

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE
CURSO DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE

CLARISSE RANGEL OTTERO

**AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA DAS CHUVAS OBSERVADAS NO
MUNICÍPIO DE TERESÓPOLIS EM MARÇO DE 2013**

NITERÓI

2016

CLARISSE RANGEL OTTERO

**AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA DAS CHUVAS OBSERVADAS NO
MUNICÍPIO DE TERESÓPOLIS EM MARÇO DE 2013**

Projeto Final I apresentado à banca examinadora como parte dos requisitos à Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente da Universidade Federal Fluminense, e obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora:

Professora Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora, D.Sc.

NITERÓI - RJ

2016

CLARISSE RANGEL OTTERO

**AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA DAS CHUVAS OBSERVADAS NO
MUNICÍPIO DE TERESÓPOLIS EM MARÇO DE 2013**

Projeto Final I apresentado à banca examinadora como parte dos requisitos à Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente da Universidade Federal Fluminense, e obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Professora Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora, D.Sc.

ORIENTADORA

Professor Antônio Ferreira da Hora, D. Sc.

Professor Marcelo Wangler de Avila, MSc.

NITERÓI

2016

RESUMO

No Brasil, os eventos climáticos, associados às características de ocupação do território pela população e à falta de mecanismos adequados de drenagem urbana, historicamente foram responsáveis pela ocorrência de desastres associados a enchentes e deslizamentos. Em 2011, o Brasil ficou em sétimo lugar no ranking anual de desastres do Centro de Pesquisas em Epidemiologia e Desastres (“CRED”) da Universidade Católica de Louvain, na Bélgica, em consequência do que foi considerado o pior desastre natural da história do país, a enchente de janeiro de 2011, que atingiu a Região Serrana do Rio de Janeiro, deixando mais de 900 mortos. Com o acirramento das mudanças ambientais globais, eventos como o desastre de janeiro de 2011 se tornam mais frequentes e o estudo destes se torna cada vez mais relevante para fins de planejamento e prevenção. A fim de determinar o tempo de recorrência do evento mais extremo de chuvas intensas em Teresópolis após 2011, foi identificado que 2013 foi o ano com maior volume de chuvas entre 2012 e 2015. Através do levantamento de dados de precipitação do Sistema de Alerta de Cheias do INEA para todo o ano de 2013, concluiu-se que o evento de chuvas mais intenso do ano ocorreu entre os dias 17 e 18 de março, já que a estação Comari registrou a maior chuva diária do ano, 226,60 mm, 96% da média de precipitação do mês de março. Após o cálculo das chuvas diárias e de 24 horas para todas as estações de Teresópolis do Sistema de Alerta do INEA, foi realizada uma comparação com a recorrência das chuvas registradas no HidroWeb. De acordo com os resultados encontrados, na estação Comari, que pode ser relacionada ao posto Soberbo do Sistema de Alerta, foram apresentadas as maiores alturas de chuva acumulada, independente do intervalo utilizado para a soma móvel. Na avaliação da maior chuva de 24 horas registrada na estação Comari para o evento em questão, calculada entre 20:45 do dia 17 e 20:45 do dia 18, em comparação com a recorrência das chuvas do posto Soberbo, obteve-se um tempo de recorrência de 138 anos.

Palavras-chave: Tempo de recorrência; chuvas intensas, enchentes; deslizamentos de terra.

ABSTRACT

In Brazil, weather events associated with irregular occupation of the territory by the population and the lack of adequate mechanisms for urban drainage, were historically responsible for the occurrence of disasters associated with floods and landslides. In 2011, Brazil ranked seventh in the annual ranking of the Research Center of Disaster Epidemiology and Disasters ("CRED") of the Catholic University of Louvain, Belgium, as a result of what was considered the worst natural disaster in the country's history, the flood of January 2011, which hit the mountainous region of Rio de Janeiro, leaving more than 900 dead. With the intensification of global environmental changes, events like the disaster of January 2011 become more frequent and the study of these becomes increasingly relevant for the purposes of planning and prevention. In order to determine the recurrence time of the most extreme rain event in Teresopolis after 2011, it was identified that 2013 was the year with higher rainfall between 2012 and 2015. Through the rainfall data from INEA's Alert System for the whole year of 2013, it was concluded that the most intense rainfall event of the year took place between 17 and 18 March, as the Comari station recorded the highest daily rainfall of the year, 226.60 mm, 96% of the month's average rainfall of March. After the calculation of the daily rainfall and the 24 hours rainfall for all meteorological stations at Teresopolis from INEA's Alert System, a comparison with the recurrence of rainfall recorded in the HIDROWEB was held. According to the results, the Comari station, which can be related to the Soberbo station at the Alert System, presented the greatest heights of accumulated rain. In assessing the highest 24 hours rainfall recorded in Comari station to the event, calculated between 20:45 of the 17th and 20:45 of the 18th, compared with the recurrence of rains registered in Soberbo station, a recurrence time of 138 years was found.

Keywords: Recurrence time; heavy rainfalls, floods; land slides.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO	2
2. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TERESÓPOLIS	2
2.1. LOCALIZAÇÃO.....	2
2.2. HIDROGRAFIA.....	3
2.2.1. <i>Bacia do Rio Santo Antônio</i>	5
2.2.2. <i>Bacias dos Rios Preto e Paquequer</i>	5
2.2.3. <i>Bacia do Rio Meudon</i>	6
2.3. DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS	6
3. HISTÓRICO DE EVENTOS INTENSOS	8
3.1. NO BRASIL.....	8
3.2. NO RIO DE JANEIRO E NA REGIÃO SERRANA DO ESTADO.....	10
4. SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS DO INEA.....	14
5. DETERMINAÇÃO DA RECORRÊNCIA DO EVENTO	16
5.1. SELEÇÃO DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS.....	16
5.1.1. <i>Postos do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA</i>	16
5.1.2. <i>Postos do Sistema de Alerta de Cheias do INEA</i>	19
5.2. SELEÇÃO DO EVENTO	21
5.3. CÁLCULO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA DO EVENTO.....	24
5.3.1. <i>Cálculo da Recorrência das Chuvas de 24 horas das Estações Pluviométricas da ANA</i>	24

5.3.1.1 Conversão das chuvas máximas diárias em chuvas máximas de 24 horas.....	24
5.3.1.2 Análise estatística das séries históricas das estações da ANA	26
5.3.1.3 Roteiro de Cálculo	27
5.3.2. <i>Comparação da Recorrência das Estações da ANA com os Dados do Sistema de Alerta de Cheias do INEA</i>	28
6. CONCLUSÕES	31
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os eventos climáticos, associados às características de ocupação do território pela população e à falta de mecanismos adequados de drenagem urbana, historicamente foram responsáveis pela ocorrência de desastres, provocando um número considerável de perdas de vidas humanas, além de perdas materiais expressivas.

De acordo com o banco de dados da EM-DAT, entre 1990 e 2014, a ocorrência de enchentes representou a maior parte dos desastres brasileiros reportados internacionalmente, Figura 1.

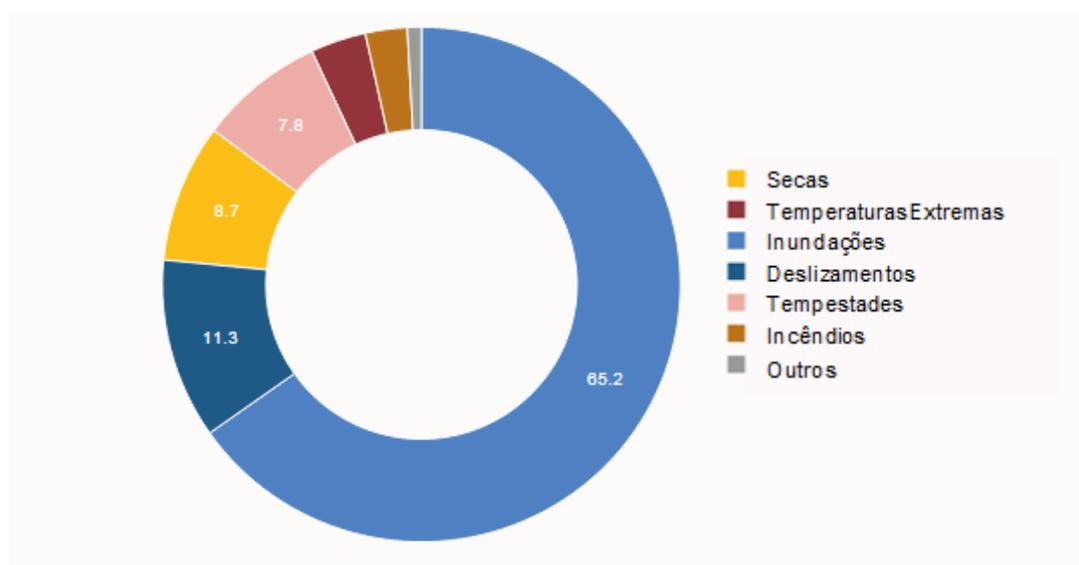


Figura 1 - Frequência de Desastres Brasileiros Reportados Internacionalmente entre 1990 e 2014.

Fonte: EM-DAT, 2015

Em segundo lugar, estão os desastres relacionados a deslizamentos, que, geralmente, coincidem com grandes acumulados de precipitação pluviométrica em áreas sensíveis.

Em 2011, o Brasil ficou em sétimo lugar no ranking anual de desastres do Centro de Pesquisas em Epidemiologia e Desastres (“CRED”) da Universidade Católica de Louvain, na Bélgica, em consequência do que foi considerado o pior desastre natural da história do país, a enchente de janeiro de 2011, que atingiu sete cidades da Região Serrana do Rio de Janeiro, principalmente os municípios de Nova

Friburgo, Petrópolis e Teresópolis, deixando mais de 900 mortos. Em decorrência da precipitação acumulada de 241,8 mm em 24 horas, o município de Teresópolis foi quase todo atingido com movimentos de massa generalizados (Dourado et al., 2012).

Com o acirramento das mudanças ambientais globais, eventos como este se tornam mais frequentes e o estudo destes eventos se torna cada vez mais relevante para fins de planejamento e prevenção.

1.1. OBJETIVO

O presente estudo pretende determinar o tempo de recorrência do evento mais extremo de chuvas intensas em Teresópolis após 2011, ocorrido em 17 e 18 de março de 2013, através do levantamento das séries históricas das estações pluviométricas, no intuito de analisar a magnitude deste evento.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TERESÓPOLIS

2.1. LOCALIZAÇÃO

O município de Teresópolis, localizado no estado do Rio de Janeiro, Figura 2, possui área total de aproximadamente 771 km², correspondendo a 11,1% da área da Região Serrana e se localiza a latitude 22°24'44" sul e longitude 42°57'56" oeste. Teresópolis está subdividida em três distritos: Teresópolis, Vale do Paquequer e Vale de Bonsucesso, sendo o Vale do Paquequer o segundo distrito mais populoso, com 8828 habitantes (IBGE Censo 2010).

