIGUES, D. , CAMPOS, D. , CHAGAS, D. , SUEIRO, G. , SIQUEIRA, G. and MARENGO, J. (2014) Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. American Journal of Climate Change,3, 512-527. 2014.

CLIMATEMPO STORMGEO. Rio de Janeiro tem mais chuva nesta terça-feira. Publicado em 08 de abril de 2019. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2019/04/08/rio-de-janeiro-tem-mais-chuva-nesta-terca-feira-3767> Acesso em 18 de mar 2020.

COSTA, A. J. S. T.; CONCEIÇÃO, R. S.; AMANTE, F. O. As Enchentes Urbanas e o Crescimento da Cidade do Rio de Janeiro: Estudos em direção a uma cartografia das Enchentes Urbanas - Geo UERJ, Rio de Janeiro, n. 32, p. e25685, 2018.

COSTA, H. Enchentes no Estado do Rio de Janeiro: uma abordagem geral Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. Disponível em: <http://www.crea-sc.org.br/portal/arquivosSGC/File/08-Enchentes.pdf>, Rio de Janeiro: Semads, 2001.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Defesa Civil apresenta plano de emergência para o período chuvoso. Disponível em: <http://www.defesacivil.mg.gov.br/index.php/defesa-civil-apresenta-plano-de-emergencia-para-o-periodo-chuvoso> Acesso em 24 de maio de 2020.

DEREZYNSKI, C. P.; LUIZ-SILVA, W.; MARENGO, J. A. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. American Journal of Climate Change, v. 2, p. 25-33, 2013.

DERECZYNSKI, C. P.; CALADO, R. N.; BODSTEIN, A. Chuvas extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. v. 40, n. 2, p. 17-30, 2017.

DONAT, M. G.; ALEXANDER, L. V.; YANG, H.; DURRE, I.; *et al.* Updated Analyses of Temperature and Precipitation Extreme Indices since the Beginning of the Twentieth Century: The HadEX2 Dataset. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 118, p. 2098-2118, 2013.

FERREIRA, L. C. Pior enchente do Rio de Janeiro completa 50 anos. Empresa Brasil de Comunicação, Rio de Janeiro, 09 de jan. de 2016. Disponível em: <http://www.ebc.com.br/noticias/meio-ambiente/2015/12/pior-enchente-do-rio-de-janeiro-completa-50-anos> Acesso em: 23 de out. de 2019.

FLATO, G. M. Earth System Models: An Overview. Wiley Interdisciplinary Reviews, Climate Change, 2011.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; *et al.* Observed Coherent Changes in Climatic Extremes during the Second Half of the Twentieth Century. Climate Research, v. 19, p. 193-212, 2002.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; *et al.* Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature. Journal of Climate, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – PIB dos Municípios Brasileiros 2019. IBGE 2020. Consultado em 4 de março 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa de Informações Básicas Municipais - MUNIC. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/protecao-social/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) – Perfil dos Municípios Brasileiros: 2017 / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. – Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

FOLHA DE SÃO PAULO. #Chuarj: Erros e Acertos das autoridades e nas redes sociais Sobre o Temporal no RJ. Disponível em <<https://piaui.folha.uol.com.br/lupa/2019/04/09/tempo-real-chuva-rj-temporal/>> Acesso em 19 abr. 2020

GIORGI, F. On the Simulation of Regional Climate using a Limited Area Model nested in a General Circulation Model. *Journal of Climate*, v. 3, p. 941–963, 1990.

GRANDIN, F., ‘Chuva atípica’ se repete há séculos no RJ; conheça histórias e imagens de grandes temporais, 10 de abr. de 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/04/10/chuva-atipica-se-repete-ha-seculos-no-rj-conheca-historias-e-imagens-de-grandes-temporais.ghtml>> Acesso em 21 de out. de 2019

GONÇALVES, R. S. “São as águas de março fechando o verão...” Chuvas e Políticas Urbanas nas Favelas Cariocas. *Acervo, Revista do Arquivo Nacional*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 98-119, jan./jun. 2015

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate Change 2013: Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G. K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 1535 p., 2013.

JANCZURA, R. “Risco ou vulnerabilidade social?”, *Textos & Contextos (Porto Alegre)*, v. 11, n. 2, p. 301 - 308, ago./dez. 2012.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LONDE, Luciana de Resende et al. Water-related disasters in Brazil: perspectives and recommendations. *Ambient. soc.* [online]. 2014, vol.17, n.4, pp.133-152. ISSN 1809-4422

LUIZ-SILVA, W.; DEREZYNSKI, C. P. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 37, n.2, p. 123-138, 2014.

LUIZ-SILVA, W.; DEREZYNSKI, C. P.; CHOU, S. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Future Changes in Temperature and Precipitation Extremes in the State of Rio de Janeiro (Brazil). *American Journal of Climate Change*, v. 3, p. 353-365, 2014.

