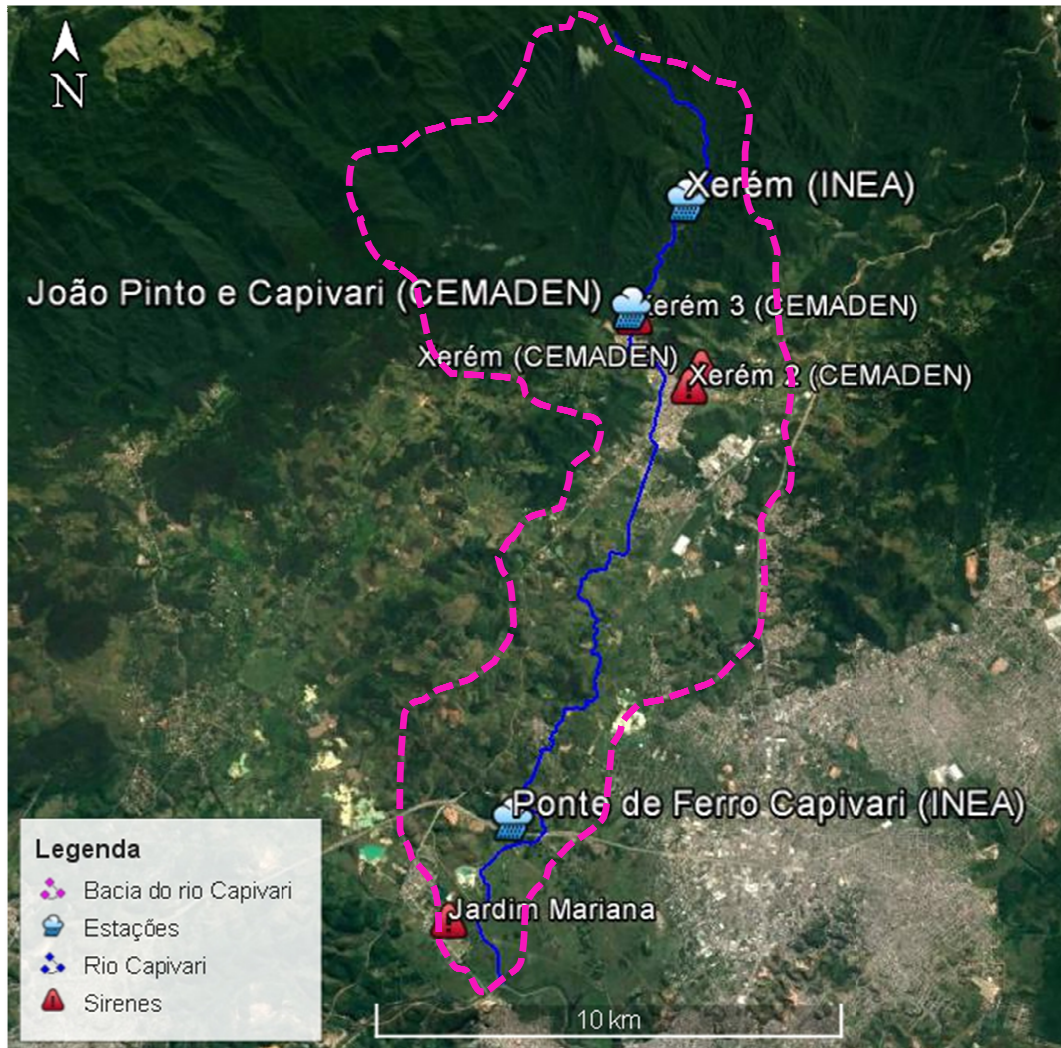


Figura 22 – Rede de monitoramento existente na bacia do rio Capivari, RJ.



Fonte: O Autor, 2018.

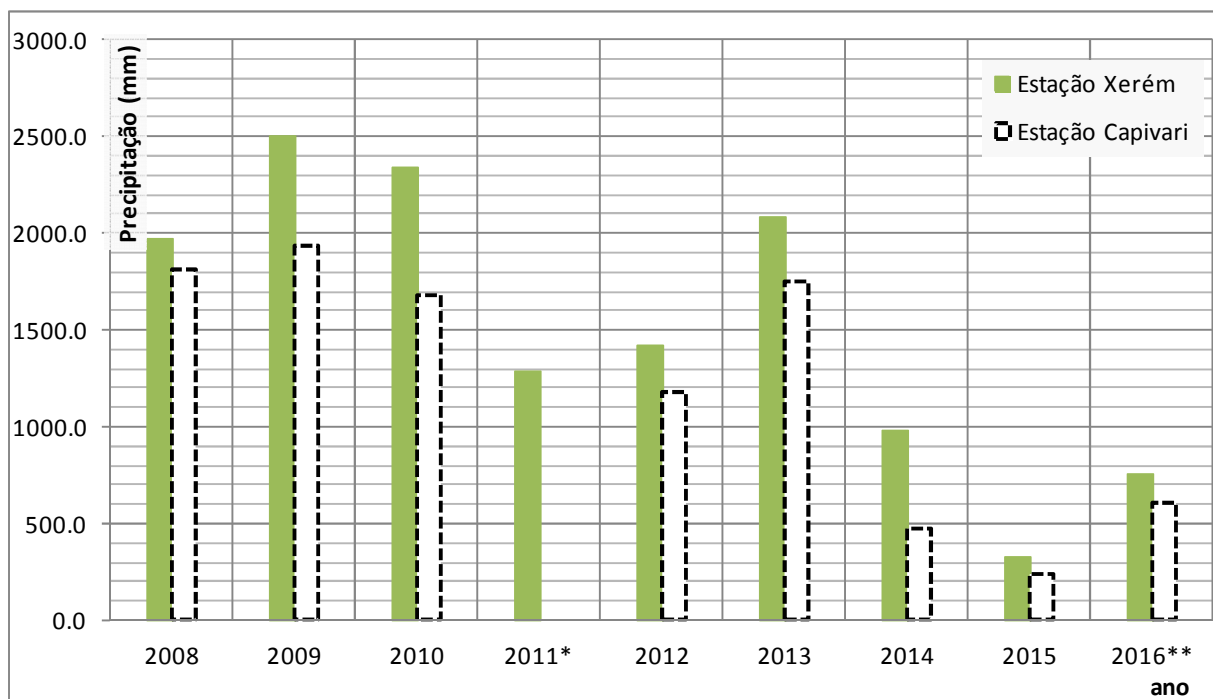
2.1.3 Análise pluviométrica da Bacia do rio Capivari

Para a análise pluviométrica utilizou-se apenas as estações do SAC, Ponte de Ferro Capivari e Xerém-Mantiquira, inseridas na área de estudo. Apesar da limitação de histórico dos dados disponíveis das estações do CEMADEN, as informações obtidas constituem registros da principal rede telemétrica existente na bacia e no município, fornecendo dados de chuva em tempo real, além da estação do João Pinto responsável por observar o nível e imagens do local monitorado. As primeiras análises pluviométricas são realizadas pelos estudos de precipitações com as médias mensais; percentuais de dias com chuva e as máximas

anuais. A continuação das análises se dá por meio do cálculo das precipitações máximas associadas à sua probabilidade de ocorrência.

As análises se iniciaram com os dados de chuva diários das duas estações, sendo apresentado por ano de coleta, no Anexo I – Dados diários. A chuva diária é apresentada em formato de tabela e gráfico indicando as possíveis falhas durante o monitoramento realizado, permite também verificar os anos que apresentaram maiores alturas pluviométricas. Dando sequencia a análise pluviométrica, os totais anuais caracterizam principalmente a diferença de regime pluviométrico dentro da bacia de estudo, onde a montante (Xerém), devido à influência orográfica, possui maiores alturas de chuva, visto esta relação no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Totais Anuais das Estações existentes na Bacia do rio Capivari, RJ.



*O ano de 2011 para Estação do Capivari apresenta muitas falhas e não foi incluído na análise;**O ano de 2016 apresenta apenas as informações de janeiro.

Fonte: O Autor, 2018.

A estação Ponte de Ferro Capivari tem registro de nível e chuva pelo SAC desde 2008 até janeiro de 2016, quando, então, tornou-se inoperante. Desde o início da operação o sistema apresentou falhas de registro no ano de 2011, de janeiro à maio e no ano de 2015 de janeiro à outubro. A estação de Xerém-Mantiquira teve seus primeiros registros no meio de janeiro de 2008 e permanece sua operação até o momento. Sua série apresenta um longo período de dados ininterruptos e apenas no final de dezembro de 2014 apresentou suas

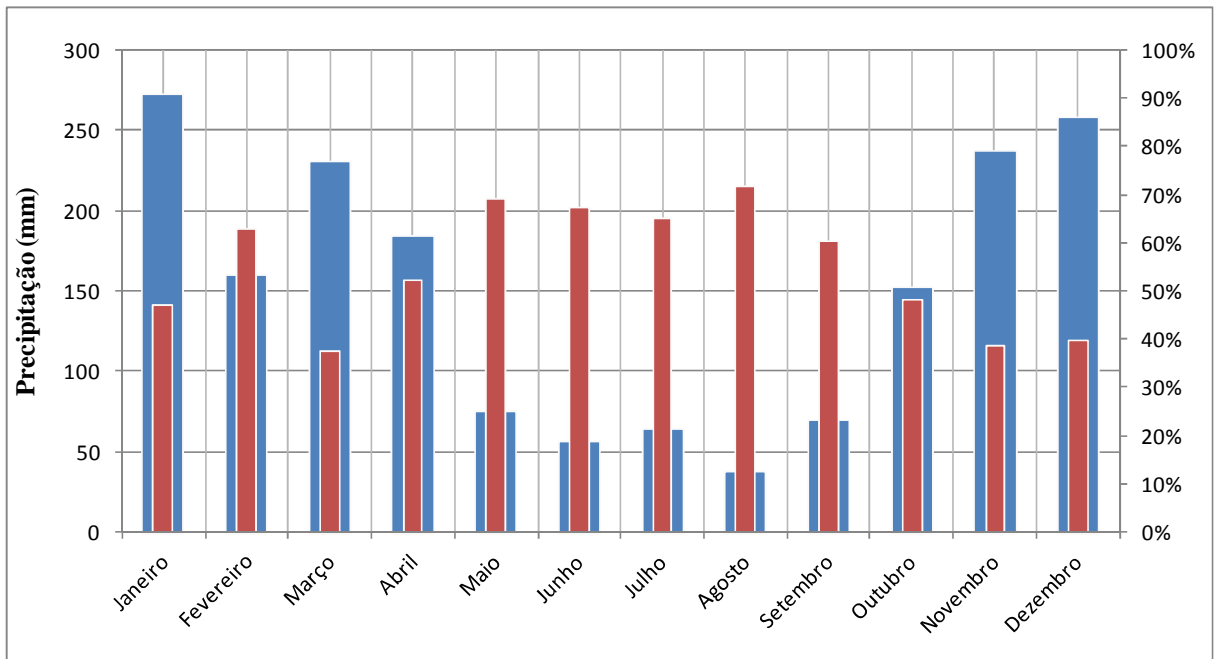
primeiras falhas, permanecendo sem registro até outubro de 2015. Retornou suas medições em novembro de 2015. Para o estudo atual foram avaliados os registros até janeiro de 2016, porém para os totais anuais utilizaram-se os dados das duas estações até o mês de março.