Os limites municipais, no sentido horário, são: Petrópolis, São José do Vale do Rio Preto, Sumidouro, Nova Friburgo, Cachoeiras de Macacu e Guapimirim. A cidade conta com 60 bairros oficiais, sendo São Pedro, Alto e Várzea os mais populosos.

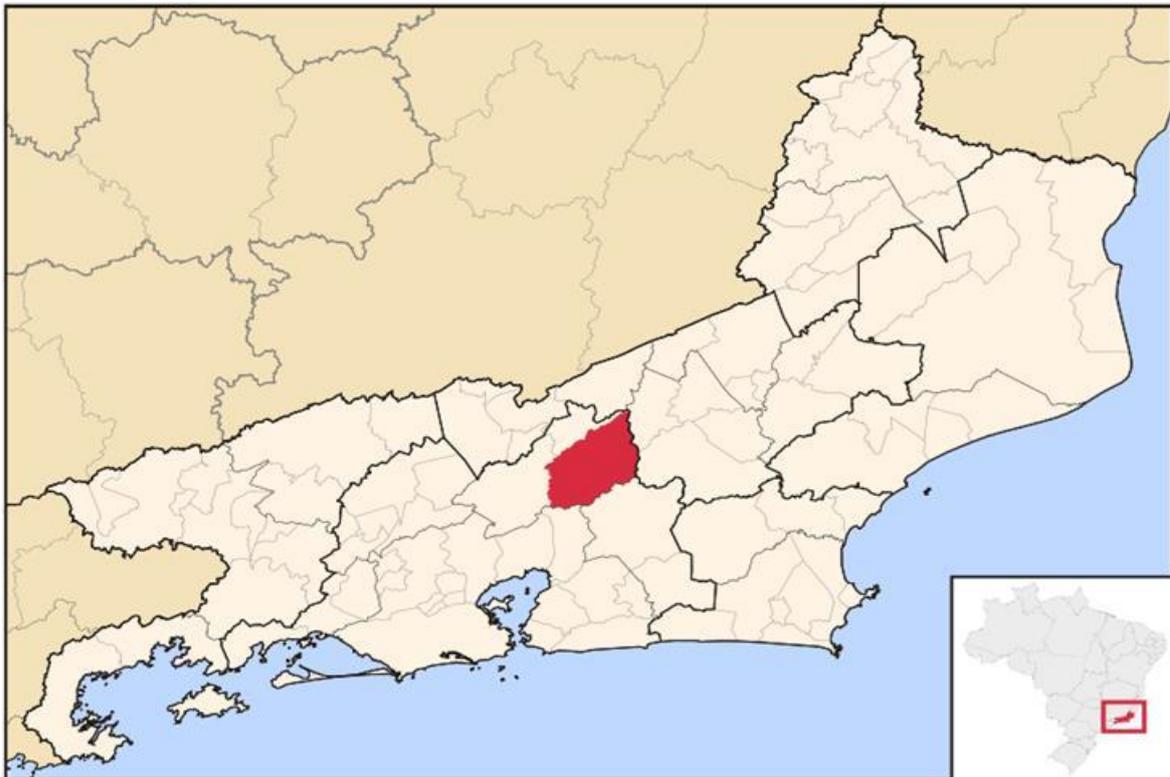


Figura 2 - Mapa do Rio de Janeiro, com destaque para a localização do Município de Teresópolis.
Fonte: Wikipedia, 2015.

2.2. HIDROGRAFIA

Teresópolis está inserida na Bacia Hidrográfica Piabanha – Região Hidrográfica IV (RH-IV). A bacia apresenta uma área de aproximadamente 4.484 km², onde vivem cerca de 700 mil habitantes, abrangendo dez municípios. Os municípios de Teresópolis, Areal, São José do Vale do Rio Preto, Sapucaia, Sumidouro, estão inseridos integralmente na Região Hidrográfica, enquanto os municípios de Carmo, Paraíba do Sul, Paty do Alferes, Petrópolis e Três Rios, estão inseridos parcialmente, Figura 3.

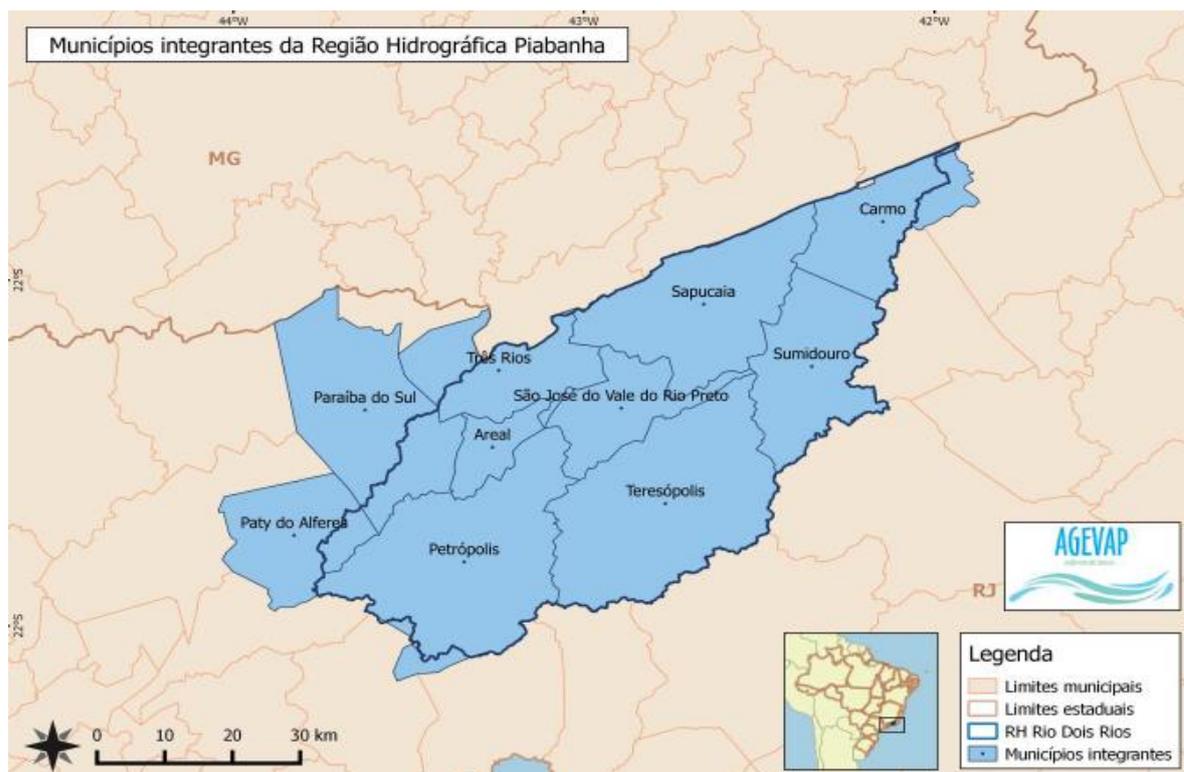


Figura 3 - Municípios da Região Hidrográfica IV

Fonte: Comitê Piabanha, 2015.

Com relevo acidentado em grande parte de seus limites e montanhoso nas cidades mais povoadas, Petrópolis e Teresópolis, a bacia sofre com frequentes desastres classificados pela Defesa Civil como "escorregamentos ou deslizamentos" e "corridas de massa". As inundações são mais graves nos eventos mais críticos de chuvas com ocorrência de enxurradas, que carregam grandes quantidades de detritos e sedimentos provenientes das encostas afetadas pelos deslizamentos, o que aumenta a área alagada e o impacto da súbita elevação de nível dos rios.

Além disso, eventos menos críticos de chuva também causam enchentes e alagamentos, especialmente nos centros urbanos, tendo em vista a ocupação de áreas determinadas como "não edificantes" na legislação federal e estadual em vigor, tais como as faixas marginais de proteção dos rios e as encostas com forte declividade.

No período de 2000 a 2012 houve 35 ocorrências com inundações na bacia, que deixaram 27.793 pessoas fora de casa e 192 mortas. A maior parte dos danos

humanos foi registrada nos desastres do grupo "Inundações e Deslizamentos", no qual os municípios mais críticos foram Petrópolis, Sumidouro, Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto (INEA, 2014).

De acordo com o Plano Estadual de Recursos do Rio de Janeiro, dentre as principais sub-bacias com problemas relacionados a inundações de centros urbanos na região hidrográfica, estão as dos rios Santo Antônio, Preto, Paquequer e Meudon, que atravessam o município de Teresópolis.

2.2.1. Bacia do Rio Santo Antônio

A bacia drena uma área de aproximadamente 117 km² e tem sua nascente localizada no município de Teresópolis. Se desenvolve por 18 km das nascentes até desaguar no rio Piabanha, no distrito de Itaipava. Devido à urbanização inadequada do estreito vale que atravessa, o rio Santo Antônio tem sido alvo de frequentes inundações nos últimos anos. Para recuperação da área da bacia hidrográfica que foi severamente castigada pelas chuvas intensas ocorridas em janeiro de 2011, várias intervenções foram realizadas pelo INEA na calha do rio e áreas marginais com o intuito de desimpedir o caminho das cheias.

2.2.2. Bacias dos Rios Preto e Paquequer

O rio Preto possui extensão de 54 km e nasce no município de Teresópolis, banhando os municípios de São José do Vale do Rio Preto, Areal e parte do distrito da Posse em Petrópolis, com área de drenagem de cerca de 1.072 km². No trecho em que o rio atravessa a cidade de São José do Vale do Rio Preto, o rio teve sua calha significativamente alargada com as intensas chuvas de janeiro de 2011, destruindo partes da rodovia marginal e das edificações situadas na margem do rio.

O rio Paquequer, que desemboca no Rio Preto e tem extensão de 37 km, nasce a 2.100 m de altitude, na Pedra do Sino e atravessa a cidade de Teresópolis onde corre em direção norte, banhando áreas rurais, recebendo efluentes de origem industrial, doméstico e rural. O aumento da impermeabilização da bacia, provocado pelo crescimento da cidade de Teresópolis, teve como consequências o aumento do nível de suas cheias, dando origem a frequentes extravasamentos na região central da cidade. O rio Paquequer e vários de seus afluentes também tiveram suas calhas

alargadas, atingidas por grande quantidade de detritos, pedras e lamas que foram transportados nas enxurradas de 2011.

2.2.3. Bacia do Rio Meudon

A área de drenagem do rio Meudon possui cerca de 8 km², e seu curso se desenvolve ao longo de 5 km até a foz no rio Paquequer, no setor leste da cidade de Teresópolis. No seu curso atravessa áreas urbanas com elevada densidade de ocupação que acontece nas encostas e na parte baixa dos talwegues. O rio transborda com frequência ao longo de seu trajeto onde o escoamento acontece em trechos a céu aberto que se alternam com trechos em galeria.

2.3. DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS

Durante o verão, principalmente nos meses de dezembro a janeiro, as frentes frias originadas na região polar sul movem-se sobre o Atlântico Sul e, ao entrar em contato com massas tropicais de ar aquecidas, convertem-se em intensos temporais. A região da Serra do Mar, com seus compartimentos montanhosos e alinhamentos serranos, torna-se particularmente vulnerável à entrada de massas de ar e às tempestades associadas. Consequentemente, eventos extremos de chuvas intensas seguidas de movimentos de massa e enchentes são recorrentes na região sudeste do Brasil (Waldherr, 2014).