MAIA, A. C. N., *Imagens de uma cidade submersa: o Rio de Janeiro e suas enchentes na memória de escritores e fotógrafos. Revista Escritos, Rio de Janeiro*, v. 6, n. 6, p.247-274, 2012.

MAIA, A. C. N.; SEDREZ, L., *Narrativas de um dilúvio carioca: memória e natureza na grande enchente de 1966. Revista de História Oral, São Paulo*, v. 14, n. 2, p. 221-254, 2011.

MARENGO, J. A.; Valverde, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência*, v. 8, p.5-28, 2007.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; *et al.* Development of Regional Future Climate Change Scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 Climate Change Projections: Climatology and Regional Analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. *Climate Dynamics*, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012.

MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An Intercomparison of Observed and Simulated Extreme Rainfall and Temperature Events during the Last Half of the Twentieth Century: part 2: Historical Trends. *Climatic Change*, v. 98, p. 509–529, 2010.

MESINGER, F.; CHOU, S. C.; GOMES, J. L.; JOVIC, D.; *et al.* An Upgraded Version of the Eta Model. *Meteorology and Atmospheric Physics*, n. 116, p. 63-79, 2012.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MI (2016b). Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade).

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Competências da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Disponível em <<https://www.mdr.gov.br/protecao-e-defesa-civil/apresentacao/competencias>> Acesso em 31 de maio de 2020.

NACARATTI, M.A. Os cenários de mudanças climáticas como novo condicionante para a gestão urbana: as perspectivas para a população da Cidade do Rio de Janeiro. XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais. 2008.

PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. L.; GARCIA, V. F. V. Caracterização Estatística de Tendências Climáticas em Séries Anuais de Temperatura Média e Precipitação para as Capitais Estaduais do Brasil. Revista Geintec, v. 3, n. 4, p. 1-15, 2013.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Projeto Defesa Civil nas Escolas Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/defesacivil/projeto-defesa-civil-nas-escolas> 2016.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Rio Resiliente: Diagnóstico e Áreas de Foco, 2015. <http://www.centrodeoperacoes.rio.gov.br/assets/PEF-0112-14-LVR-210x280-Resiliencia-43.pdf>

PRISTO, M. V. e Jesus; DEREZYNSKI, C. P.; SOUZA, P. R. de; MENEZES, W. F. Climatologia de Chuvas Intensas no Município do Rio de Janeiro; Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, v. 4, 615 630, 2018.

Revista Veja; Editora Abril , Edição 2160, ano 43 nº15 de 14 de abril de 2010.

RIBEIRO, S. K., Santos, A. S. (eds.) Mudanças climáticas e cidades: relatório especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2016.

SANTOS, A. E., Oliveira, I. R. - Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento, 2018

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. Rev. bras. meteorol., São Paulo, v. 31, n. 1, p. 64-73, Mar. 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE E DEFESA CIVIL, Para o Cidadão, Como Agir em Desastres Cartilha Inundação Como Agir. Rio de Janeiro, 2019, Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6061719/4159508/Cartilhainundacao.pdf> Acesso em 19 de abr. 2020.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE – SMAC. Mapeamento da Cobertura Vegetal e do uso das terras do Município do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/>. Acesso em 19 de abr. 2020.

SENEVIRATNE, S. I.; NICHOLLS, N.; EASTERLING, D.; GOODESS, C. M.; et al. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: 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). Cambridge University Press, p. 109-230, 2012.

SIMAS, L. A., Crônica de uma Chuva Anunciada [Artigo], 09 de abr. de 2019, Disponível em: <<https://epoca.globo.com/cronica-de-uma-chuva-anunciada-artigo-23585677>> Acesso em: 20 de out. de 2019.

SISTEMA Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, *Downloads*, Danos Meteorológicos, Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br>> Acesso em: 23 de out. de 2019.

TARTAGLIA, C. Memória O Globo, 09 de janeiro de 1998. O Rio em colapso. Disponível em: <http://memoria.oglobo.globo.com/jornalismo/premios-jornalisticos/o-rio-em-colapso-9886820>. Acesso em 20 fev. 2020.

TARTAGLIA, C. Memória O Globo, 11 de janeiro de 1966. O Rio afunda no maior de todos os temporais. Disponível em: <http://memoria.oglobo.globo.com/jornalismo/reportagens/o-rio-afunda-no-maior-de-todos-os-temporais-8838969> Acesso em 20 fev. 2020.

TEIXEIRA, M.S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. *Monthly Weather Review*, v. 135, n. 2, p. 598-617, 2007.

TUCCI, C. E. M. – Gerenciamento da Drenagem Urbana – RBRH – Revista Brasileira de Recurso Hidricos, Vol. 7 – Nº. 1, 2002

UOL. Assinantes de TV receberão mensagens de alerta da Defesa Civil – Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-brasil/2019/09/23/assinantes-de-tv-receberao-mensagens-de-alerta-da-defesa-civil>. > Acesso em 19 abr. 2020

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; *et al.* The Representative Concentration Pathways: an Overview. *Climatic Change*, v. 109, p. 5-31, 2011.