Em sua maioria, o Posto Ponte de Ferro Capivari registra total anual acima dos 1.500 mm, com o maior acumulado de 1.935 mm, para o ano de 2009, no período observado. Pode-se perceber que os dados de totais anuais da estação de Xerém apresentam valores superiores aos da Ponte de Ferro Capivari, pela diferença nas características geomorfológicas das localidades de cada medição. No posto de Xerém o maior acumulado também foi no ano de 2009, com valor de 2.506 mm, seguido de 2010 com 2.346 mm. O ano de 2013 também se destaca, com acumulado de 2.085 mm, quase 500 mm acima da média, para o período estudado. O ano de 2014 apresenta característica típica de seca, com baixo acumulado em relação aos demais anos, apresentando dados muito inferiores à média anual de chuva para a região.

Em conjunto com os dados diários das estações, avaliou-se também as variações ao longo dos meses para as duas estações, identificando os meses mais chuvosos e os meses mais secos. Esta informação permite a elaboração de um plano de contingência mais acurado, de modo a identificar quando os fenômenos ocorrem com mais frequência, seja chuva intensa, ou incêndios florestais. Os percentuais de dias sem chuva também contribuem no planejamento para execução de obras de engenharia e ações operacionais no combate aos eventos extremos. Os Gráficos 2 e 3 ilustram o exposto para as estações de Xerém e Ponte de Ferro Capivari.

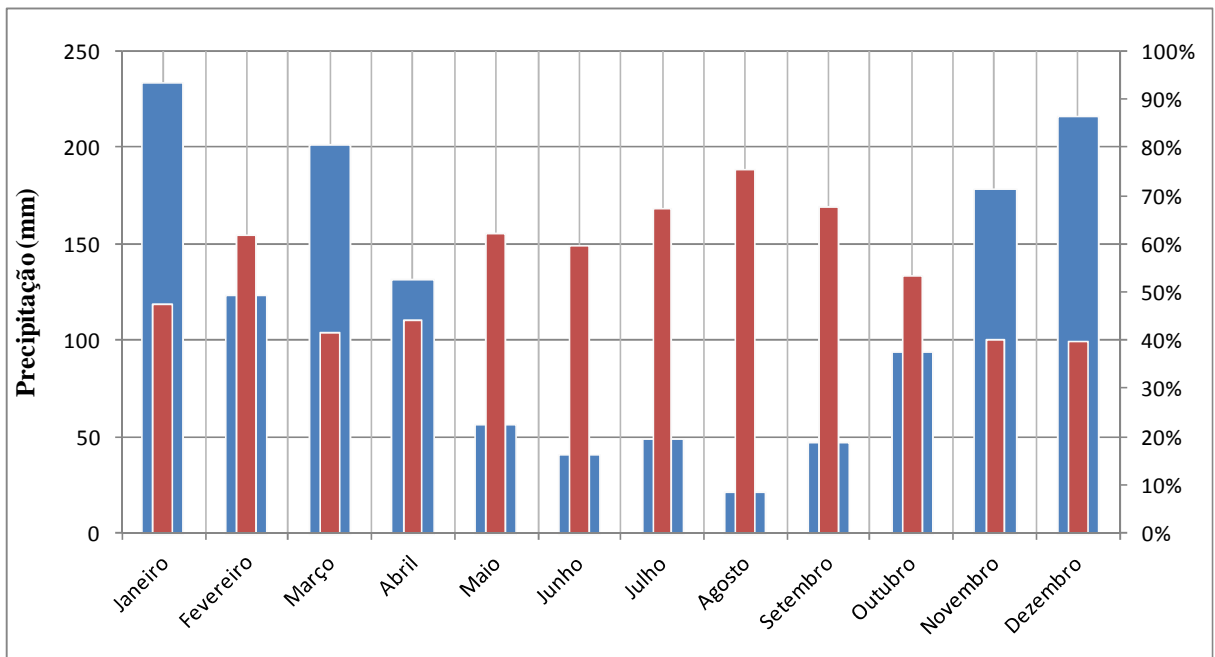
Confirmando o microclima da região, as duas estações apresentam dois períodos distintos, com o semestre chuvoso, que inicia em novembro e permanece até abril com alto índice de chuva. Os demais meses, de maio a outubro, representa o período mais seco. O mês de outubro, apesar de estar inserido no período de estiagem, tem seu índice pluviométrico mais alto, se aproximando bastante do mês de fevereiro, que representa o mês com menor quantidade de chuva, em comparação aos demais do período chuvoso. Em ambas as estações, o mês de Janeiro apresenta as maiores médias de precipitação e novembro e dezembro os com mais dias com chuva. O mês de agosto se classifica como o mês mais seco, tanto em dias mais dias sem chuva, quanto na média de chuva. Além dessas informações, para o cálculo dos valores extremos das precipitações, faz-se necessário o entendimento das máximas anuais. As máximas anuais dos dois postos estudados são apresentadas no Gráfico 4.

Gráfico 2 – Média Mensal (ordenada principal) e % de dias sem chuva (ordenada secundária) da Estação de Xerém na Bacia do rio Capivari, RJ.



Fonte: O Autor, 2018.

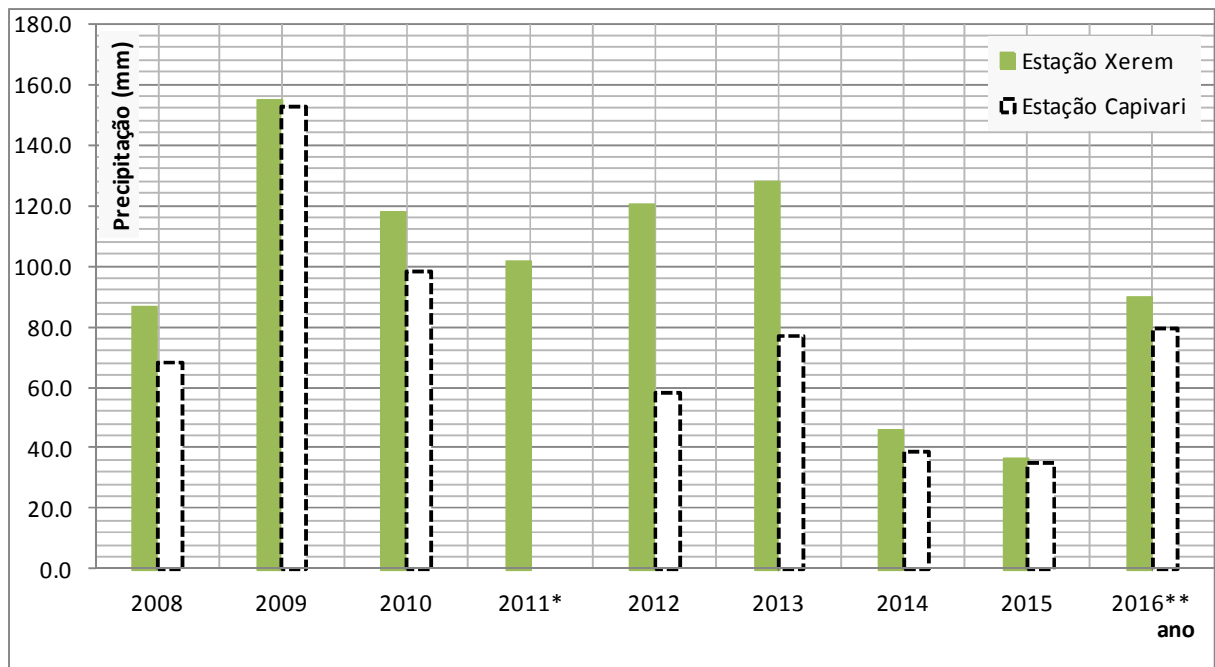
Gráfico 3 – Média Mensal (ordenada principal) e % de dias sem chuva (ordenada secundária) da Estação Ponte de Ferro Capavari na Bacia do rio Capivari, RJ.



Fonte: O Autor, 2018.

Dentro do período analisado, a máxima anual, na estação de Xerém, foi registrada 154,80 mm, em dezembro de 2009, seguidos dos anos de 2013 (janeiro) e 2012 (abril). Na estação Ponte de Ferro Capivari, a altura máxima de 152,40 mm ocorreu em novembro, sucedida de 2010 e 2013 (ambas em janeiro). Estes elementos confirmam o período chuvoso e mais propício para ocorrência de inundações na bacia estudada. Após avaliação das alturas máximas anuais, as duas séries históricas foram submetidas à análise estatística de valores extremos resultando em diferentes alturas pluviométricas para diferentes tempos de retorno com a chuva de duração diária, vistas no nos capítulos subsequentes.

Gráfico 4 – Máximas anuais das estações existentes na Bacia do rio Capivari, RJ.



*O ano de 2011 para Estação do Capivari apresenta muitas falhas e não foi incluído na análise; **O ano de 2016 apresenta apenas as informações de janeiro.

Fonte: O Autor, 2018.

2.1.4 Análise fluviométrica da Estação do rio Capivari

A análise fluviométrica da bacia hidrográfica do rio Capivari foi realizada de maneira complementar devido a escassez de dados de vazão. Para isto, utilizaram-se os dados de níveis existente na estação Ponte de Ferro Capivari – do SAC – e as informações de dados do resumo de descargas na mesma estação, encontradas na plataforma do Sistema Nacional de

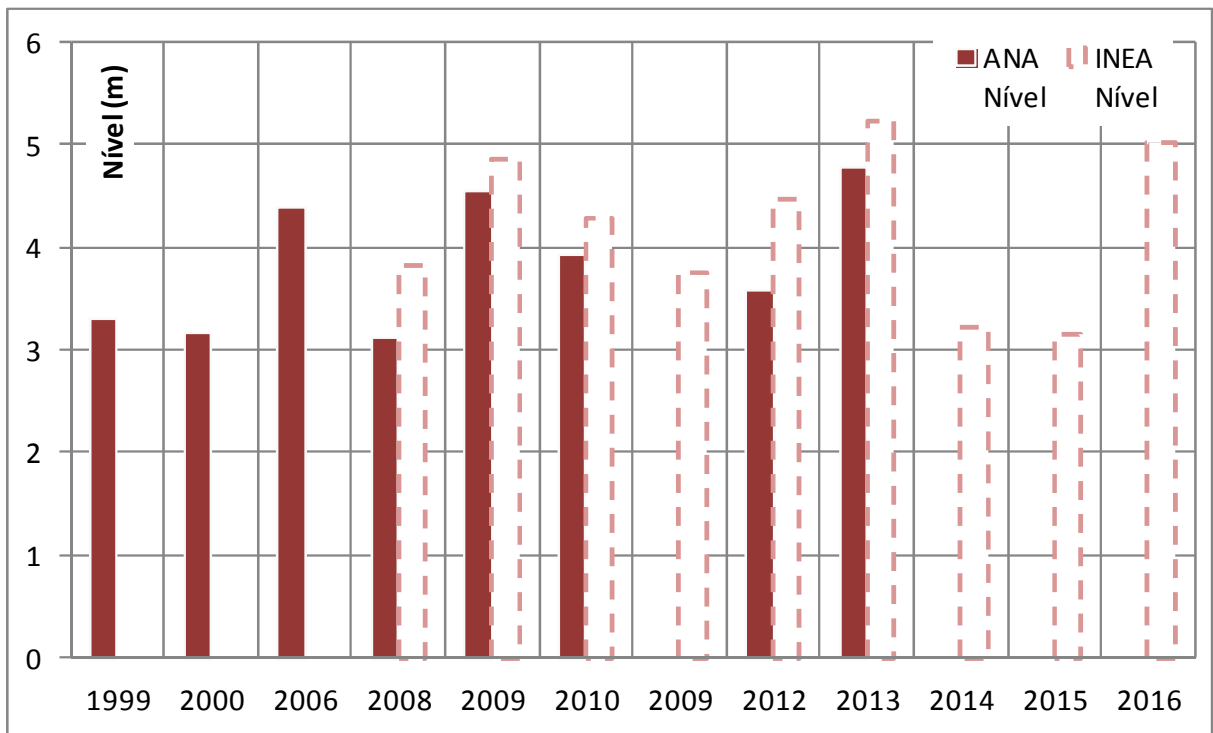
Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da ANA. As informações dos níveis diários do posto foram apresentadas juntamente com os dados pluviométricos, no Anexo I, e o mesmo período de análise. O resumo de descargas (cota, vazão e área molhada) compreende o período de setembro de 1998 a setembro de 2001, parte do ano de 2005 e mais duas medições, em 2008 e 2009. No final do período mencionado, obtiveram-se informações também da largura da seção e velocidade média do escoamento. Ainda, extraiu do posto informações de cotas de 1998 a 2001, de 2005 até abril de 2013.