No Gráfico 1, obtido através dados médios de chuva da série histórica, de 1913 a 2015, dos postos pluviométricos localizados no Município de Teresópolis, disponíveis no site da Agência Nacional das Águas (ANA), observa-se a distribuição média de chuvas ao longo do ano.

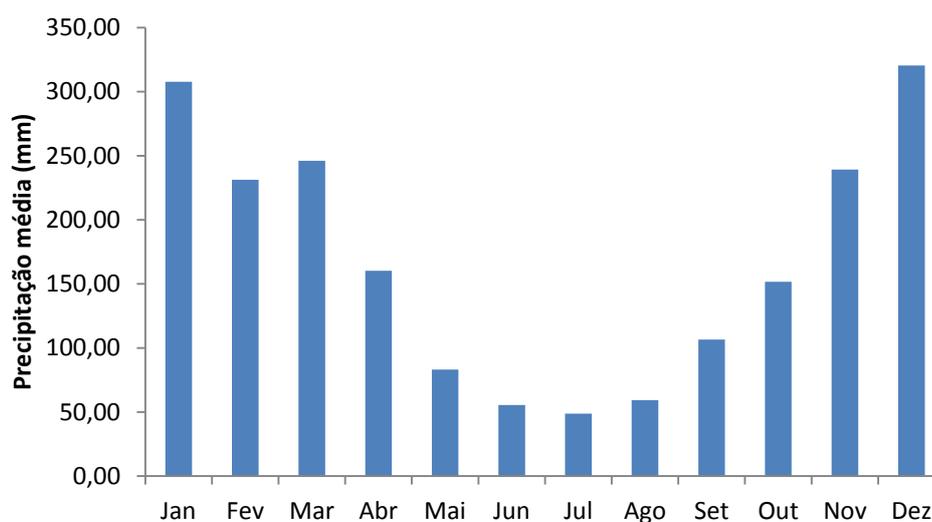


Gráfico 1 - Distribuição média mensal de chuvas em Teresópolis.

Fonte: Adaptado de Dados Hidrológicos – HidroWeb – ANA, 2015.

Nota-se que o período mais chuvoso no município vai do mês de novembro a março, com precipitação média mensal acima de 200 mm. Na Tabela 1, observa-se a distribuição mensal das chuvas para cada um dos postos da ANA.

Tabela 1 - Distribuição média mensal de chuvas em Teresópolis.

Mês	Bom Sucesso	Fazenda Sobradinho	Soberbo	Teresópolis (Parque Nacional)	Teresópolis	Fazenda Coqueiro	Média Mensal
Jan	248,80	257,20	340,60	455,20	293,90	321,50	307,70
Fev	147,80	169,40	324,40	330,60	228,20	234,30	231,25
Mar	144,00	156,00	277,90	295,80	237,70	254,50	246,10
Abr	65,80	72,10	205,60	213,00	119,40	201,00	160,20
Mai	37,80	43,10	129,80	125,90	75,70	90,50	83,10
Jun	24,80	32,00	126,30	69,80	44,00	67,00	55,50
Jul	21,80	19,90	55,20	102,30	42,20	76,40	48,70
Ago	23,30	21,50	113,00	94,50	46,50	71,90	59,20
Set	59,70	54,40	129,70	133,20	83,40	158,60	106,55
Out	98,80	104,50	185,00	235,30	145,40	158,00	151,70
Nov	170,20	167,70	288,30	319,30	229,20	249,30	239,25
Dez	235,80	266,50	384,80	423,70	313,10	327,90	320,50
Média	82,3	88,3	195,3	224,15	132,4	179,8	155,95

Fonte: Adaptado de Dados Hidrológicos – HidroWeb – ANA, 2015.

Os postos Soberbo e Teresópolis registraram as maiores médias de chuva. Vale ressaltar que estes postos estão localizados em altitudes mais elevadas que os demais postos analisados, um indício da, amplamente conhecida, influência da topografia sobre as precipitações.

3. HISTÓRICO DE EVENTOS INTENSOS

3.1. NO BRASIL

O crescimento populacional aliado ao aumento da ocupação em áreas de risco vem aumentando a ocorrência de desastres naturais no mundo, que alçam grande repercussão na mídia. No Brasil, principalmente nas Regiões Sul e Sudeste, os desastres mais comuns são decorrentes de chuvas intensas e das consequentes inundações, enxurradas e deslizamentos, agravados pela condição generalizada de ocupação em áreas de risco (INEA, 2014).

Atualmente, o maior banco de dados global sobre ocorrências de desastres naturais é o EM-DAT, mantido desde 1988 pelo Centro de Pesquisas em Epidemiologia e Desastres (CRED) da Universidade Católica de Louvain, na Bélgica. Para ser inserido nesse banco de dados, um desastre natural precisa ter pelo menos uma das seguintes condições: 10 ou mais pessoas mortas, 100 ou mais pessoas afetadas, declaração de estado de emergência ou pedido de ajuda internacional.

No último Relatório Anual de Estatísticas de Desastres do CRED, baseado nos eventos ocorridos em 2014, o Brasil estava entre os 10 países com maior número de vítimas de desastres naturais.

De acordo com a base de dados do EM – DAT, conforme pode ser observado na Tabela 2, os tipos de desastre mais recorrentes entre 1948 e 2015 no Brasil foram os eventos de inundações e secas.

Tabela 2 – Tipos de Desastres Mais Recorrentes no Brasil entre 1948 e 2015.

Tipo de Desastre	Ocorrências	Afetados	Óbitos
Inundações	130	20.050.545,00	7.737,00

Secas	39	78.812.000,00	20,00
Deslizamentos	33	4.238.314,00	1.730,00
Tempestades	26	226.956,00	352,00
Epidemias	21	1.982.376,00	2.217,00
Temperaturas Extremas	20	600,00	355,00
Terremotos	2	23.286,00	2,00
Incêndios Naturais	2	12.000,00	1,00
Infestação de Insetos	1	2.000,00	-

Fonte: Adaptado de EM-DAT, 2016.

Os totais de vítimas de inundações, até 2015, foram aproximadamente 20 milhões de pessoas afetadas e 7.737 de mortes. Quanto às ocorrências de secas, consta o total de 78 milhões de pessoas afetadas, com 20 mortes. De todos os eventos de secas registrados, as mortes ocorreram somente no ano de 1983. Embora o número de pessoas afetadas pelas secas seja maior do que pelas inundações, a frequência das inundações é muito maior, com registros em quase todos os anos do período analisado.

Observa-se também que, em termos de número de óbitos, o ano de 2011 configurou o ano mais crítico da história brasileira, conforme observado no Gráfico 2, provavelmente em decorrência do evento de 11 e 12 de janeiro de 2011.

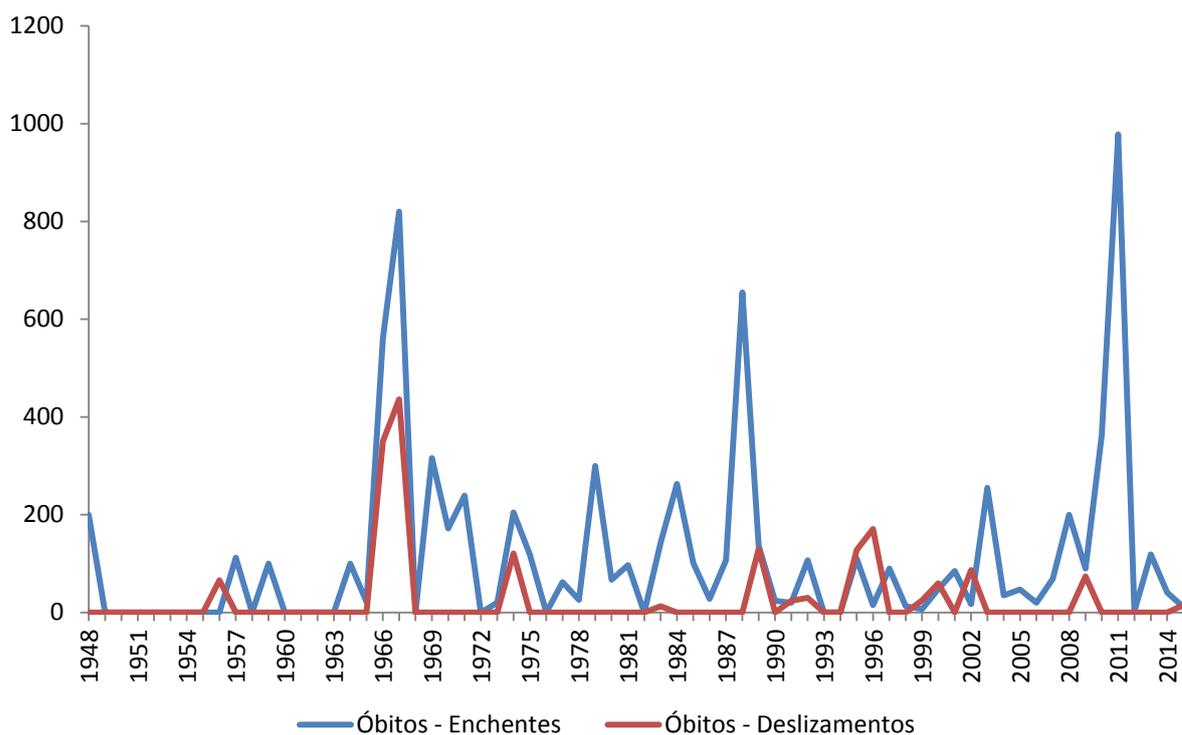


Gráfico 2 – Óbitos Decorrentes de Enchentes e Deslizamentos entre 1948 e 2015.

Fonte: Adaptado de EM-DAT, 2016.

Destaca-se que os dados sobre deslizamentos de terra parecem inferiores ao real, visto que alguns deslizamentos provavelmente foram computados como inundações, como, por exemplo, nos dados de 2011, ano para o qual o EM-DAT não tem registro de afetados ou mortos por deslizamentos de terra e tem o registro de mais de 1,0 milhão de afetados e mais de 800 mortes por inundações.

No ano de 2013, foco do presente estudo, foram registrados na base de dados 5 eventos de inundações no Brasil, totalizando 119 óbitos e 247.410 pessoas afetadas.

3.2. NO RIO DE JANEIRO E NA REGIÃO SERRANA DO ESTADO

Embora o estado do Rio de Janeiro sofra há muitas décadas com inundações, deslizamentos e outros desastres, a Defesa Civil não dispõe de um histórico consistente, com análises estatísticas extraídas desses registros ao longo das décadas (INEA, 2014). O conjunto mais completo de dados encontra-se na Divisão Geral da Defesa Civil, que recebe os relatórios das ocorrências, enviados pelas

coordenadorias municipais da Defesa Civil. Além disso, o Corpo de Bombeiros Militar do Rio de Janeiro possui um histórico de desastres mais significativos ocorridos desde o século XVIII até 2003.

Os primeiros desastres destacados pelo Corpo de Bombeiros foram registrados ainda no século XVIII. O primeiro foi em setembro de 1711, quando ocorreram grandes inundações, porém não há informações sobre os danos. O segundo foi em abril de 1756, quando três dias consecutivos de fortes chuvas causaram inundações, desabamentos de casas e mortes.

Do século XIX consta somente um registro, decorrente de fortes chuvas entre os dias 10 e 17 de fevereiro de 1811, com violentas enxurradas, que causaram inclusive o desmoronamento de parte do Morro do Castelo e o desabamento de muitas casas, no Centro da cidade do Rio de Janeiro. Depois, esse morro foi completamente destruído e o material utilizado nos aterros das áreas úmidas do Centro.

Em 1906 já havia registro de chuva intensa, 165 mm em 24 h, causando inundações e deslizamentos. Na sequência, outros eventos críticos de chuvas de maior intensidade foram registrados.

Até meados do século XX, todos os desastres importantes ocorreram somente na cidade do Rio de Janeiro. O primeiro registro fora da capital foi registrado pelo Corpo de Bombeiro somente em 1966.

A década de 1980 foi a mais crítica, com inundações, enchentes e deslizamentos registrados na cidade, na Região Serrana e em Angra dos Reis. As chuvas no ano de 1988 atingiram severamente a cidade do Rio de Janeiro, além de outros municípios do estado, Figura 4. Foi declarado estado de calamidade pública em 11 estados do Rio de Janeiro, sendo eles: Angra dos Reis, Araruama, Duque de Caxias, Magé, Nilópolis, Nova Iguaçu, Paracambi, Petrópolis, Rio de Janeiro, São Gonçalo e São João de Meriti.



Figura 4 - Respectivamente, Inundação de 1966 e Deslizamento de 1988 em Petrópolis, RJ.

Fonte: Secretaria Nacional da Defesa Civil, 2014.

Os dados disponíveis para o período mais recente são mais numerosos e detalhados. Segundo dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos, foram identificados 644 desastres naturais ocorridos no estado do Rio de Janeiro de 2000 a 2012.

Dentre os eventos críticos mais recentes, destacam-se os escorregamentos de janeiro de 2010 em Angra dos Reis e na Ilha Grande, a inundação na cidade do Rio de Janeiro e os escorregamentos no Morro do Bumba em Niterói em abril de 2010, e, sobretudo, os deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro, nos municípios de Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, Areal, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jardim em janeiro de 2011.

Os eventos de 11 e 12 de janeiro de 2011 no estado do Rio de Janeiro configuraram o pior desastre na história brasileira. Chuvas torrenciais em sete municípios da Região Serrana do estado causaram a morte de mais de 900 pessoas e afetaram mais de 300 mil pessoas. Grande parte dos impactos foi causada por deslizamentos de terra devido ao grande volume de chuvas registrado na região, Figura 5.

O evento atingiu com maior intensidade os municípios de Nova Friburgo (429 óbitos), Teresópolis (388 óbitos) e Petrópolis (71 óbitos).



Figura 5 - Foto tirada em Campo Grande, Teresópolis, 6 meses após as chuvas de janeiro/2011.

Fonte: CREA-RJ, 2011

Historicamente, estes municípios já foram palco de outros desastres, como deslizamentos em 1987 em Petrópolis e Teresópolis, com 282 óbitos. Em 1988, Petrópolis passou pela pior enchente, contabilizando 277 mortos e dois mil desabrigados. No mesmo ano, Nova Friburgo, Petrópolis e Teresópolis foram devastados pela chuva, resultando em 5 óbitos. Em 2007 foram 10 óbitos em Nova Friburgo, Sumidouro, Petrópolis e Teresópolis. E em 2008, Petrópolis registrou 9 mortes. Em 2007 foram 10 óbitos em Nova Friburgo, Sumidouro, Petrópolis e Teresópolis. E em 2008, Petrópolis registrou 9 mortes (Carmo, 2014).

O mês de março de 2013, objeto do presente estudo, foi marcado pela atuação conjunta nos dias 17 e 18 da Zona de Convergência do Atlântico Sul e de uma frente fria de sudoeste, que levou à ocorrência de escorregamentos generalizados em Petrópolis, e por pancadas de verão que causaram

escorregamentos ocasionais e esparsos em Teresópolis, Angra e Petrópolis (DRM-RJ, 2013).

De acordo com a Defesa Civil, a ausência de escorregamentos até o dia 17 de março em todo o estado pode ser creditada à condição de baixa precipitação nos 30 dias antecedentes, que fez com que a acumulada se mantivesse inferior a 270 mm. Este foi também o motivo pelo qual, mesmo sendo extremamente significativo, o desastre em Petrópolis, quando chuvas extremas ao longo de 4 horas, entre as 23h do dia 17 e 03h do dia 18, causaram 34 mortes e mais de 100 escorregamentos, foi menor que o esperado.

As chuvas de março também provocaram escorregamentos em Angra dos Reis e em Teresópolis, mas os dados nesta última são muito imprecisos quanto ao horário e ao número de eventos. A estiagem permitiu que o mês entrasse com valores de chuvas antecedentes elevados, o que pode ser considerado o principal motivo pelo qual as chuvas extremas dos dias 17 e 18 não tenham gerado um quadro destrutivo similar ao desastre de 2011 na Serra Fluminense.

4. SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS DO INEA

O Sistema de Alerta de Cheias do Estado do Rio de Janeiro, operado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), foi criado em 2007, visando alertar as populações ribeirinhas sobre os riscos de inundações.

A implantação do sistema de alerta teve seu início após contatos com as Defesas Civis Municipais das regiões afetadas pelas cheias e em conjunto com outras entidades que operam redes de observação hidrometeorológica no estado do Rio de Janeiro incluindo o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, o Serviço Geológico do Brasil - CPRM e GEORIO.

Considerando-se a distribuição das chuvas nas bacias, as características da sua rede hidrográfica e a localização das áreas inundáveis, foram selecionados os locais para monitoramento da precipitação e do nível de água dos cursos d'água. A escolha dos locais de instalação das estações, a montante das áreas inundáveis, levou em conta, além das condições de monitoramento, a questão da segurança dos equipamentos e os requisitos necessários à modelagem hidrológica.

O monitoramento meteorológico acompanha as mudanças na atmosfera local através das informações de redes de observação de outros centros de meteorologia disponibilizadas na internet e dos dados transmitidos a cada 15 minutos pela rede de estações do sistema. A partir da análise dos diversos produtos meteorológicos disponibilizados pelo INPE/CPTEC, INMET, INFRAERO, REDMET e RINDAT, na internet, a equipe de meteorologistas tem a seu encargo preparar e divulgar as previsões do tempo, em conjunto com o envio de boletins hidrometeorológicos e autorizar mudanças de estágio de vigilância para alerta nas regiões monitoradas.

Em caso de formação de núcleos de chuva moderada a forte, a equipe de meteorologia emite um alerta de chuva para os responsáveis pela tomada de decisão nos órgãos de Defesa Civil, informando a possibilidade de ocorrência de chuvas, nos respectivos municípios monitorados.

Os boletins hidrometeorológicos são emitidos diariamente para as Defesas Civas do Estado e Municipais e para os engenheiros do INEA, após análise das variáveis meteorológicas relevantes sobre a região monitorada, realizada pelos meteorologistas. Estes boletins informam as condições atuais do tempo, a previsão para as próximas 24 horas e o prognóstico para as 72 horas, visando antecipar o planejamento dos órgãos de Defesa Civil em casos de previsão de entrada de frentes frias ou melhora de tempo após vários dias de chuva.

A partir do monitoramento das estações pluviométricas e fluviométricas, ao ser identificada a ocorrência de chuva intensa e de elevação dos níveis dos rios monitorados, o operador do sistema emite o alerta de cheia. Nesse caso, a Defesa Civil comunica às lideranças locais sobre o risco iminente de inundação.

Os dados de chuva intervalo são apresentados no intervalo de 1h, 4h, 24h e 96h, sendo atualizados no sistema a cada 15 minutos. O histórico das chuvas e níveis dos rios podem ser consultados no site do INEA, possibilitando ao usuário obter dados e gráficos dos níveis do rio com indicação da cota de transbordamento, da chuva coletada e chuva intervalo para um determinado período selecionado.

No ano de 2008 o sistema foi ampliado para abranger a Região Serrana do Estado por meio de 6 estações telemétricas na bacia hidrográfica do rio Bengalas.

Em virtude dos eventos que ocorreram na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, onde os transbordamentos dos rios da região causaram uma tragédia de enormes consequências, o INEA resolveu expandir, em regime de urgência, o seu sistema de alerta de cheias, para as áreas críticas de inundação, ou seja, os municípios de Teresópolis, Petrópolis e as Regiões Norte e Noroeste Fluminense.

A implantação e operação do Sistema de Alerta de Cheias no Estado do Rio de Janeiro possibilitou uma maior integração entre o INEA, a Defesa Civil e a sociedade. Através dos avisos de alerta emitidos pelo INEA para as Defesas Cíveis Municipais, a população tem acesso às informações sobre os riscos que possam vir a ocorrer em suas localidades, mitigando os possíveis danos materiais e humanos causados pelas enchentes.

5. DETERMINAÇÃO DA RECORRÊNCIA DO EVENTO

5.1. SELEÇÃO DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

5.1.1. Postos do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA

Para determinação do tempo de recorrência do evento mais extremo de chuvas intensas em Teresópolis no ano de 2013, fez-se necessário o cálculo da recorrência das chuvas no município através do levantamento das séries históricas das estações pluviométricas existentes e/ou já desativadas. Para tanto, foram selecionadas no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA - HidroWeb todas as estações localizadas no Município de Teresópolis, mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Estações pluviométricas do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA em Teresópolis.

Nome da Estação	Código	Sub-bacia	Coordenadas		Altitude (m)	Responsável	Operadora
			Lat	Long			
Bom Sucesso	2242026	58	-22:16:17	-42:47:41	870	ANA	CPRM
Fazenda Sobradinho	2242027	58	-22:12:4	-42:54:0	650	ANA	CPRM
Soberbo	2242054	58	-22:27:0	-42:59:0	1004	DNOS	DNOS
Teresópolis (Parque Nacional)	2242071	58	-22:26:0	-42:59:0	980	INMET	INMET
Teresópolis	2242072	58	-22:27:0	-42:56:0	874	INMET	INMET
Teresópolis	2242089	58	-22:26:0	-42:58:27	860	INEA	INEA
Fazenda Coqueiro	2242100	59	-22:25:42	-42:48:3	140	INEA	INEA
Teresópolis-Paquequer	2242121	58	-22:25:50	-42:58:35	-	INEA	INFOPER
Vale Alpino	2242122	58	-22:16:33	-42:51:54	778	COPPE/UFRJ	CPRM
Providência	2242123	58	-22:16:39	-42:55:37	717	UERJ/UFF	UERJ/UFF
Teresópolis – Meudon	2242132	58	-22:55:9	-42:58:1	-	INEA	CPRM
Comari	2242139	59	-22:26:45	-42:58:33	897	INEA	INFOPER
Caleme	2243310	58	-22:24:6	-43:0:43	973	INEA	INFOPER
Posse	2243311	58	-22:22:23	-43:0:4	899	INEA	INFOPER
Quebra Frascos	2243312	58	-22:25:2	-43:0:28	1063	INEA	INFOPER

Fonte: Adaptado de Dados Hidrológicos – HidroWeb – ANA.