A fim de ilustrar melhor as informações sobre o nível do rio Capivari ao longo do período analisado, fez-se a relação dos níveis máximos anuais, onde os maiores valores foram registrados em 2013, 2016 e 2009. Além disso, utiliza-se a cota de 3,80 metros como transbordamento do rio no local de monitoramento, e perceber-se que apenas em 2014 e 2015 não houve transbordamento do mesmo, possivelmente associados ao período de estiagem, diagnosticado também na análise pluviométrica. Na série observa-se compatibilidade com os dados pluviométricos nos meses de estiagem e de cheias, onde agosto apresenta os níveis mais baixos e janeiro o maior nível registrado.

Os dados extraídos do SNIRH podem ser vistos na íntegra, no Anexo II – Dados da ANA. Compreendido entre 1998 a 2013, a série histórica de cotas apresenta seus máximos anuais em 2013, 2009 e 2006. Apesar das falhas, estas informações complementam aquelas verificadas na fase de operação do INEA. Os Gráficos 5 e 6 apresentam os níveis verificados no ponto de monitoramento. Nota-se que as cotas medidas na série do INEA são superiores aos medidos na ANA. Ainda assim, as informações de resumo de descargas foram utilizadas para a calibração do modelo utilizado na fase de mapeamento das áreas suscetíveis a inundação na bacia e também para a otimização do sistema de alerta de cheias proposto neste trabalho.

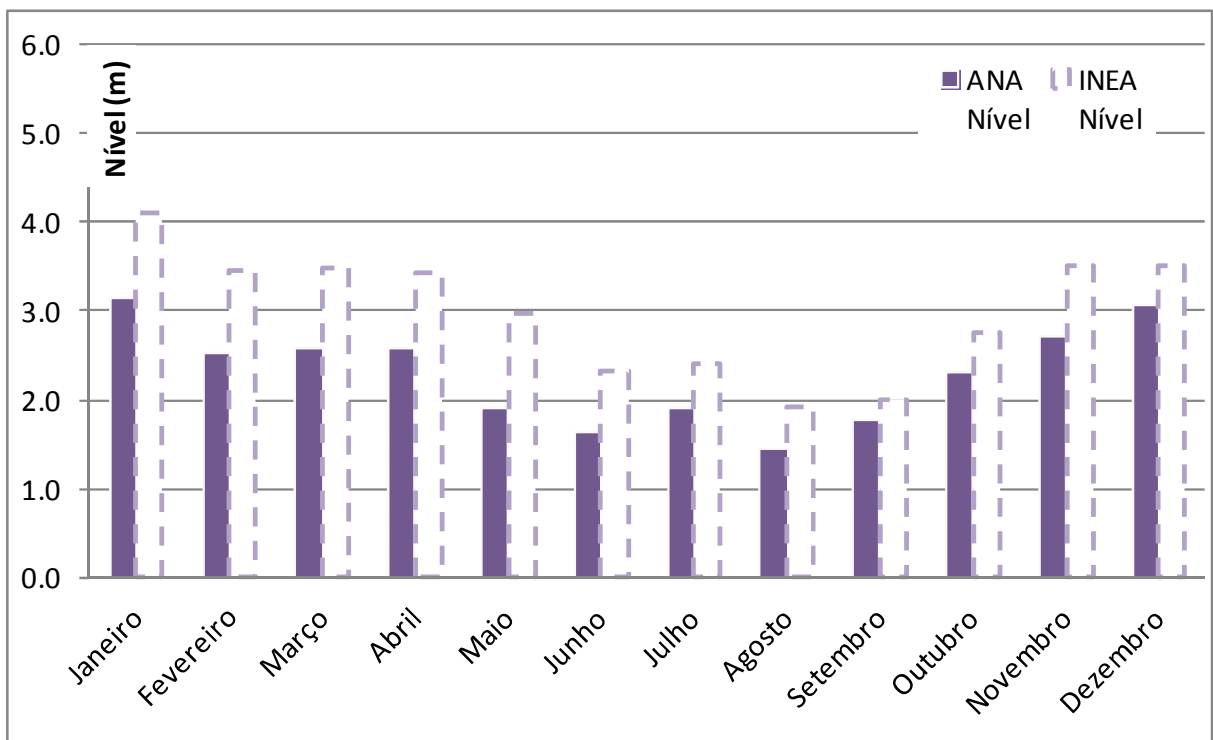
Neste aspecto, foi desenvolvida a curva chave para a estação, utilizando-se os dados apresentados da estação, e para uma avaliação mais detalhada, considerou o ano hidrológico de 2000, por apresentar medição de vazão em todos os meses do ano. Através da relação nível-vazão, a curva chave gerada seguiu as premissas orientadas por Lambie (1978) e Mosley e McKerchar (1993), onde esta foi determinada pela relação exponencial apresentada pela Equação 1. Os parâmetros da curva-chave foram determinados utilizando-se um modelo de otimização não-linear cuja função objetivo foi minimizar a diferença quadrada das vazões observadas e as calculadas, considerando-se valores iniciais dos parâmetros a , b e h_0 .

Gráfico 5 – Níveis máximos anuais verificados no ponto monitorado (Estação Ponte de Ferro Capivari).



Fonte: O Autor, 2018.

Gráfico 6 – Níveis médios mensais verificados no ponto monitorado (Estação Ponte de Ferro Capivari).



Fonte: O Autor, 2018.

Equação 1: Função exponencial

$$Q = a \times (h - h_0)^b \quad (1)$$

Onde,

Q = vazão do rio ($\frac{m^3}{s}$);

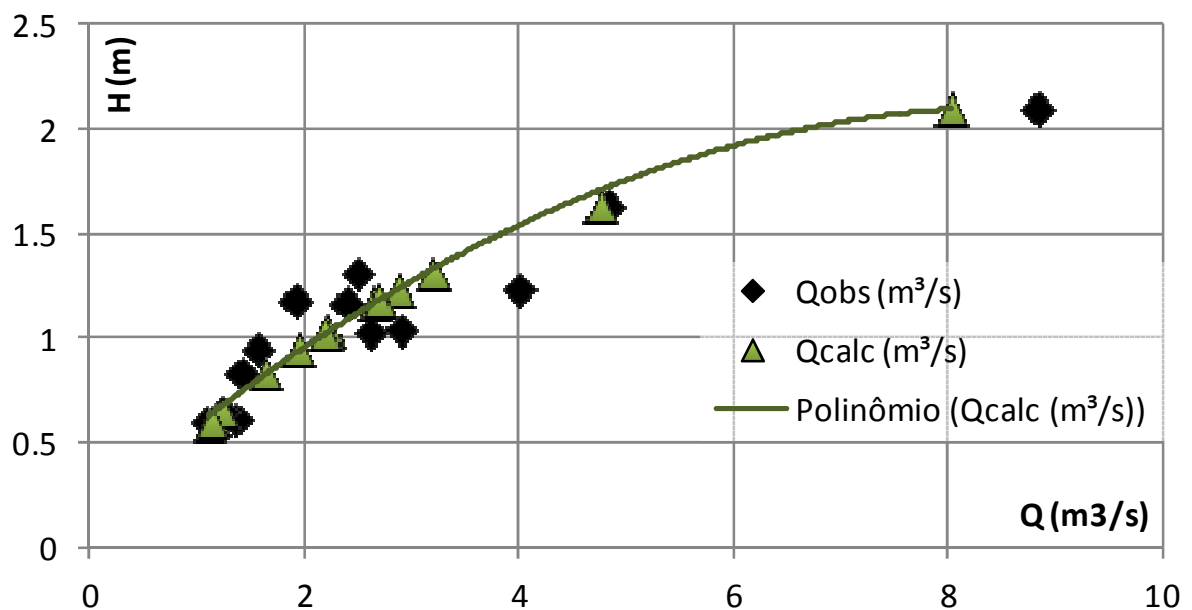
h = nível d'água (m);

h_0 = nível d'água quando vazão tende a zero (cte);

a e b = constantes.

A diferença das vazões observadas e calculadas pode ser vista no Gráfico 5. Utilizou-se regressão polinomial para determinar os valores de a e b , e tentativa e erro para os valores de h (linearizando a equação) e chegou-se a Equação 2, para os dados analisados, possibilitando definir as vazões correspondentes para cada nível indicado (Gráfico 7). É admissível utilizar a relação nível *versus* vazão como subsídio à emissão de alertas na bacia do rio Capivari, uma vez que se torna viável relacionar também os valores de nível com a precipitação.

Gráfico 7 – Curva-chave para o ano de 2000, da Estação Ponte de Ferro Capivari (ANA).



Fonte: O Autor, 2018.

Equação 2: Relação polinomial cota *versus* descarga do Posto Capivari em Duque de Caxias-RJ.

$$Q = 0,0176 \times (h + 2)^{4,331} \quad (2)$$

2.2 Correlação de dados hidrológicos e eventos adversos

A criação de um banco de dados sobre os desastres hidrológicos na bacia permite integrar as informações hidrológicas aos procedimentos da defesa civil, uma vez que com conhecimento do histórico das ocorrências é possível dimensionar as ações operacionais de suprimentos e pessoal para o cotidiano do órgão. Foram utilizados os dados pluviométricos correspondentes aos eventos de chuva com algum registro de ocorrência ou mídia relacionada, possibilitando a extração das informações e a compreensão do funcionamento da bacia. Esta avaliação sobre os desastres hidrológicos ocorridos na bacia do rio Capivari contou com a avaliação minuciosa dos dados pluviométricos e de nível fornecidos pelo SAC associados aos boletins de ocorrência registrados na gestão da defesa civil, no período de 2013 a 2016 e a vasta coleta de eventos citados na mídia *online* (jornais, revistas, páginas de internet, etc.) no período em que houve registro de chuva/nível (2008 a 2016).

Para a caracterização de um evento como extremo, necessariamente deve haver o transbordamento da calha do rio, medido na estação do Capivari, porém, um evento extremo, não obrigatoriamente se desencadeia em desastre. Os eventos definidos como desastre na bacia de estudo foram confirmados a partir das informações extraídas no sistema S2ID – Sistema de Informações sobre Desastres – do governo federal. Esse sistema recebe as decretações de situação de emergência e calamidade pública de todo território brasileiro que representa a falta de capacidade do município ou estado em lidar com o evento adverso. Os eventos considerados mais impactantes na bacia foram aqueles em que foi decretado situação de emergência. Estes eventos selecionados permitem também a calibração e a análise direcionada para a modelagem hidrológica da bacia.