Dos 15 postos encontrados no sistema da ANA, nove não apresentaram dados disponíveis, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Período de dados disponível para os postos identificados

Código	Nome da Estação	Bruto		Consistido	
		Início	Fim	Início	Fim
2242026	Bom Sucesso	01/11/1965	01/08/2014	01/11/1965	01/12/2005
2242027	Fazenda Sobradinho	01/05/1936	01/08/2014	01/05/1936	01/12/2005
2242054	Soberbo	01/12/1936	01/04/1956	-	-
2242071	Teresópolis (Parque Nacional)	01/01/1961	01/12/1980	-	-
2242072	Teresópolis	01/07/1913	01/06/2012	-	-
2242089	Teresópolis	-	-	-	-
2242100	Fazenda Coqueiro	01/08/1978	01/12/1993	01/08/1978	01/12/1993
2242121	Teresópolis-Paquequer	-	-	-	-
2242122	Vale Alpino	-	-	-	-
2242123	Providência	-	-	-	-
2242132	Teresópolis - Meudon	-	-	-	-
2242139	Comari	-	-	-	-
2243310	Caleme	-	-	-	-
2243311	Posse	-	-	-	-
2243312	Quebra Frascos	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Dados Hidrológicos – HidroWeb – ANA.

Os postos que não tinham registros históricos disponíveis no banco de dados da ANA foram excluídos da análise. Vale ressaltar que, apesar dos postos Soberbo, Teresópolis (Parque Nacional) e Teresópolis não apresentarem dados consistidos, eles foram utilizados na análise, já que há poucos postos com dados disponíveis no sistema referentes ao Município de Teresópolis. A relação final dos postos selecionados está listada na Tabela 5.

Tabela 5 - Postos do HidroWeb selecionados

Código	Nome da Estação	Coordenadas		Altitude (m)
		Latitude	Longitude	
2242026	Bom Sucesso	-22:16:17	-42:47:41	870
2242027	Fazenda Sobradinho	-22:12:4	-42:54:0	650
2242054	Soberbo	-22:27:0	-42:59:0	1004
2242071	Teresópolis (Parque Nacional)	-22:26:0	-42:59:0	980
2242072	Teresópolis	-22:27:0	-42:56:0	874
2242100	Fazenda Coqueiro	-22:25:42	-42:48:3	140

Fonte: Adaptado de Dados Hidrológicos – HidroWeb – ANA.

Cabe destacar a importância da utilização de séries históricas longas, já que quanto maior a série, mais confiável será o resultado da análise estatística, capturando as variações nas tendências de chuvas ao longo do tempo e eventos mais extremos que possam ter ocorrido no local. Na Tabela 6, foram listados os postos selecionados e suas respectivas falhas, bem como o tamanho da série histórica de cada posto.

Tabela 6 - Séries históricas e falhas dos postos do HidroWeb

Código	Nome da Estação	Série Histórica		Falhas	Tamanho da Série (anos)
		Início	Fim		
2242026	Bom Sucesso	1965	2005	1978, 1979, 1980, 1981, 1996, 1997, 1998, 1999 e 2000	31
2242027	Fazenda Sobradinho	1936	2005	1978, 1979, 1980, 1981, 1996, 1997, 1998, 1999 e 2000	60
2242054	Soberbo	1936	1956	1937, 1941, 1942, 1943, 1944, 1945, 1946, 1947, 1948 e 1949	10
2242071	Teresópolis (Parque Nacional)	1961	1980	1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1971, 1972, 1973, 1974, 1977 e 1978	7
2242072	Teresópolis	1913	2012	1926, 1927, 1958, 1961, 1963, 1964, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000 e 2001	59
2242100	Fazenda Coqueiro	1978	1993	-	15

Fonte: Adaptado de Dados Hidrológicos – HidroWeb – ANA.

No estudo de eventos de chuva as precipitações devem ser extraídas de séries históricas locais, sendo o ideal o uso de no mínimo, 30 anos de dados (Tucci 2000). No entanto, no caso de Teresópolis optou-se por utilizar todos os postos com dados disponíveis no HidroWeb, devido a escassez de informações.

5.1.2. Postos do Sistema de Alerta de Cheias do INEA

Para a seleção do evento de chuvas mais extremo do ano de 2013, foi necessário o levantamento dos dados de chuva dos postos do INEA no Município de

Teresópolis referentes ao ano em questão. As estações pluviométricas de interesse foram selecionadas no Sistema de Alerta de Cheias do INEA (Tabela 7).

Tabela 7 - Estações Pluviométricas do Sistema de Alerta do INEA em Teresópolis.

Estação	Tipo	Coordenadas		Rio Monitorado
		Latitude	Longitude	
Caleme	Hidrológica	22°24'06,40"S	43°00'43,30"W	Rio Imbuí
Comari	Hidrológica	22°26'45,3"S	42°58'32,9"W	Rio Paquequer
Posse	Hidrológica	22°22'23,17"S	43°00'03,48"W	Rio Príncipe
Quebra Frascos	Hidrológica	22°24'36,8"S	42°59'49,4"W	Rio Quebra Frascos
Unifeso	Hidrológica	22°25'9,82"S	42°58'01,20"W	Rio Meudon

Fonte: Adaptado do Sistema de Alerta de Cheias– INEA.

Os dados do Sistema de Alerta de Cheias referentes ao pior evento de 2013 foram utilizados para comparação com a recorrência das chuvas calculada para cada posto selecionado no HidroWeb. Para isto, foi necessário relacionar os postos do INEA com os postos do HidroWeb em termos de distância, formando pares dos postos mais próximos entre si, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Relação de proximidade entre os postos do HidroWeb e os do INEA

Estações do Sistema de Alerta de Cheias	Estações do HidroWeb
Caleme	Teresópolis (Parque Nacional)
Comari	Soberbo
Posse	Teresópolis (Parque Nacional)
Quebra Frascos	Teresópolis (Parque Nacional)
Unifeso	Teresópolis (Parque Nacional)

Fonte: Adaptado do Sistema de Alerta de Cheias– INEA.

A localização dos postos pluviométricos pode ser observada na Figura 6, onde os postos do Sistema de Alerta de Cheias estão representados em vermelho e os postos do HidroWeb ANA em azul.



Figura 6 - Localização dos postos do HidroWeb e do Sistema de Alertas do INEA.

Fonte: Adaptado do Google Earth, 2015.

5.2. SELEÇÃO DO EVENTO

Apesar do evento de chuvas intensas ocorrido nos dias 17 e 18 de março de 2013 ter ganhado destaque na mídia devido ao número de mortes registradas na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, foram levantados também os dados de precipitação para todo o ano de 2013 a fim de confirmar se o referido evento foi o mais extremo do ano.

Desta forma, os dados do INEA foram consolidados de modo a acumular a precipitação diária ocorrida de 00:00 às 00:00, tornando possível a identificação das

chuvas diárias mais intensas do ano. Na Tabela 9 estão relacionadas as maiores chuvas diárias para cada posto pluviométrico do INEA em 2013, bem como as maiores chuvas de 24 horas obtidas através da soma móvel dos dados.

Tabela 9 - Maiores chuvas diárias e de 24 horas do ano de 2013 em Teresópolis.

Estações do Sistema de Alerta de Cheias do INEA	Data do Evento	Chuva Diária de 0:00 às 00:00 (mm)	Maior Chuva 24 horas (mm)	Horário da Maior Chuva de 24 horas
Caleme	3-jan	83,40	87,20	3:30 do dia 3 às 3:30 do dia 4
Comari	18-mar	226,60	270,20	20:45 do dia 17 às 20:45 do dia 18
Posse	1-dez	113,40	120,00	5:15 do dia 1 às 5:15 do dia 2
Quebra Frascos	3-jan	76,80	81,20	2:45 do dia 3 às 2:45 do dia 4
Unifeso	18-mar	80,20	93,80	20:45 do dia 17 às 20:45 do dia 18

Concluiu-se então que o evento de chuvas mais intenso do ano de 2013 ocorreu entre os dias 17 e 18 de março, já que a estação Comari registrou a maior chuva diária do ano, 226,60 mm. O registro mostra-se coerente com os alertas emitidos pelo INEA e pela Defesa Civil de Teresópolis, que indicaram iminência de transbordo com alto risco de inundação do Rio Paquequer, no qual a estação Comari está localizada, nos dias 17 e 18 de março.

Ressalta-se que a maior chuva de 24 horas calculada para este evento, 270,20 mm, ocorreu entre as 20:45 do dia 17 e as 20:45 do dia 18. Embora a maior chuva diária do evento tenha ocorrido no dia 18 ao se considerar a precipitação ocorrida entre 00:00 e 00:00, nas estações da ANA a leitura da precipitação é realizada às 7:00 e por isso, para fins de comparação, as chuvas diárias de 7:00 às 7:00 devem ser consideradas nos postos do INEA.

Observa-se no Gráfico 3 que, ao considerar a chuva diária de 7:00 do dia 17 às 7:00 do dia 18 a maior parte da chuva acumulada está concentrada no dia 17. Isto se dá pois mais de 50% da chuva ocorreu até a madrugada do dia 18 de março.

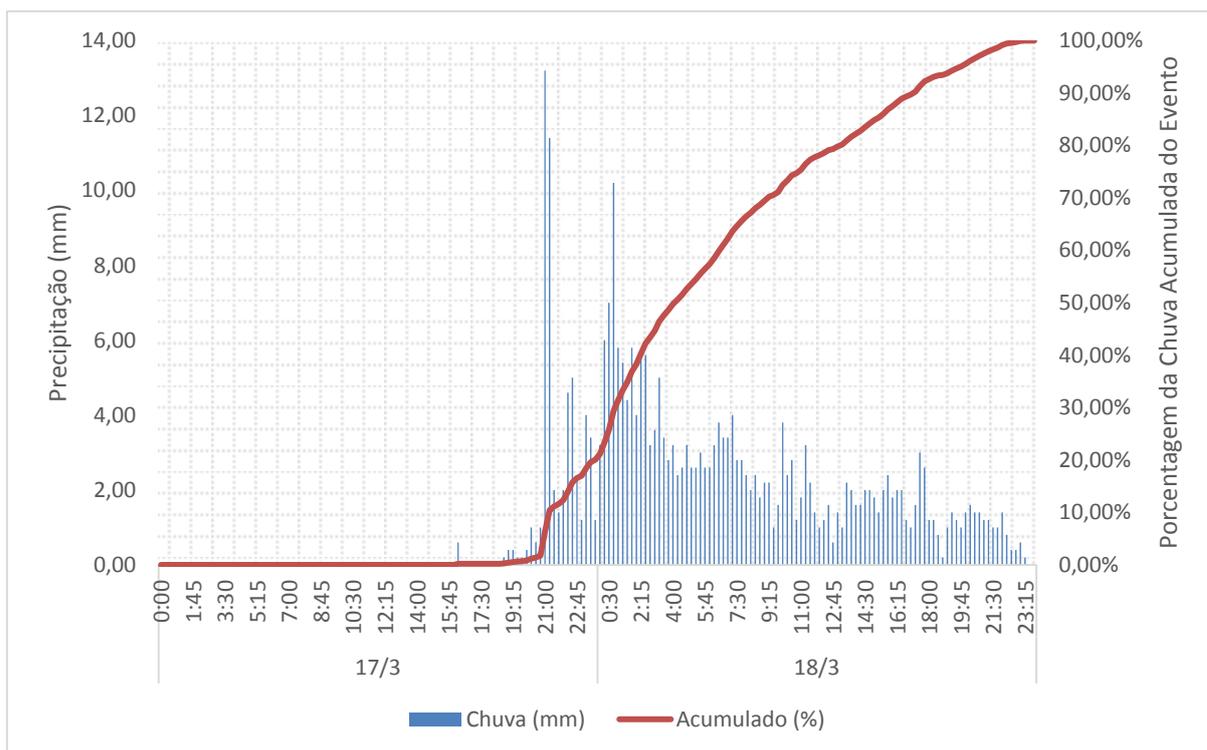


Gráfico 3 - Distribuição da chuva nos dias 17 e 18 de março de 2013 na estação pluviométrica Comari, Teresópolis.

Desta forma, o evento ocorrido nos dias 17 e 18 de março foi selecionado e as chuvas diárias e de 24 horas foram calculadas para as demais estações de Teresópolis do Sistema de Alerta para possibilitar a comparação com a recorrência das chuvas registradas no HidroWeb. Na Tabela 10 estão relacionadas as estações do INEA e suas respectivas chuvas máximas diárias e de 24 horas.

Tabela 10 - Chuvas Diárias e de 24 horas das estações do INEA nos dias 17 e 18 de março de 2013.

Estações do Sistema de Alerta de Cheias	Chuva Diária de 0h à 0h (Dia 17)	Chuva Diária de 0h à 0h (Dia 18)	Chuva Diária de 7h às 7h (Dia 17)	Chuva Diária de 7h às 7h (Dia 18)	Maior Chuva de 24 horas	Horário da Maior Chuva de 24 horas
Caleme	10,20	41,00	44,80	7,40	49,40	21:15 às 21:15
Comari	56,80	226,60	176,40	111,80	270,20	20:45 às 20:45
Posse	6,00	28,60	30,60	4,60	33,80	21:45 às 21:45
Quebra Frascos	27,00	67,60	72,40	23,20	89,80	20:45 às 20:45
Unifeso	20,20	80,20	64,80	36,60	93,80	20:45 às 20:45

5.3. CÁLCULO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA DO EVENTO

Em estudos hidrológicos, na análise de precipitação, é muito empregado o conceito de tempo de recorrência ou período de retorno (TR) (VIEIRA *et al.* 1994). Para calcular o tempo de recorrência de um evento é necessário obter o tempo de retorno das chuvas registradas na série histórica dos postos pluviométricos.

A determinação do período de retorno é uma maneira de estimar, a partir de dados observados, futuras ocorrências de certo evento. Pode ser definido como o tempo médio decorrido entre as ocorrências de um evento que exceda ou iguale certa magnitude (TUCCI, 2000).

5.3.1. Cálculo da Recorrência das Chuvas de 24 horas das Estações Pluviométricas da ANA

Após a seleção dos postos pluviométricos com dados disponíveis no HidroWeb, foram levantadas as séries históricas destes de modo a coletar os dados de chuvas máximas diárias de cada mês dos registros. Para obter as chuvas máximas diárias de cada ano foi utilizada a função estatística “chuvas diárias” na opção máximas mensais do software Hidro da ANA. Destaca-se que não foram considerados anos que apresentassem falhas de observação.

5.3.1.1 Conversão das chuvas máximas diárias em chuvas máximas de 24 horas

Já que os dados baixados do HidroWeb são disponibilizados em sua forma diária foi necessário transformá-los em dados de 24 horas através da utilização de um fator de correlação, permitindo a comparação com as chuvas de 24 horas dos dias 17 e 18 de março obtidas com os dados do Sistema de Alerta de Cheias do INEA.

As informações de alturas pluviométricas observadas nas estações do Hidroweb são fornecidas na forma diária, de modo a representar a chuva de um horário fixado pelo órgão responsável pela estação. Desta forma, a chuva máxima de um dia é o total de chuva acumulada até o horário da verificação. Como as chuvas máximas de 24 horas são registradas continuamente com o uso dos

pluviógrafos, estas podem mostrar valores superiores aos das chuvas máximas diárias (BACK 2009, TUCCI 2000).

Para converter a altura de chuva em dados de 24 horas utiliza-se a técnica de desagregação das chuvas diárias. Existem diversos estudos indicando que a proporção entre a chuva máxima de 24 horas e a chuva máxima diária é praticamente constante (BACK, 2009). E, segundo Tucci (2000), esses fatores apresentam pouca tendência de variar com o tempo de retorno. Na Tabela 11 estão listados alguns autores e a relação proposta por eles.

Tabela 11 - Fatores de desagregação de chuvas diárias em chuvas de 24 horas.

Publicação	Base do Estudo	Relação Recomendada	
		Intervalo	Média
Occhipinti & Santos (1966)	Séries de dados de 1928 a 1965 de São Paulo	1,13 – 1,15	1,14
Genovez & Pegoraro (1998)	Dados de 23 pluviógrafos do Estado de São Paulo	1,03 – 1,17	1,13
Torrico (1975)	Estações usadas por Pfafstetter (1957)	-	1,10
CETESB (1986)	Dados de vários pluviógrafos do Brasil	-	1,14
Froehlich (1993)	Recomendação do U.S. Weather Bureau	-	1,13
Kessler & Raad (1978)	-	-	1,10
Weiss (1964)	Conceitos teóricos de probabilidade		1,143

Fonte: Adaptado de Back, 2009.

Tucci (2000) recomenda a utilização de um fator de desagregação de 1,1 na conversão das chuvas máximas diárias em máximas de 24 horas. Como todos os fatores indicados nos estudos relacionados na Tabela 11 se aproximam do valor recomendado por Tucci, este foi utilizado no presente trabalho para conversão das máximas diárias das estações da ANA.

Utilizando o exemplo das chuvas máximas anuais da estação Soberbo, nas quais foi aplicado o fator de conversão citado anteriormente, observa-se na Tabela 12 os dados em sua forma de 24 horas.

Tabela 12 - Chuvas máximas diárias e de 24 horas da estação Soberbo

Ano	Chuva diária (mm)	Chuva 24 horas
-----	-------------------	----------------

1936	175,10	192,61
1938	82,00	90,20
1939	168,00	184,80
1940	152,00	167,20
1950	124,40	136,84
1951	100,00	110,00
1952	89,00	97,90
1953	112,00	123,20
1954	87,00	95,70
1955	156,40	172,04

5.3.1.2 Análise estatística das séries históricas das estações da ANA

Para definição das chuvas máximas para os tempos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos foram utilizados dois métodos estatísticos de distribuição: Exponencial de Dois Parâmetros e Gumbel.

Segundo o recomendado pela Eletrobrás, o método Exponencial de Dois Parâmetros deve ser utilizado sempre que a assimetria da amostra for superior a 1,5, enquanto o método de Gumbel, utilizado para calcular a probabilidade de ocorrência de eventos extremos, deve ser aplicado para assimetrias amostrais inferiores a 1,5.

Desta forma, sendo x uma variável aleatória da qual se tem n observações, define-se como estimadores da média (\bar{x}), desvio-padrão (s) e assimetria (g), respectivamente:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{0,5}$$

$$g = \frac{n}{(n-1) \cdot (n-2)} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \right)$$

Assim, a chuva (x_T) correspondente ao tempo de retorno determinado (T), com a probabilidade (P) de não ser excedida é calculada através das seguintes equações.

Exponencial de Dois Parâmetros:

$$x_T = x_o - \beta \cdot \ln\left(\frac{1}{T}\right), \text{ onde:}$$

$$x_o = \bar{x} - s$$

$$\beta = s$$

Onde x_o e β são os parâmetros da distribuição.

Gumbel:

$$x_T = \mu - \alpha \cdot \left(\ln \left(- \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right), \text{ onde:}$$

$$\alpha = 0,78 \cdot s$$

$$\mu = \bar{x} - 0,577 \cdot \alpha$$

Onde α e μ são os parâmetros da distribuição.

5.3.1.3 Roteiro de Cálculo

De posse das chuvas máximas de cada ano nas estações pluviométricas da ANA, já modificadas para dados de 24 horas, calculou-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria para cada estação e determinou-se o método de distribuição a ser utilizado. A partir da distribuição de probabilidade selecionada procedeu-se à estimativa das chuvas máximas com recorrência de 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos. O procedimento de cálculo realizado para as estações selecionadas encontra-se apresentado no **Apêndice A** e o resumo dos resultados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados da análise estatística da recorrência das chuvas nas estações da ANA

T (anos)	Bom Sucesso	Fazenda Sobradinho	Soberbo	Teresópolis (Parque Nacional)	Teresópolis	Fazenda Coqueiro
5	113,74	129,53	165,30	162,69	119,69	146,17
10	163,50	184,69	188,27	185,29	146,14	166,65
20	211,22	237,60	210,31	206,96	172,59	186,29
50	272,99	306,08	238,83	235,02	207,55	211,72
100	319,29	357,40	260,20	256,05	233,99	230,77
1000	472,25	526,98	330,82	325,52	321,85	293,74

Da Tabela 13, observa-se que a estação Fazenda Sobradinho, entre as estações disponibilizadas pela ANA, possui maior número de registros sem falhas, apresenta a maior variação entre as chuvas de 5 e 1000 anos de recorrência.

Cabe ressaltar que as estações com séries históricas mais longas transmitem maior confiabilidade aos resultados. No caso das estações Soberbo, Teresópolis (Parque Nacional) e Fazenda Coqueiro, além de apresentarem séries curtas com poucos dados, estas pararam de operar, respectivamente, em 1955, 1976 e 1989. Assim, estas estações apresentaram menor variação entre as chuvas de 5 e 1000 anos, o que pode ser explicado pelo fato da série não abranger eventos extremos de estiagens e cheias que vieram a ocorrer nos anos posteriores.

5.3.2. Comparação da Recorrência das Estações da ANA com os Dados do Sistema de Alerta de Cheias do INEA

Com as chuvas calculadas no item anterior e as chuvas registradas nas estações do Sistema de Alerta do INEA, apresentadas na Tabela 14, foi possível determinar o tempo de recorrência das chuvas extremas ocorridas nos dias 17 e 18 de março de 2013 em Teresópolis utilizando o critério de proximidade entre os postos do INEA e da ANA.