Apesar da existência de diferentes bancos de informações (ANA; INEA; S2ID e mídia online) na bacia do rio Capivari, esta não dispõe de um Banco de dados sobre desastres hidrológicos propriamente ditos, uma vez que não há relação dos dados pluviométricos com as ocorrências da defesa civil indicando as consequências do evento de chuva, por exemplo. Do contrário, as informações fornecidas pelo S2ID não dispõe de diferenciação técnica a

respeito do desastre em si (bacia hidrografia correspondente, quantidade de chuva, duração da chuva, tempo de recorrência, etc.), determinando apenas como tal em função da impossibilidade do município ou Estado em não possuir recurso (financeiro e humano) disponível para atendimento e assistência a população. A relação entre a pluviométrica e ocorrências registradas permite criar um banco de dados com informações técnicas sobre as condições da bacia de acordo com determinado evento de chuva e seu impacto sobre a bacia. O banco de dados possibilita a redução do risco de desastre e também contribui para o fortalecimento do monitoramento e sistema de alerta comunitário.

2.2.1 Análise dos eventos extremos

Posterior a análise pluviométrica, indicando o regime de chuvas na bacia, nos dois postos do SAC, a análise de frequência visa avaliar os máximos extremos da série histórica. A análise de frequência tem por finalidade identificar a distribuição de probabilidade através de modelos estatísticos para o ajuste dos valores de precipitação máxima da série histórica, na ocorrência dos eventos extremos. Para esta distribuição de probabilidade optou-se pelo método de Gumbel, ou Distribuição Assintótica dos Extremos do Tipo I, sendo atribuído o valor de uma determinada variável à probabilidade de sua ocorrência, no caso a precipitação. A distribuição de Gumbel é a distribuição extrema mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de relações Intensidade-Duração-Frequência de precipitações intensas e estudos de vazões.

A distribuição de Gumbel refere-se à forma assintótica limite para um conjunto de N variáveis aleatórias originais $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$, independentes e igualmente distribuídas conforme um modelo $F_X(x)$, de cada superior exponencial. A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada pela Equação 3:

Equação 3: Função de probabilidade de Gumbel

$$F_y = \exp \left[-\exp \left(-\frac{y-k}{\alpha} \right) \right] \quad (3)$$

Na qual, α representa o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição. O valor esperado (E), a variância (Var) e o coeficiente de assimetria (γ) de Y são, respectivamente, apresentados nas Equações 4, 5 e 6:

Equação 4: Valor esperado

$$E[y] = \beta + 0,577 \times \alpha \quad (4)$$

Equação 5: Variância

$$Var[y] = \frac{\pi^2 \times \alpha^2}{6} \quad (5)$$

Equação 6: Coeficiente de assimetria

$$y = 1,1396 \quad (6)$$

Os ajustes relacionando probabilidade de ocorrência (tempo de retorno) e intensidade de precipitação foram realizados para diferentes durações de evento chuvoso. Para obtenção dos totais de chuva de duração inferior a diária (disponível no posto), foram utilizados coeficientes de desagregação obtidos na literatura. A memória de cálculo de ajuste estatístico de extremos por Gumbel estão apresentadas no Anexo III. As intensidades máximas obtidas para diferentes tempos de retorno, para cada duração de evento chuvoso, foram sintetizadas através do ajuste de uma curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), fornecida nos estudos de chuvas intensas para o rio de janeiro (CPRM, 2000), cuja equação geral (Equação 7) é:

Equação 7: Relação IDF (CPRM)

$$\hat{i}_{T,d,j} = i_d \times \mu_{T,d} \quad (7)$$

Onde:

$\hat{i}_{T,d,j}$ = é a estimativa de chuva (mm/h), de duração d (min), no local j, associada ao período de retorno T (anos);

i_d = é o index-flood da cada estação;

$\mu_{T,d}$ = representa os quantis adimensionais de frequência, de validade regional, associados a d e T.

Para a região de Xerém, pertencente a região 3 (CPRM, 2000), a equação IDF (Equação 8) tem os coeficientes:

Equação 8: Relação IDF para a região de Xerém

$$\hat{i}_{T,d,j} = 85,264^{-0,789} P_j^{0,367} \mu_{T,d}, \text{ para } T \leq 100 \text{ anos e } 1h \leq d \leq 24h \quad (8)$$

P_j = é a precipitação média anual (mm) no local j.

Com esta equação chegou-se ao valor da intensidade dos eventos extremos, associados a uma determinada duração. Tal intensidade é fundamental para gerar a curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF). A IDF considera a intensidade e a duração dos eventos máximos anuais observados na série histórica, identificando a probabilidade de ocorrência e a intensidade máxima para diferentes tempos de retorno. A correlação entre Precipitação-Duração-Frequência (PDF), onde os valores de precipitação de 1 dia são convertidos para 24 horas foram feitos diante dos valores para conversão (Tabela 3) da precipitação para cada duração independente do tempo de recorrência.

Tabela 3– Coeficientes de conversão da IDF considerada.

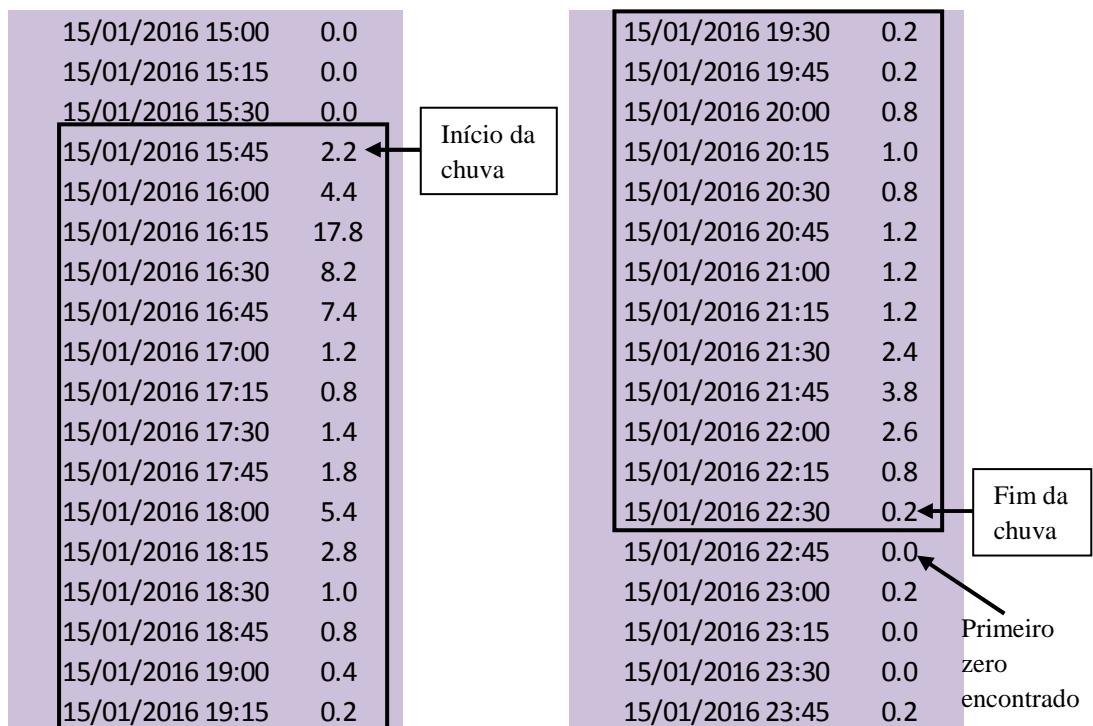
Relação	Coeficiente	Relação	Coeficiente	Relação	Coeficiente
24h (mm/h)	1,13	6h (mm/h)	0,8136	30 min (mm/h)	0,28448
12h (mm/h)	0,9605	4h (mm/h)	0,4746	15 min (mm/h)	0,24584
10h (mm/h)	0,9266	2h (mm/h)	0,3512	10 min (mm/h)	0,18965
8h (mm/h)	0,8814	1h (mm/h)	0,3196	5 min (mm/h)	0,11941

Fonte: CETESB, 1979 / U.S. Weather Bureau

Geralmente torna-se trabalhoso tratar todas as séries de chuvas, incluindo-se aquelas de pequeno volume e dependendo da quantidade de chuva (volume total acumulado na série de chuvas) e da quantidade de séries de chuva, pode-se restringir o tratamento dos dados somente àquelas mais relevantes (GIDES, 2017). Semelhante ao considerado para os

deslizamentos planares, no Projeto GIDES, eventos com registros inferiores a 10 mm foram desconsiderados independente do intervalo de chuva e também os intervalos entre cada evento foi de no mínimo 24 horas sem chuva (antes e depois). Associado a cada evento de chuva, seja na estação do Capivari ou na estação de Xerém, buscou-se o maior nível registrado na estação do Capivari (a jusante). Esta informação foi posteriormente utilizada para a definição dos limiares para mudança de estágio. A análise de frequência realizada para os eventos de chuva selecionados considerou o intervalo de chuva ininterrupto, ou seja, o intervalo de chuva se inicia no primeiro registro até que o primeiro zero encontrado no pluviômetro (Figura 23).

Figura 23 – Exemplo de uma chuva ininterrupta para análise de frequência (Estação Capivari).



Fonte: O Autor, 2018.