Tabela 14 - Chuvas de 1 dia registradas nas estações do Sistema de Alerta do INEA

Estações do INEA	Chuva de 0h à 0h (Dia 17)	Chuva de 7h às 7h (Dia 17)	Chuva de 0h à 0h (Dia 18)	Chuva de 7h às 7h (Dia 18)	Maior Chuva de 24 horas	Maior Chuva Diária
Caleme	10,20	44,80	41,00	7,40	49,40	44,91
Comari	56,80	176,40	226,60	111,80	270,20	245,64
Posse	6,00	30,60	28,60	4,60	33,80	30,73
Quebra Frascos	27,00	72,40	67,60	23,20	89,80	81,64
Unifeso	20,20	64,80	80,20	36,60	93,80	85,27

De acordo com os resultados encontrados, na estação Comari, que pode ser relacionada ao posto Soberbo do Sistema de Alerta, foram apresentadas as maiores alturas de chuva acumulada, independente do intervalo utilizado para a soma móvel. As outras estações do INEA podem ser relacionadas ao posto Teresópolis (Parque Nacional) e não apresentaram chuvas de grande intensidade no evento em questão.

Na Tabela 15, observa-se a recorrência da chuva diária acumulada de 0h a 0h do dia 17 de março na estação Comari, de 56,80 mm, que foi inferior à média das máximas observada no posto Soberbo, visto que o menor tempo de recorrência é referente às médias das máximas e igual a 2,33 anos.

Tabela 15 – Recorrência da Chuva Diária das 0h às 0h na Estação Comari no dia 17 de março

T (anos)	P	Chuva (X_T)
1,0004	0,000	56,80
5	0,800	165,30
10	0,900	188,27
20	0,950	210,31
50	0,980	238,83
100	0,990	260,20
1000	0,999	330,82

Na Tabela 16, observa-se a recorrência da chuva diária acumulada de 7h às 7h do dia 17 de março na estação Comari. A chuva de 176,40 mm, se aproximou da chuva com recorrência de, aproximadamente, 7 anos observada no posto Soberbo.

Tabela 16 - Recorrência da Chuva das 7h às 7h na Estação Comari no dia 17 de março.

T (anos)	P	Chuva (X_T)
5	0,800	165,30
6,9529	0,856	176,40
10	0,900	188,27
20	0,950	210,31
50	0,980	238,83
100	0,990	260,20
1000	0,999	330,82

Já a da chuva diária acumulada de 0h à 0h do dia 18 de março na estação Comari, de 226,60 mm, foi relacionada à chuva com recorrência de, aproximadamente, 34 anos no posto Soberbo, como observado na Tabela 17.

Tabela 17 - Recorrência da Chuva das 0h às 0h na Estação Comari no dia 18 de março.

T (anos)	P	Chuva (X_T)
5	0,800	165,30
10	0,900	188,27
20	0,950	210,31
33,7	0,970	226,60
50	0,980	238,83
100	0,990	260,20
1000	0,999	330,82

Da mesma forma, identificou-se que a recorrência da chuva diária acumulada de 7h às 7h do dia 18 de março na estação Comari, de 245,64 mm, foi de, aproximadamente, 62 anos, como observado na Tabela 18.

Tabela 18 - Recorrência da Chuva das 7h às 7h na Estação Comari no dia 18 de março.

T (anos)	P	Chuva (X_T)
5	0,800	165,30
10	0,900	188,27
20	0,950	210,31
50	0,980	238,83
62,336	0,984	245,64
100	0,990	260,20
1000	0,999	330,82

Na avaliação da maior chuva de 24 horas registrada na estação Comari para o evento em questão, calculada entre 20:45 do dia 17 e 20:45 do dia 18, em comparação com a recorrência das chuvas do posto Soberbo, obteve-se um tempo de recorrência de 138 anos.

Tabela 19 – Recorrência da Maior Chuva de 24h registrada na Estação Comari.

T (anos)	P	Chuva (XT)
5	0,800	165,30
10	0,900	188,27
20	0,950	210,31
50	0,980	238,83
100	0,990	260,20
138,44	0,993	270,20
1000	0,999	330,82

6. CONCLUSÕES

De acordo com a análise do histórico de chuvas no município de Teresópolis, o período mais chuvoso no município vai de novembro a março, com precipitação média mensal acima de 200 mm. Concluiu-se, através da análise das chuvas diárias ocorridas em 2013, que o evento de chuvas mais intenso do ano ocorreu entre os dias 17 e 18 de março, já que a estação Comari registrou a maior chuva diária do ano, 226,60 mm.

Através da soma móvel da altura de chuva do evento, foi possível identificar que o evento ocorrido em 17 e 18 de março de 2013 foi consideravelmente intenso em relação à distribuição média de chuvas na região, já que a maior chuva de 24 horas calculada para o evento, com base nos dados do posto Soberbo, totalizou 270,20 mm na estação Comari, representando um tempo de recorrência de 138 anos.

O registro mostra-se coerente com os alertas emitidos pelo INEA e pela Defesa Civil de Teresópolis, que indicaram iminência de transbordo com alto risco de inundação do Rio Paquequer, no qual a estação Comari está localizada, nos dias 17 e 18 de março.

Quando comparado ao desastre de janeiro de 2011, que registrou 241,8 mm em 24 horas no município de Teresópolis, o evento estudado demonstra maior

intensidade. No entanto, de acordo com as informações da Defesa Civil, o evento não foi tão significativo em número de mortes e escorregamentos devido a um longo período de estiagem que precedeu o evento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Université Catholique de Louvain. **Annual Disaster Statistical Review**. 2014.

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Website EM-DAT - The International Disaster Database. Sítio: <http://www.emdat.be/>. Disponível em: 15 de janeiro de 2016.

BACK, A. J. **Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussunga, SC**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 170-175, 2009.

Comitê Piabanha. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e das Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto. Sítio: <http://www.comitepiabanha.org.br/regiao hidro.php>. Disponível em: 13 de janeiro de 2016.

CREA-RJ. **Tragédia na Região Serrana do Rio de Janeiro após decorridos 6 meses**. 2011.

Departamento Nacional de Estrutura de Transporte (DNIT). **Manual de Hidrologia Básica**. Sítio : ipr.dnit.com.br/normas-e-manuais/manuais/documentos. Disponível em: 22 de janeiro de 2016.

Departamento de Recursos Minerais – DRM-RJ. **Correlação de Chuvas x Escorregamentos no Estado do Rio de Janeiro no mês de março de 2013**. 2013.

DOURADO, FRANCISCO et al. **O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre**. UFRJ, 2012.

Instituto Estadual do Ambiente (INEA). **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro.**2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico 2010.** Rio de Janeiro: IBGE; 2010.

Jornal O Globo. **Enxurradas de janeiro na Região Serrana alargaram rios e secaram o leito de trechos do Piabanha.** Sítio: <<http://oglobo.globo.com/rio/enxurradas-de-janeiro-na-regiao-serrana-alargaram-rios-secaram-leito-de-trechos-do-piabanha-2709521>>. Disponível em: 20 de janeiro de 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2000.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais de 1991 a 2012.** 2013.

VIEIRA, D. B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R. P. **Análise das intensidades de chuvas em Pindorama (SP).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 255-260, maio/ago. 1994.

APÊNDICE A
ROTEIRO DE CÁLCULO DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS

Estação Bom Sucesso

Ano	Chuva diária (mm)	Chuva 24 horas (mm)	$(x_i - \text{média})^3$	$(x_i - \text{média})^2$
1966	81,40	89,54	3368,72	224,72
1967	67,80	74,58	0,00	0,00
1968	64,80	71,28	-34,94	10,69
1969	45,20	49,72	-15307,12	616,49
1970	53,80	59,18	-3630,47	236,22
1971	67,80	74,58	0,00	0,00
1972	71,30	78,43	58,44	15,06
1973	70,80	77,88	36,95	11,09
1974	50,90	55,99	-6392,71	344,45
1975	55,80	61,38	-2283,96	173,43
1976	90,10	99,11	14815,70	603,23
1977	81,90	90,09	3753,28	241,51
1978	101,70	111,87	51981,55	1392,83
1979	75,80	83,38	688,63	77,98
1980	71,20	78,32	53,61	14,22
1981	70,80	77,88	36,95	11,09
1982	102,70	112,97	56714,71	1476,15
1983	58,70	64,57	-993,80	99,59
1985	55,40	60,94	-2520,62	185,21
1986	49,20	54,12	-8526,30	417,36
1989	54,40	59,84	-3182,56	216,36
1990	99,10	109,01	40923,45	1187,54
1991	52,40	57,64	-4834,78	285,92
1992	91,60	100,76	18006,77	687,00
1993	48,80	53,68	-9089,16	435,53
1994	64,60	71,06	-42,48	12,18
1995	39,90	43,89	-28819,52	939,99
1996	55,90	61,49	-2227,20	170,55
1997	66,80	73,48	-1,22	1,14
1998	82,60	90,86	4339,28	266,04
2000	61,50	67,65	-328,41	47,60
2001	63,20	69,52	-127,21	25,29
2002	84,30	92,73	6009,41	330,54
2003	51,10	56,21	-6168,06	336,33
2004	61,30	67,43	-360,84	50,68
2005	78,80	86,68	1785,08	147,15
2006	57,20	62,92	-1572,75	135,24
2007	100,50	110,55	46658,71	1296,05
2008	46,10	50,71	-13548,17	568,31
2009	69,10	76,01	3,12	2,13

2010	80,30	88,33	2617,06	189,91
2012	72,20	79,42	115,55	23,72
2013	45,40	49,94	-14903,83	605,62

Tamanho da Série (n)	43,00
Média (\bar{x})	74,55
$\Sigma (x_i - \text{média})^3$	127070,84
$\Sigma (x_i - \text{média})^2$	14112,17
Desvio Padrão (s)	18,33
Assimetria (g)	0,52
Distribuição	Gumbel

α	14,30
μ	66,30

T (anos)	P	Chuva (X_T)
5	0,800	113,74
10	0,900	163,50
20	0,950	211,22
50	0,980	272,99
100	0,990	319,29
1000	0,999	472,25

Estação Fazenda Sobradinho

Ano	Chuva diária (mm)	Chuva 24 horas (mm)	$(x_i - \text{média})^3$	$(x_i - \text{média})^2$
1937	135,60	149,16	268758,39	4164,61
1938	84,40	92,84	554,16	67,47
1939	50,20	55,22	-25428,22	864,72
1940	121,20	133,32	115457,31	2371,09
1941	66,00	72,60	-1739,34	144,63
1942	84,40	92,84	554,16	67,47
1943	57,20	62,92	-10227,05	471,16
1944	82,20	90,42	194,49	33,57
1945	62,10	68,31	-4343,66	266,22
1946	75,40	82,94	-4,79	2,84
1947	94,20	103,62	6852,30	360,77
1948	97,40	107,14	11411,62	506,87
1949	61,20	67,32	-5183,27	299,50

1950	65,00	71,50	-2261,60	172,30
1951	52,90	58,19	-18475,50	698,87
1952	106,40	117,04	34055,75	1050,66
1953	66,90	73,59	-1344,18	121,80
1954	46,00	50,60	-39394,88	1157,78
1955	60,40	66,44	-6014,85	330,74
1956	92,20	101,42	4736,40	282,03
1957	51,20	56,32	-22680,05	801,24
1958	82,00	90,20	173,16	31,07
1959	99,20	109,12	14694,99	599,95
1960	60,00	66,00	-6462,07	346,93
1961	81,90	90,09	163,11	29,85
1962	112,00	123,20	57395,50	1487,94
1963	41,80	45,98	-57719,14	1493,53
1964	50,20	55,22	-25428,22	864,72
1965	87,00	95,70	1357,98	122,63
1966	72,40	79,64	-123,97	24,86
1967	78,00	85,80	1,62	1,38
1968	68,00	74,80	-948,76	96,55
1969	90,00	99,00	2969,72	206,61
1970	41,70	45,87	-58213,41	1502,04
1971	60,40	66,44	-6014,85	330,74
1972	50,80	55,88	-23754,21	826,34
1973	50,00	55,00	-26003,22	877,71
1974	81,00	89,10	89,54	20,02
1975	81,00	89,10	89,54	20,02
1976	56,00	61,60	-12208,60	530,21
1977	75,00	82,50	-9,61	4,52
1978	62,40	68,64	-4085,40	255,56
1979	68,60	75,46	-770,13	84,02
1980	95,20	104,72	8113,11	403,76
1981	81,20	89,32	103,41	22,03
1982	92,80	102,08	5317,06	304,64
1983	72,00	79,20	-159,77	29,44
1985	88,60	97,46	2113,82	164,71
1986	45,80	50,38	-40163,96	1172,80
1987	67,80	74,58	-1013,92	100,93
1988	91,40	100,54	4030,17	253,25
1989	73,80	81,18	-40,93	11,88
1990	55,80	61,38	-12561,89	540,39
1991	71,20	78,32	-250,78	39,77
1992	120,60	132,66	110825,90	2307,25
1993	53,60	58,96	-16907,68	658,75

1994	81,00	89,10	89,54	20,02
1995	70,40	77,44	-371,10	51,64
1996	105,80	116,38	32017,53	1008,30
1997	84,80	93,28	648,07	74,89
1998	69,00	75,90	-664,47	76,15
1999	75,00	82,50	-9,61	4,52
2000	59,50	65,45	-7051,58	367,73
2001	81,90	90,09	163,11	29,85
2002	105,70	116,27	31685,94	1001,33
2003	47,90	52,69	-32572,35	1019,92
2004	54,70	60,17	-14627,36	598,10
2005	87,00	95,70	1357,98	122,63
2006	54,50	59,95	-15025,68	608,91
2007	138,60	152,46	312132,32	4601,43
2008	74,70	82,17	-14,82	6,03
2009	84,30	92,73	532,19	65,67
2010	80,70	88,77	71,15	17,17
2011	145,50	160,05	429067,38	5688,75
2012	96,20	105,82	9519,79	449,18
2013	78,00	85,80	1,62	1,38

Tamanho da Série (n)	76,00
Média (\bar{x})	84,63
$\Sigma (xi-média)^3$	967024,95
$\Sigma (xi-média)^2$	45816,71
Desvio Padrão (s)	24,72
Assimetria (g)	0,88
Distribuição	Gumbel

α	19,28
μ	73,50

T (anos)	P	Chuva (X_T)
5	0,800	129,53
10	0,900	184,69
20	0,950	237,60
50	0,980	306,08
100	0,990	357,40
1000	0,999	526,98

Estação Soberbo

Ano	Chuva diária (mm)	Chuva 24 horas	$(x_i - \text{média})^3$	$(x_i - \text{média})^2$
1936	175,10	192,61	171518,181	3087,02472
1938	82,00	90,20	-102825,53	2194,8288
1939	168,00	184,80	108879,825	2280,158
1940	152,00	167,20	27409,7555	909,082801
1950	124,40	136,84	-0,0091293	0,043681
1951	100,00	110,00	-19790,358	731,648401
1952	89,00	97,90	-60001,488	1532,6442
1953	112,00	123,20	-2656,1662	191,794801
1954	87,00	95,70	-70696,031	1709,7398
1955	156,40	172,04	42841,9335	1224,37008

Tamanho da Série (n)	10,00
Média (\bar{x})	137,05
$\Sigma (x_i - \text{média})^3$	51838,17
$\Sigma (x_i - \text{média})^2$	13861,34
Desvio Padrão (s)	39,24
Assimetria (g)	0,12
Distribuição	Gumbel

α	30,61
μ	119,39

T (anos)	P	Chuva (X_T)
5	0,800	165,30
10	0,900	188,27
20	0,950	210,31
50	0,980	238,83
100	0,990	260,20
1000	0,999	330,82

Estação Teresópolis (Parque Nacional)

Ano	Chuva diária (mm)	Chuva 24 horas	$(x_i - \text{média})^3$	$(x_i - \text{média})^2$
1961	161,60	177,76	78751,3169	1837,26534
1968	141,40	155,54	8797,09893	426,147211
1969	98,60	108,46	-18476,516	698,897344
1970	75,90	83,49	-135849,59	2642,64538
1975	102,30	112,53	-11189,323	500,267778
1976	156,00	171,60	49444,3331	1347,13468

Tamanho da Série (n)	6,00
Média (\bar{x})	134,90
$\Sigma (x_i - \text{média})^3$	-28522,68
$\Sigma (x_i - \text{média})^2$	7452,36
Desvio Padrão (s)	38,61
Assimetria (g)	-0,15
Distribuição	Gumbel

α	30,11
μ	117,52

T (anos)	P	Chuva (X_T)
5	0,800	162,69
10	0,900	185,29
20	0,950	206,96
50	0,980	235,02
100	0,990	256,05
1000	0,999	325,52

Estação Teresópolis

Ano	Chuva diária (mm)	Chuva 24 horas (mm)	$(x_i - \text{média})^3$	$(x_i - \text{média})^2$
1914	91,80	100,98	93,73706801	20,6351475
1915	68,40	75,24	-9524,632783	449,330081
1916	66,00	72,60	-13544,93912	568,221992
1917	68,20	75,02	-9824,279148	458,70534
1919	149,20	164,12	310049,4449	4580,93334
1921	70,20	77,22	-7097,156659	369,308747
1922	249,30	274,23	5620060,474	31610,206

1923	149,00	163,90	307035,8458	4551,2014
1924	86,00	94,60	-6,203208641	3,37606598
1925	76,80	84,48	-1709,665231	142,979592
1928	57,80	63,58	-35473,16003	1079,60922
1929	84,80	93,28	-31,47689392	9,96922154
1930	72,30	79,53	-4833,158671	285,860425
1931	80,00	88,00	-600,6577151	71,1898438
1932	71,60	78,76	-5524,025992	312,490733
1933	85,80	94,38	-8,708851744	4,23292524
1934	91,60	100,76	80,76680713	18,6848067
1935	98,40	108,24	1644,115216	139,301192
1936	62,20	68,42	-21992,96768	784,975118
1937	127,00	139,70	80972,5144	1871,65192
1938	68,00	74,80	-10130,14513	468,177399
1939	69,60	76,56	-7853,788783	395,111325
1940	61,20	67,32	-24686,41976	847,823414
1941	71,90	79,09	-5220,399439	300,932544
1942	46,30	50,93	-94242,38805	2070,92413
1943	79,30	87,23	-780,5704037	84,7763512
1944	79,10	87,01	-837,870359	88,8760104
1945	79,40	87,34	-752,9271057	82,7628215
1946	103,20	113,52	4984,95624	291,81497
1947	109,70	120,67	14229,82773	587,218544
1948	73,40	80,74	-3867,976172	246,408599
1949	59,60	65,56	-29438,9614	953,414288
1950	92,00	101,20	108,0264978	22,6822882
1951	65,50	72,05	-14504,30423	594,74564
1952	101,90	112,09	3834,942393	245,003655
1953	56,80	62,48	-39156,47385	1153,10552
1954	52,30	57,53	-58897,50229	1513,78635
1955	78,70	86,57	-960,747315	97,3657289
1956	78,40	86,24	-1060,399006	103,987118
1957	61,10	67,21	-24967,25978	854,241344
1959	68,90	75,79	-8802,308422	426,315433
1960	59,80	65,78	-28814,18073	939,876629
1962	74,60	82,06	-2971,951639	206,709844
1965	71,20	78,32	-5946,865981	328,240451
1966	134,10	147,51	133218,2466	2608,40971
1967	166,10	182,71	642123,4758	7442,96023
2002	145,40	159,94	256079,2382	4032,57927
2003	80,80	88,88	-431,6368404	57,1144067
2004	72,40	79,64	-4739,437139	282,152896
2005	77,00	84,70	-1617,024268	137,766733

2006	125,10	137,61	69795,05353	1695,18238
2007	83,40	91,74	-103,6512836	22,0656364
2008	106,80	117,48	9317,464367	442,790703
2009	74,80	82,28	-2837,600094	200,432184

Tamanho da Série (n)	54,00
Média (\bar{x})	96,44
$\Sigma (x_i - \text{média})^3$	6969834,31
$\Sigma (x_i - \text{média})^2$	77158,62
Desvio Padrão (s)	38,16
Assimetria (g)	2,46
Distribuição	Exponencial de dois parâmetros

X_0	58,28
β	38,16

T (anos)	P	Chuva (X_T)
5	0,800	119,69
10	0,900	146,14
20	0,950	172,59
50	0,980	207,55
100	0,990	233,99
1000	0,999	321,85

Estação Fazenda Coqueiro

Ano	Chuva diária (mm)	Chuva 24 horas (mm)	$(x_i - \text{média})^3$	$(x_i - \text{média})^2$
1979	120,40	132,44	1505,06014	131,3316
1980	138,40	152,24	30546,8844	977,1876
1981	156,60	172,26	134847,857	2629,6384
1982	80,60	88,66	-33760,903	1044,5824
1983	132,00	145,20	14207,6554	586,6084
1984	98,60	108,46	-1962,515	156,7504
1985	97,20	106,92	-2779,4314	197,6836
1986	151,20	166,32	93206,1453	2055,7156
1987	59,70	65,67	-169204,14	3059,1961
1988	96,30	105,93	-3408,8626	226,5025
1989	78,80	86,68	-40353,607	1176,49

Tamanho da Série (n)	11,00
Média (\bar{x})	120,98
$\Sigma (x_i - \text{média})^3$	22844,15

$\Sigma (xi-média)^2$	12241,69
Desvio Padrão (s)	34,99
Assimetria (g)	0,07
Distribuição	Gumbel

α	27,29
μ	105,23

T (anos)	P	Chuva (X_T)
5	0,800	146,17
10	0,900	166,65
20	0,950	186,29
50	0,980	211,72
100	0,990	230,77
1000	0,999	293,74