2.3 Avaliação das áreas suscetíveis a inundação

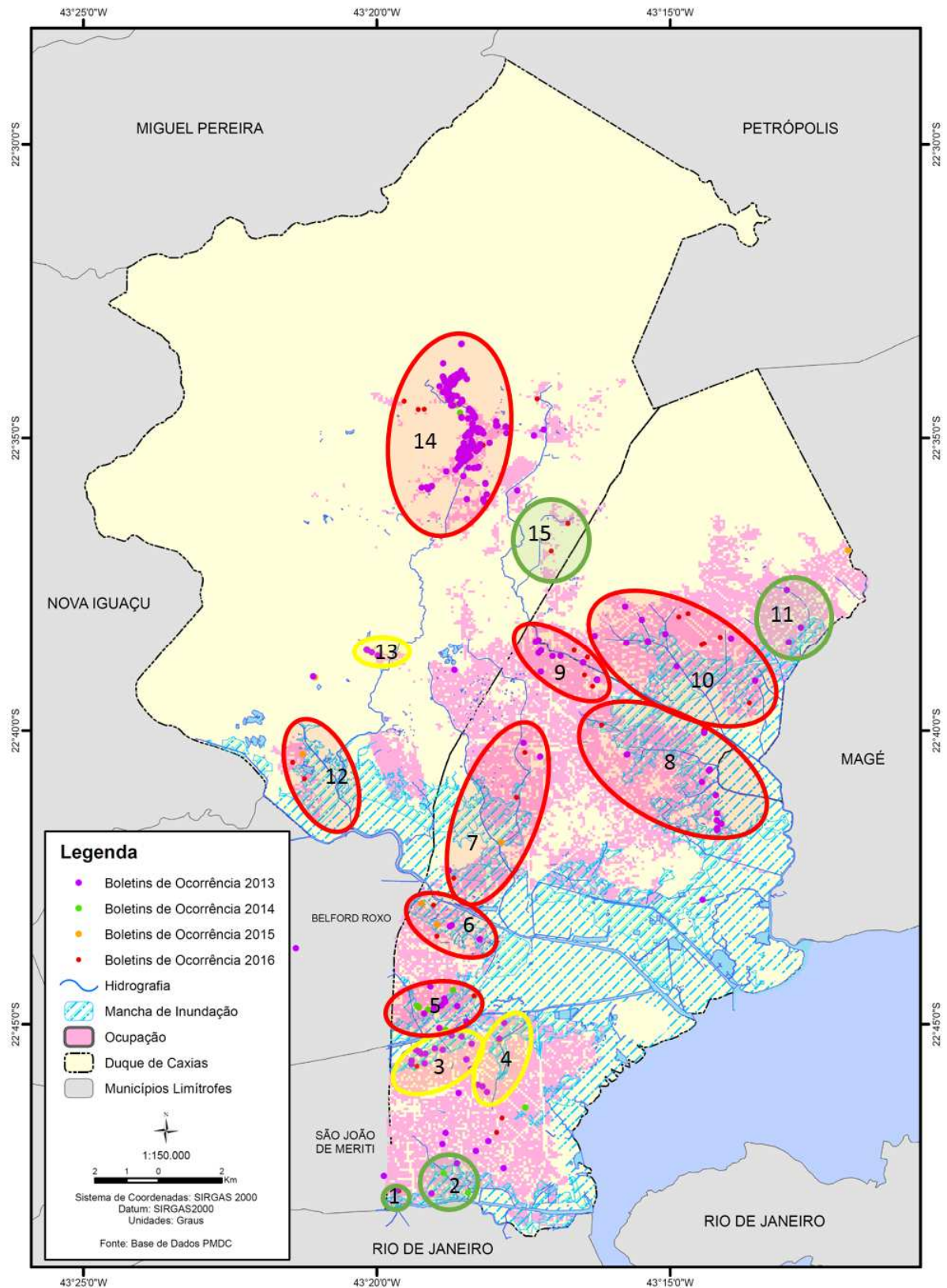
Assim como diferentes autores, as áreas de risco de inundação podem ser determinadas a partir do cruzamento entre o mapa de suscetibilidade e o mapa de vulnerabilidade da bacia hidrográfica (KOBAYAMA *et al.*, 2011). Em um primeiro momento,

o PMRR representou a melhor informação a respeito das áreas de risco da cidade de Duque de Caxias-RJ, em conjunto com o mapeamento realizado pela CPRM, ambos de 2013. Vissirini *et al.* (2016) atualizou o mapeamento das áreas apresentadas no PMRR, incluindo os boletins de ocorrência da defesa civil, a mancha de urbanização da cidade e a altimetria, de modo a definir em conjunto aquelas áreas mais propensas a sofrer danos por inundação e indicar no período de monitoramento em tempo real, as áreas mais afetadas pelas chuvas intensas (Figura 24).

Com relação ao mapa de perigo e a utilização dos modelos, os modelos hidrológicos são ferramentas úteis que permitem a simulação de processos hidrológicos complexos em bacias hidrográficas e contribuem para sua melhor compreensão (KNIGHT 2006; JANKOWFSKY *et al.*, 2014). Dentre outros aspectos, a abordagem de modelagem hidrológica complementa a investigação hidrológica em uma bacia não oficial (GAUME e BORGA, 2008). Ainda que tenha avanço nas tecnologias para medição de precipitação, vazão e outros fatores climáticos, e as melhorias nos modelos hidrológicos (matemáticos, físicos, etc.), no que diz respeito ao mapeamento das áreas suscetíveis ao risco de inundação, as investigações pós-inundação através das “marcas de cheias” e identificação das cotas e distancias que atingiram são primordiais como fonte de dados para as inundações bruscas, principalmente em pequenas bacias, apesar de suas incertezas (BRYNDAL *et al.*, 2017).

O presente trabalho caracteriza as áreas suscetíveis às inundações na bacia do rio Capivari por uma série de avaliações hidrológica e hidráulica. O mapa de suscetibilidade tem a intenção de caracterizar as áreas prioritárias a emissão dos alertas e funciona como base para o sistema de monitoramento realizado pela defesa civil municipal, esclarecendo que tais simulações não levaram em consideração a vulnerabilidade local e definição do mapa de risco para a bacia.

Figura 24 – Mapa de risco adaptado do PMRR na cidade de Duque de Caxias-RJ baseado nas ocorrências da defesa civil.

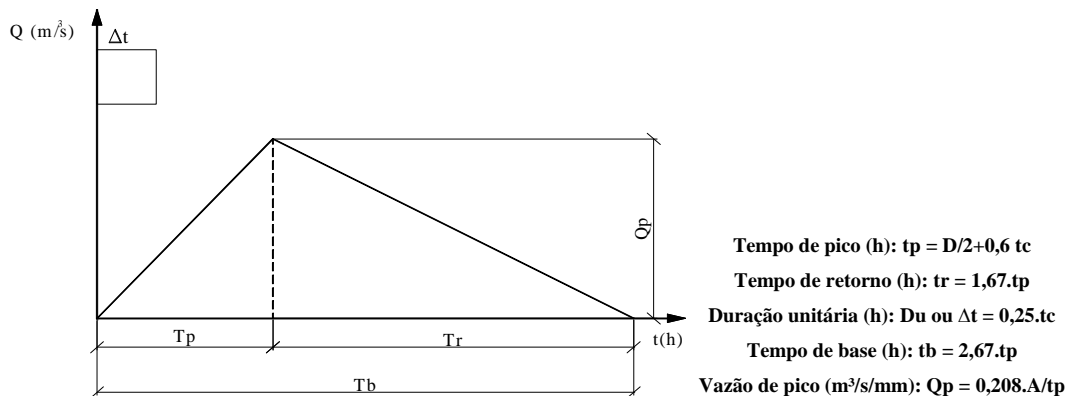


Fonte: Vissirini *et al.*, 2016.

2.3.1 Modelagem hidrológica

A modelagem hidrológica foi realizada a partir da simulação de determinadas chuvas extremas resultando em vazões de entrada para a modelagem hidráulica. Para isto, utilizou-se o Método do Hidrograma Unitário Triangular, bastante consagrado na literatura nacional e internacional. A representação do hidrograma, preconizados na teoria do hidrograma triangular sintético do *U.S. Soil Conservation Service (SCS)*, para uma altura pluviométrica de 1 mm, é ilustrada na Figura 25. O hidrograma de projeto é obtido pela Equação 9, de convolução:

Figura 25 – Esquema de representação do hidrograma do método HUT.



Fonte: SCS, 1975.

Equação 9: Equação de convolução

$$Q_t = \sum_{i=j}^t P e_i \cdot q_{t-i+1} \quad (9)$$

onde Q_t é a vazão (m^3/s) no tempo t (horas); $P e$ é a precipitação efetiva (mm) no intervalo i e q é a ordenada do hidrograma unitário ($m^3/s/mm$). A precipitação efetiva é obtida pelo método do SCS descrito no item anterior. A vazão de projeto é equivalente à vazão máxima (pico) do hidrograma resultante da convolução. O método do HUT foi empregado de modo que houvesse um número de ordenadas suficiente para uma representação adequada do hidrograma de projeto. Nestes casos, obteve-se o hidrograma resultante pela convolução dos hidrogramas unitários submetidos à chuva de projeto.

2.3.2 Modelagem hidráulica

O programa *River Analysis System* (RAS) foi desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* (HEC) of the *U.S. Army Corps of Engineers* e é frequentemente denominado de HEC-RAS. Este *software* utiliza um sistema integrado, desenvolvido para uso iterativo num ambiente de multitarefas disponível gratuitamente. O sistema é constituído por uma interface gráfica de usuário, por componentes de análise hidráulica, pela capacidade de armazenamento e gestão de dados, e por gráficos e relatórios de tarefas. Os modelos de cálculo utilizados são baseados na equação de energia unidimensional. As perdas de energia por atrito são avaliadas pela equação de Manning e perdas devidas a contração/expansão com uso de coeficientes, multiplicados por variação de altura cinética. A equação da quantidade de movimento é utilizada em situações onde o perfil da superfície da água é rapidamente variado.

Estas situações incluem cálculos de escoamento em regime misto, ou com ressaltos hidráulicos, hidráulica de pontes, e perfis de avaliação em confluências de rios. Os efeitos provocados por obras de engenharia como pontes, túneis, barragens, descarregadores podem ser considerados nos cálculos. O sistema de escoamento contínuo é projetado para aplicação na gestão de zonas baixas e no estudo contra inundações para avaliar as áreas inundadas. (USACE, 2010). A metodologia empregada pelo HEC-RAS para análise de escoamentos em regime permanente é a solução da Equação 10, de energia de Bernoulli, que utiliza o Método Passo Padrão, “*Standard Step Method*”. As perdas de carga entre as seções compostas são resolvidas conforme a Equação 11.

Equação 10: Equação de Bernoulli

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (10)$$

Onde:

$Y_1; Y_2$: profundidades do escoamento nas seções transversais, em metros;

$Z_1; Z_2$: cotas do fundo do canal, em metros;

$\alpha_1; \alpha_2$: coeficientes de velocidade de Coriolis;

- $V_1; V_2$: velocidades médias, em m/s;
 g : aceleração da gravidade, em m/s²;
 h_e : perda de carga no trecho, em metros.

O coeficiente C é de contração quando a carga cinética da seção de jusante é maior que a de montante e de expansão quando ocorre o inverso. A Tabela 4 apresenta valores típicos de coeficiente de perda de carga localizada C .

Equação 11: Perda de carga

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (11)$$

Onde:

L : comprimento do trecho, em metros;

\bar{S}_f : declividade média da linha de energia entre as duas seções, em m/m.

$\alpha_1; \alpha_2$: coeficientes de velocidade de Coriolis;

C : coeficiente de perda de carga por contração/expansão.

Tabela 4—Coeficientes de contração e expansão

Caso	Contração	Expansão
Sem transição	0,0	0,0
Transição gradual	0,1	0,3
Seções típicas de pontes	0,3	0,5
Transições abruptas	0,6	0,8

Fonte: USACE, 2010.

Os coeficientes de ponderação de velocidade são calculados conforme expressa a Equação 12. A declividade média da linha de energia é calculada pela fórmula de Manning, apresentada na Equação 13.

O modelo prioriza três etapas importantes, a entrada de dados da geometria, a entrada de dados hidrológicos (possível condição de contorno) e a simulação propriamente dita. A

partir daí os resultados obtidos, de seções e o perfil longitudinal, são analisados em formato de planilha ou gráfica. Cabe esclarecer que todos os processos e maiores detalhes sobre os cálculos realizados podem ser consultados no manual do usuário cedido no próprio *software* do HEC-RAS (USACE, 2010). Devido a falta de informações, principalmente de topobatimetria, o modelo foi utilizado em um pequeno trecho do rio João Pinto, um dos principais formadores do rio Capivari e foi relevante por ser na região onde ocorreu o evento de Xerém de 2013. Por fim, foi realizada a modelagem hidráulica também para o trecho do rio Capivari próxima ao ponto de monitoramento do nível d'água.

Equação 12: Coeficientes de ponderação de velocidade

$$a = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2} \quad (12)$$

Equação 13: Fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} \times R_H^{2/3} \times I^{1/2} \quad (13)$$

Sendo:

V = Velocidade em m/s;

n = rugosidade de Manning;

R_H = Raio hidráulico (área molhada / perímetro molhado) em metros;

I = Declividade média do trecho em m/m.

2.4 Sistema de alerta e alarme comunitário para desastres hidrológicos

O Sistema de Alerta e Alarme Comunitário para Chuvas e Inundações é a principal ferramenta utilizada em Duque de Caxias-RJ para reduzir desastres, que mobiliza os profissionais do poder público, voluntários e líderes e membros comunitários de regiões vulneráveis em ações de capacitação, treinamento, monitoramento, alerta e alarme. O aviso do risco varia de acordo a intensidade da chuva, onde quanto maior a intensidade, maior a

necessidade de protocolos. Para isto, os estágios operacionais e de monitoramento são relacionados a fim de estabelecer a melhor dinâmica para definir a logística operacional, como por exemplo, a quantidade de profissionais envolvidos em um evento.

2.4.1 Estados operacionais e estágios de monitoramento hidrometeorológico

O monitoramento hidrometeorológico é a atividade responsável em acionar os gatilhos para as mudanças de estágios, as emissões de alertas e o acionamento das sirenes, uma vez que a maior parte dos desastres que ocorrem na bacia é desencadeada por fenômenos meteorológicos, principalmente a chuva no período do verão, que resultam nos eventos de inundação gradual, inundação brusca e movimento de massa. Na operação do sistema, o monitoramento hidrometeorológico deve ser feito em tempo real e de maneira ininterrupta, como forma de oferecer suporte técnico e factível aos tomadores de decisão. Até o ano de 2016 o sistema de monitoramento na bacia do rio Capivari operava com as estações telemétricas do CEMADEN Nacional e do INEA, que hoje possui apenas a medição do nível na recente estação do João Pinto. Além disso, quando bem relacionada a defesa civil com a comunidade em área de risco, as informações *in loco* da liderança comunitária permitem registrar com maior confiabilidade a ocorrência, principalmente em período de crise/anormalidade.

Os limiares de emissão de alerta sugeridos neste trabalho seguem as etapas descritas no *Manual técnico de elaboração e transmissão de alertas antecipados de risco de movimentos de massa* estabelecidas no Projeto GIDES, publicado em novembro de 2017. Algumas adaptações foram realizadas no âmbito desta pesquisa, para que os limites ficassem mais próximos àqueles definidos na antiga gestão da Defesa Civil municipal de Duque de Caxias, no ano de 2016. A metodologia indicada entende o limiar como a representação gráfica em que separa a zona segura e a zona insegura, definida pela Linha Crítica. A zona segura é aquela em que os índices de chuva propõem menor probabilidade de ocorrência do evento e a zona insegura caracteriza os eventos com maior probabilidade, em relação aos índices de chuva. Além disso, foram consideradas linhas auxiliares para coincidir o monitoramento hidrometeorológico com as ações operacionais do órgão de defesa civil e a antecipação dos eventos que atingem ou superam a linha crítica.

Com o tempo de antecedência pré-definido (geralmente 1, 2 ou 3 horas), estes intervalos permitem a execução das tarefas descritas no Plano de Contingência, por exemplo, mobilização, preparação e evacuação. Estas linhas foram nomeadas como Linha de Probabilidade Moderada (LPM); Linha de Probabilidade Alta (LPA); e Linha Crítica (LC). O resumo para os alertas e níveis operacionais é apresentado na Tabela 5, contendo os estados operacionais em concordância com os estágios de monitoramento. Ainda, o Plano de Emergência Municipal (PEM) forneceu informações sobre os critérios de avaliação dos danos e prejuízos causados pelos eventos pluviométricos, ou níveis de emergência, apresentados na Tabela 6, em virtude do que diz a Lei 12.608. O PEM recomenda a indicação de rotinas de trabalho que devem ser realizadas de maneira preventiva, como:

- Capacitação interna da equipe técnica de defesa civil municipal;
- Efetuar o monitoramento meteorológico, em tempo real;
- Registrar ocorrências de desastres no S2ID;
- Efetuar testes dos sistemas de alarme;
- Avaliar rede de monitoramento;
- Realizar vistorias rotineiras de campo;
- Treinar os NUPDEC's e a população das áreas de perigo.

Além do exposto, a Defesa Civil Municipal (DCM) deve atender as demandas de Gestão de Desastres, ou seja, quando o fenômeno natural atinge uma população vulnerável e desencadeia um período de crise. De acordo com a proporção do evento, órgãos de outras esferas devem ser acionados, assim como demais competências municipais. Determinadas ações a serem tomadas pelo órgão municipal gestor de defesa civil são:

- Intensificar o monitoramento meteorológico;
- Mobilizar a equipe técnica da defesa civil municipal;
- Realizar vistorias técnicas de campo;
- Acionar o Plano de Contingência;
- Preparar os pontos de apoio e abrigos;
- Comunicação com os NUPDEC's e outros órgãos do município;
- Abrir os pontos de apoio e abrigos;
- Prover socorro e atendimento à população afetada;

- Ativar o gabinete de crise, no caso de evento de grande porte;
- Avaliar a necessidade de remoção e/ou interdição (obrigatória);
- Avaliar a necessidade de apoio dos governos estadual e/ou federal.

Em contrapartida, o órgão estadual gestor também tem suas atribuições no momento de crise, como:

- Manter atualizada a previsão de risco;
- Manter operacional a rede geohidrometeorológica;
- Emitir boletim meteorológico para a DCM, caso aplicável;
- Aguardar posição da DCM;
- Acionar o Grupo de Ações Coordenadas GRAC, caso solicitado;
- Auxiliar na tomada de decisão da evacuação;
- Enviar insumos, conforme necessidade do município;

Por fim, no âmbito federal, o CEMADEN é o órgão responsável pelo monitoramento, em tempo real, de todo o território nacional, além de possuir a rede observacional permitindo o monitoramento também dos órgãos estaduais e municipais. O CEMADEN deve manter atualizada a previsão de risco, uma vez emitida e dar apoio à decisão no momento da crise. O Centro Nacional de Gerenciamento de Risco e Desastres CENAD por sua vez é o órgão atuante quando é decretado situação de emergência ou estado de calamidade pública. Este órgão deve acompanhar o processo dos alertas e prover recurso financeiro para a resposta e a reconstrução, quando for solicitado e aplicável.

Tabela 5– Procedimentos de monitoramento, alerta; nível operacional e evacuação para desastres.

Previsão e Alertas	Nível Operacional	Boletim Meteorológico	Alarme à População	Evacuação da População	Curva cobra
BAIXO Probabilidade Baixa.	NORMALIDADE Nenhuma ocorrência Equipe de plantão	Sem previsão de chuva ou chuva fraca	- x -	- x -	abaixo da LPM
MODERADO Probabilidade Moderada, em 3h.	ATENÇÃO Registro de ocorrência = 1 Mobilização do corpo técnico da DCM	Atenção Previsão de chuva moderada ($\geq x$ mm/24h)	- x -	- x -	atingindo ou acima da LPM, porém, abaixo da LPA.
ALTO Probabilidade Alta, em 2 h.	ALERTA Registro de $2 \leq$ ocorrência ≤ 9 Mobilização preventiva de todo efetivo da DCM	Alerta Chuva forte registrada; permanência de chuva ($\geq x$ mm/24h)	Preparação para Evacuação	Recomendada	atingindo ou acima da LPA, porém abaixo da LC.
MÁXIMO Probabilidade Muito Alta, em qualquer instante.	ALERTA MÁXIMO Registro de ocorrência ≥ 10 Todo efetivo da DCM / Abertura do GGCM	Alarme Índice crítico registrado ($\geq x$ mm/24h)	Evacuação	Imediata	atingindo ou acima da LC.

LPM: Linha de Probabilidade Moderada; LPA: Linha de Probabilidade Alta; LC: Linha Crítica; DCM: Defesa Civil Municipal; e GGCM: Gabinete de Gestão de Crise Municipal.

Fonte: adaptado GIDES, 2017; PEM, 2016.

Tabela 6 – Níveis de Emergência Municipal.

NÍVEL	NÍVEL 01	NÍVEL 02	NÍVEL 03	NÍVEL 04
Proporção	Pequena	Média	Grande	Extraordinária
Dimensão do evento	Pontual	Isolado Mais de um bairro	Parcial Um ou mais distritos	Generalizado Toda cidade e municípios vizinhos
Período operacional	Curto 08 a 48 horas	Médio 08 a 120 horas	Alto ≥ 120 horas	Alto ≥120 horas
Número de afetados	Sem vítima fatal	Atinge número significativo de indivíduos; pode haver vítima fatal	Atinge número vultoso de indivíduos (fatais e/ou parciais)	Elevado número de vítimas (fatais e/ou parciais; prejuízos econômicos e sociais)
Decreto	- x -	- x -	Situação de Emergência	Calamidade Pública

Fonte: adaptado PMDC, 2016.

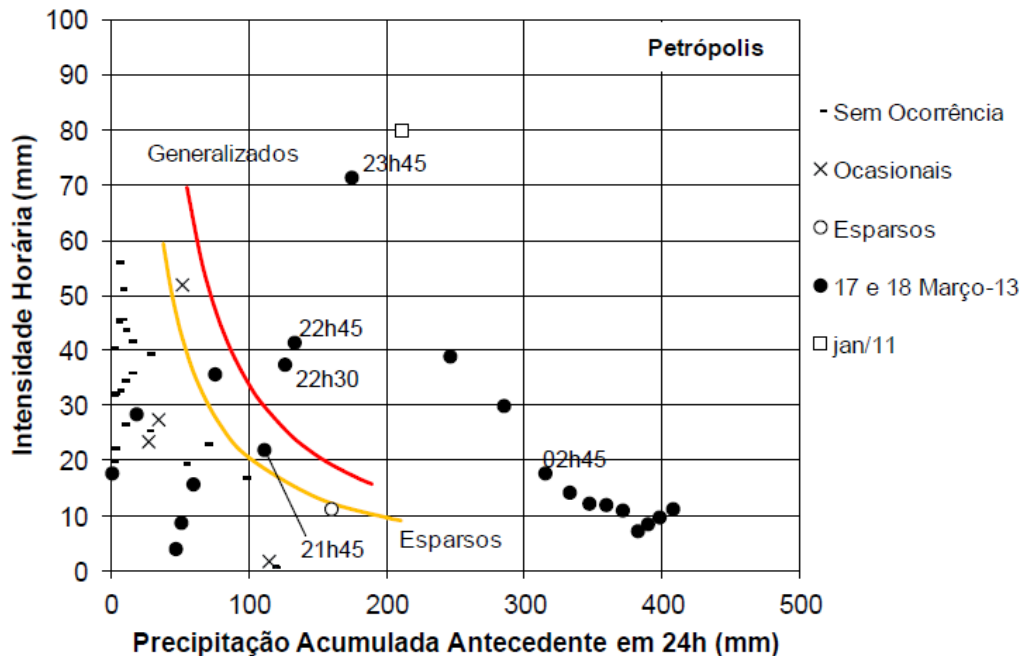
2.4.2 Limiares de chuva para mudança de estágio de monitoramento

As metodologias adotadas para correlação dos eventos pluviométricos e elaboração dos limiares de chuva para emissão dos alertas foi idealizada para movimentos de massa, porém para o presente trabalho o escopo foram inundações bruscas e graduais, com as alterações pertinentes. Através de curvas/linhas de tendências, as duas metodologias utilizadas preconizam a chuva em dois momentos, a máxima em uma hora e o acumulado em 24 horas. Tanto D'orsi (2011) quanto o Compartilhado, trabalham com esta relação gerando uma equação para determinar os limiares de chuva para emissão de alerta ou mudança de estágio operacional.

O Método de D'orsi, o mesmo utilizado para o DRM, utiliza o índice de chuvas acumuladas em 24 horas (eixo horizontal) e a intensidade de chuva horária (eixo vertical). O histórico de eventos é representado para as categorias de eventos esparsos e eventos generalizados, para os quais são estabelecidos limiares (Gráfico 8). Os valores dos limiares

são distintos para cada município, uma vez que este depende intimamente das ocorrências geradas e o regime pluviométrico.

Gráfico 8 – Estabelecimento do limiar de chuva pelo Método D’Orsi.



Fonte: GIDES, 2017.

O Método Compartilhado assume a chuva efetiva pela soma da chuva atual e do remanescente da chuva acumulada antecedente, mediante aplicação de um redutor, de acordo com o tempo decorrido desde a chuva antecedente em questão (este fator é a meia vida). Quanto mais antiga a chuva antecedente, menor será sua influência no valor da chuva efetiva, tanto para os índices de longo como de curto prazo. Os tempos de meia vida definidos no GIDES foram para a chuva efetiva de longo prazo, de 72 horas e, para a chuva efetiva de curto prazo, de 1,5 horas. Depois de calculados os índices da chuva efetiva de longo prazo (eixo horizontal) e de curto prazo (eixo vertical) para cada série de chuvas, estes índices são plotados em um gráfico XY, distinguindo-se cada série de chuvas com e sem evento, da mesma forma como efetuado para o Método de D’orsi.

A meia vida traduz as características de infiltração, de escoamento e de armazenamento de água no solo, de modo que se poderia pensar em estabelecê-las por região homogênea, ao invés de considerar uma área de risco pontual, considerar uma área mais ampla, uma sub bacia por exemplo. Em relação à meia vida de 1,5 horas não se espera muita diferença de uma região para outra, porém, em relação à meia vida de 72 horas, pode ser necessário um estudo amplo, avaliando-se a variabilidade regional das características do meio

físico e a distribuição das chuvas, obtendo-se a meia vida por tentativa e erro, por meio de retroanálise das séries de chuvas com e sem evento (GIDES, 2017).

Outra vantagem para este método é a possibilidade de avaliação gráfica, por meio da observação da evolução dos índices de chuva efetiva da série de chuvas atual (curva cobra) em relação às linhas de apoio e ao limiar. Ainda, este monitoramento permite também quando a chuva se encerrar, o acompanhamento do declínio dos índices de chuva efetiva, apontando para uma condição de menor probabilidade para eventos, orientando o rebaixamento ou cessar dos alertas ou para o cancelamento ou desmobilização da evacuação, conforme o caso, baseados em critérios semelhantes aos considerados para a emissão do alerta.

O limiar ou Linha crítica é calculada a partir da chuva incidente na última hora, em relação ao momento atual e o somatório de todas as chuvas antecedentes de até uma hora antes do momento atual, multiplicados pelo coeficiente de meia vida exposto na Equação 14. Deve-se estender o período até que o coeficiente de redução obtido ($\alpha_{i_i} = 0.5^{i/T}$) seja inferior a 0,004, que representa um período de 12 horas (meia vida de 1,5 horas) e 574 horas (meia vida 72 horas). Porém, não haverá prejuízo se períodos maiores de antecedência forem utilizados.

Equação 14: Chuva efetiva

$$R_w = \sum \alpha_{i_i} \times R_{i_i} \quad (14)$$

Onde R_w : Chuva efetiva (mm); α_{i_i} : Coeficiente de redução para i horas antes ($\alpha_{i_i} = 0.5^{i/T}$); i: Quantidade de horas de antecedência da chuva horária considerada em relação ao momento atual (horas); T: meia vida, para as chuvas de curto prazo e de longo prazo (horas); R_{i_i} : Volume de chuva horária de i horas antes do momento atual (mm).

A Tabela 7 representa o cálculo da chuva efetiva de meia vida de 1,5 e 72 horas, expostos no Gráfico 9. Este mesmo cálculo fornece os eventos para criação da linha crítica. A chuva efetiva correspondente às 09 horas é calculada a partir dos dados da chuva antecedente (respectivamente de 0 mm, para a chuva efetiva de meia vida de 1,5 h, e de 20 mm, para a chuva efetiva de meia vida de 72 h). Para os horários subsequentes, os valores são obtidos multiplicando-se o coeficiente de redução da hora atual pela chuva efetiva da hora anterior e somando-se a chuva da hora atual.

Tabela 7 – Exemplo de cálculo da chuva efetiva, Petrópolis, RJ

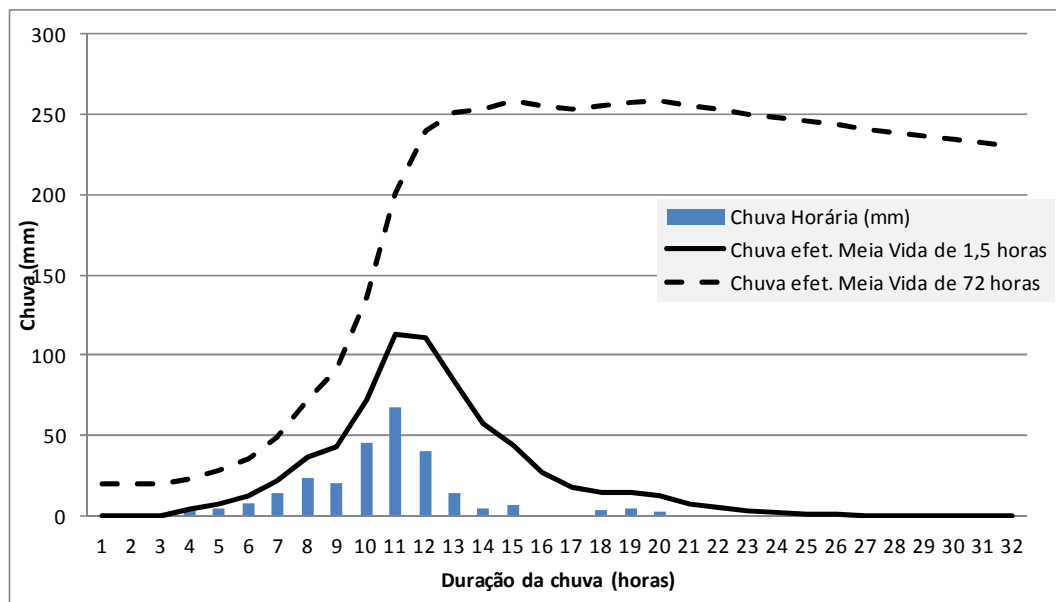
Horas	Tempo Decorrido (h)	Chuva Horária (mm)	Chuva efet. Meia Vida de 1,5 horas			Chuva efet. Meia Vida de 72 horas			Observação
			α_1	$\alpha_1 \times R_{1i}$	Chuva Efetiva (mm)	α_2	$\alpha_2 \times R_{2i}$	Chuva Efetiva (mm)	
9	1	0	0.63		0.00	0.99		20.00	
10	2	0	0.63	0.00	0.00	0.99	19.81	19.81	
11	3	0	0.63	0.00	0.00	0.99	19.62	19.62	
12	4	4	0.63	0.00	4.00	0.99	19.43	23.43	
13	5	5	0.63	2.52	7.52	0.99	23.21	28.21	
14	6	8	0.63	4.74	12.74	0.99	27.94	35.94	
15	7	14	0.63	8.02	22.02	0.99	35.59	49.59	
16	8	23	0.63	13.87	36.87	0.99	49.12	72.12	
17	9	20	0.63	23.23	43.23	0.99	71.43	91.43	
18	10	45	0.63	27.23	72.23	0.99	90.55	135.55	
19	11	67	0.63	45.50	112.50	0.99	134.25	201.25	Máxima chuva horária
20	12	40	0.63	70.87	110.87	0.99	199.32	239.32	Evento
21	13	14	0.63	69.85	83.85	0.99	237.03	251.03	Máxima chuva efetiva
22	14	5	0.63	52.82	57.82	0.99	248.62	253.62	
23	15	7	0.63	36.42	43.42	0.99	251.19	258.19	
24	16	0	0.63	27.36	27.36	0.99	255.72	255.72	
1	17	0	0.63	17.23	17.23	0.99	253.27	253.27	
2	18	4	0.63	10.86	14.86	0.99	250.84	254.84	
3	19	5	0.63	9.36	14.36	0.99	252.40	257.40	
4	20	3	0.63	9.05	12.05	0.99	254.94	257.94	
5	21	0	0.63	7.59	7.59	0.99	255.47	255.47	
6	22	0	0.63	4.78	4.78	0.99	253.02	253.02	
7	23	0	0.63	3.01	3.01	0.99	250.59	250.59	
8	24	0	0.63	1.90	1.90	0.99	248.19	248.19	
9	25	0	0.63	1.20	1.20	0.99	245.82	245.82	

Horas	Tempo Decorrido (h)	Chuva Horária (mm)	Chuva efet. Meia Vida de 1,5 horas			Chuva efet. Meia Vida de 72 horas			Observação
			α_1	$\alpha_1 \times R_{1i}$	Chuva Efetiva (mm)	α_2	$\alpha_2 \times R_{2i}$	Chuva Efetiva (mm)	
10	26	0	0.63	0.75	0.75	0.99	243.46	243.46	
11	27	0	0.63	0.47	0.47	0.99	241.13	241.13	
12	28	0	0.63	0.30	0.30	0.99	238.82	238.82	
13	29	0	0.63	0.19	0.19	0.99	236.53	236.53	
14	30	0	0.63	0.12	0.12	0.99	234.26	234.26	
15	31	0	0.63	0.07	0.07	0.99	232.02	232.02	
16	32	0	0.63	0.05	0.05	0.99	229.80	229.80	

Fonte: GIDES, 2017.

Para a definição do limiar, e a plotagem das chuvas efetivas correspondentes às chuvas efetivas dos horários dos eventos e para as chuvas sem evento, considerar o ponto de chuva efetiva do momento da máxima chuva efetiva (72 horas). O limiar deve ser traçado buscando-se uma reta que melhor separe as séries de chuvas com eventos daquelas séries de chuvas sem eventos, ou seja, que delimite, o mais adequadamente possível, a zona segura e a zona insegura. As linhas de apoio utilizam as máximas chuvas históricas de 1, 2 e 3 horas de duração, ou pode-se utilizar chuvas de 1, 2 e horas com períodos de retorno de 10, 5 ou 2 anos, conforme a disponibilidade de dados. Em qualquer dos casos, deve-se dar preferência à utilização das séries de dados mais longas.

Gráfico 9 – Exemplo de gráfico da chuva efetiva, Petrópolis, RJ



Fonte: GIDES, 2017.

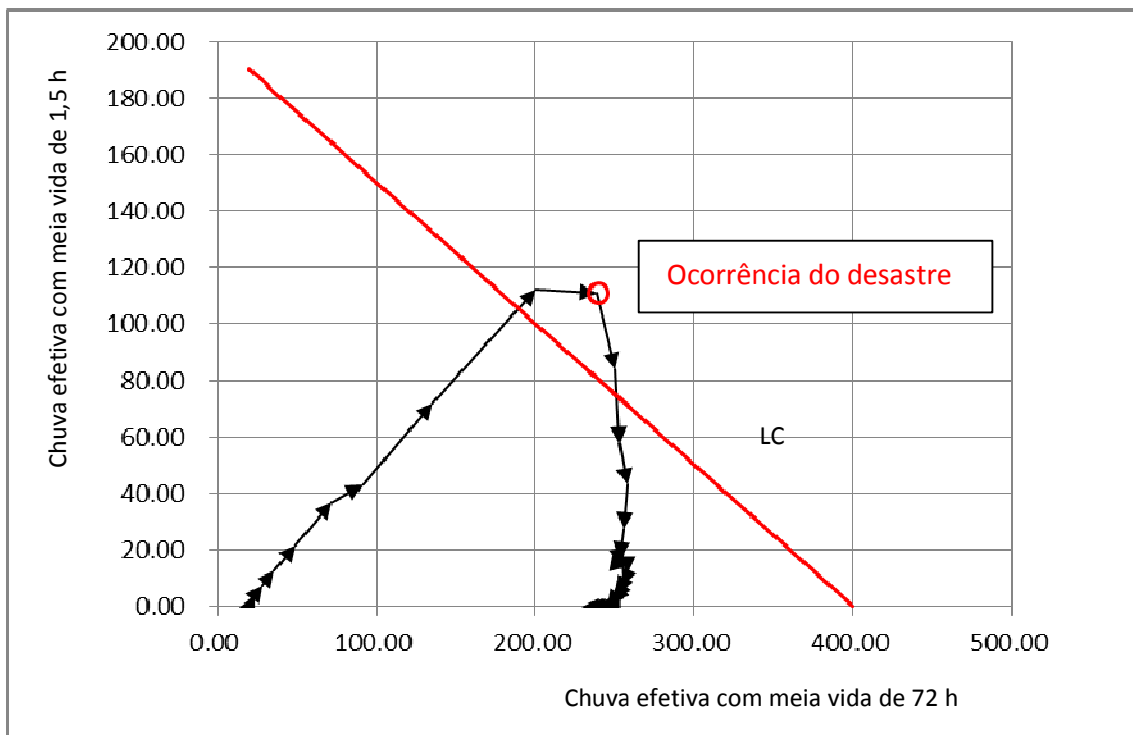
Resumidamente, para o estabelecimento dos limiares para emissão de alerta, fez-se o apanhado de chuvas que ocorrem nas duas estações do INEA, considerando os intervalos de vinte e quatro horas e o maior registro de uma hora, preconizando que cada evento deve ter um intervalo de pelo menos vinte e quatro horas sem registro de chuva horária superior a 10 milímetros e acumulado de 40 mm, sendo este o primeiro limite para mudança de estágio. Após concentrar todos os eventos de chuva existentes nas estações citadas, e permitindo adaptar a análise gráfica aos eventos de inundação, fez-se a relação com o nível do rio Capivari. Ainda, tais níveis foram confrontados com as informações do banco de dados gerado neste trabalho, qualificando os eventos mais importantes e que causaram maiores

prejuízos na bacia. Consideraram-se as porcentagens de nível como proposto para definição dos limiares do nível do rio:

- 1º Estágio: abaixo de 75% da calha preenchida;
- 2º Estágio: entre 75% e 90% da calha preenchida;
- 3º Estágio: de 90% até 100% da calha preenchida; e
- 4º Estágio: transbordamento do rio (acima de 100% da calha preenchida).

Em apoio ao monitoramento, e as demais considerações descritas anteriormente, a utilização da curva cobra permite avaliar, em tempo real aproximado, se a chuva atual está próxima à linha crítica e assim, se vai atingir a zona insegura. Em outras palavras, permite compreender visualmente o quanto a chuva efetiva da série de chuvas atual adentrou a área insegura (ao atingir ou transpor a LC) e o quanto se aproximou ou se afastou dela, conforme sua posição em relação às linhas de apoio e à própria linha crítica. A curva cobra é elaborada computando a variação da chuva efetiva com meia vida de 1,5 e 72 horas no decorrer do tempo (Gráfico 10).

Gráfico 10 – Exemplo da curva cobra, Petrópolis, RJ



Fonte: GIDES, 2017.

3 REDUÇÃO DO RISCO DE DESASTRES HIDROLÓGICO: APRIMORAMENTO DO SISTEMA DE ALERTA DE CHEIAS

3.1 Banco de dados sobre desastres hidrológicos na bacia do rio Capivari

Com a avaliação inicial do sistema de alerta de cheias do INEA, pode-se notar uma fragilidade em relação à consistência de dados e sua continuidade, principalmente em relação aos registros do nível do rio. Em contrapartida, a avaliação pluviométrica permitiu identificar a variabilidade da pluviometria, sendo o trecho mais a montante caracterizado por um regime de chuvas bastante elevado, em torno de 2.000 mm a média anual, enquanto o trecho de baixada com um regime abaixo de 1.500 mm. A correlação entre a análise pluviométrica e as ocorrências de desastres registradas pela defesa civil permitiu identificar e classificar os eventos mais impactantes, em diferentes níveis de emergências, tendo por base os recursos financeiros e humanos utilizados pelo órgão gestor bem como os danos causados nas comunidades ribeirinhas.

A avaliação da série histórica consistiu na duração da chuva, considerada para cada nível do rio e as diferentes intensidades. Foram contabilizados todos os eventos com acumulados superiores a 10 milímetros, sendo contabilizados mais de duzentos eventos de chuva, não necessariamente com ocorrência, no período de 2008 a janeiro de 2016, nas duas estações Capivari e na estação de Xerém. Os eventos foram separados de acordo com o nível registrado na estação do Capivari, seguindo a orientação de 75, 90, 100% da cota máxima e os transbordamentos, divididos nos quatro níveis operacionais, normalidade, atenção, alerta e alerta máximo. Depois de avaliada toda a série histórica disponível das duas estações, correlacionaram-se os eventos de chuva com as ocorrências da defesa civil (ano 2013 a 2016) e as notícias encontradas na mídia *online*. As ocorrências foram filtradas de modo a selecionar os eventos com informações de danos ou transtornos a bacia de estudo relacionadas às inundações.

Por possuir dois pontos de monitoramento da chuva, um a montante e outro próximo ao exutório da bacia, local de medição de nível, pode-se perceber uma tendência no escoamento do rio e seu tempo de resposta muito próximo ao tempo de concentração da bacia. Outra questão foi a avaliação dos eventos com maiores danos e que mais impactaram a bacia, para esta característica notou-se que em boa parte dos eventos registrados, este cenário ocorre

quando a chuva é generalizada e há registro de chuva intensa nas duas estações. Os eventos considerados extremos foram aqueles que causaram transtorno na cidade e que houve necessidade em mobilizar parte ou toda a equipe da defesa civil e outros órgãos municipais participantes, como: assistência social; planejamento e obras, saúde, etc. Eventos com registro de transbordamento da calha e nenhuma ocorrência associada no mesmo período constituíram apenas para as emissões de alerta como alto risco.

Ao decretar Situação de Emergência, o município reconhece e comprova para a União que não tem condições financeiras e recursos humanos para os danos e prejuízos causados pelo fenômeno natural. Sendo assim, os eventos associados a situação de emergência foram considerados desastres. Aqueles que indicaram óbitos e um número razoável de desalojados e desabrigados também foram caracterizados como desastre, em virtude principalmente das questões sociopolíticas em que o governo precisa prestar assistência à população atingida.

3.1.1 Análise hidrológica e avaliação dos eventos extremos

O planejamento para a gestão de risco deve considerar diferentes tempos de recorrência (TR), onde a probabilidade de ocorrência de um evento está relacionada ao (TR). Eventos com baixo tempo de recorrência tendem a provocar menores danos, enquanto eventos com maiores tempos de recorrência tem potencial para causar grandes prejuízos (MIGUEZ et al., 2015). No entanto, todos os períodos de retorno possíveis podem levar a danos e perdas econômicas. Estes geralmente são pequenos para inundações que ocorrem com frequência e altas em enchentes que são raras. Para avaliar o risco global de inundação em uma área, o risco é avaliado para um número selecionado de frequências de inundação. A partir desta avaliação, o risco global de inundação pode ser integrado e convertido a um provável risco anual de inundação, como um contributo significativo para os tomadores de decisão (GFDRR, 2017).

Para determinação dos eventos extremos, a equação de chuva determinada pela CPRM identificou a frequência e tempo de recorrência para estes eventos, sendo possível definir os principais eventos extremos que atingiram a bacia do rio Capivari. Para isto, fez-se as relações para os TR's de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos e também, ao tempo de duração da chuva em 24, 12, 10, 8, 6, 4, 2 e 1 horas e 30, 15, 10 e 5 minutos.

Os tempos de duração da chuva pré-estabelecidos são valores relacionados ao tempo de concentração da bacia e suas sub-bacias. Os intervalos de tempo permitem, no momento do monitoramento, ser possível avaliar o evento, de acordo com os acumulados de chuva, e fazer a previsão de um possível transbordamento, em conjunto com as condições meteorológicas. A Tabela 8 representa o resumo do ajuste estatístico de extremos por Gumbel (Anexo III).

Tabela 8 – Resumo da distribuição de Gumbel dos postos estudados na Bacia do rio Capivari

TR	Precipitação (mm)	
	Ponte de Ferro Capivari	Xerém-Mantiquira
2	66,17	98,73
5	98,61	146,52
10	120,09	178,16
15	132,21	196,02
20	140,70	208,52
25	147,23	218,14
50	167,37	247,80
100	187,36	277,24

Fonte: O Autor, 2018.

A partir dele foi possível gerar as correlações das curvas PDF, apresentadas graficamente e em tabela para ambas as estações (Tabela 9 e 10).

Tabela 9 – Relação PDF para a Estação de Xerém, Bacia do rio Capivari - RJ

Duração	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 15 anos	TR 20 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
5min (mm/h)	17.50	21.27	23.41	24.90	26.05	29.59	33.11
10min (mm/h)	27.79	33.79	37.18	39.55	41.37	47.00	52.58
15min (mm/h)	36.02	43.80	48.19	51.26	53.63	60.92	68.16
30min (mm/h)	41.68	50.68	55.76	59.32	62.06	70.49	78.87
1h (mm/h)	46.83	56.94	62.65	66.64	69.72	79.20	88.60
2h (mm/h)	51.46	62.57	68.84	73.23	76.61	87.03	97.37
4h (mm/h)	69.54	84.55	93.03	98.96	103.53	117.61	131.58
6h (mm/h)	119.21	144.95	159.48	169.65	177.48	201.61	225.56
8h (mm/h)	129.14	157.03	172.77	183.79	192.27	218.41	244.36
10h (mm/h)	135.77	165.08	181.63	193.21	202.13	229.61	256.89
12h (mm/h)	140.73	171.12	188.28	200.28	209.52	238.01	266.29
24h (mm/h)	165.57	201.32	221.50	235.63	246.50	280.01	313.28
diária	146.52	178.16	196.02	208.52	218.14	247.80	277.24

Fonte: O Autor, 2018.

Tabela 10 – Relação PDF para a Estação Ponte de Ferro Capivari, Bacia do rio Capivari - RJ

Duração	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 15 anos	TR 20 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
5min (mm/h)	11.77	14.34	15.79	16.80	17.58	19.99	22.37
10min (mm/h)	18.70	22.78	25.07	26.68	27.92	31.74	35.53
15min (mm/h)	24.24	29.52	32.50	34.59	36.20	41.15	46.06
30min (mm/h)	28.05	34.16	37.61	40.03	41.88	47.61	53.30
1h (mm/h)	31.52	38.38	42.25	44.97	47.05	53.49	59.88
2h (mm/h)	34.63	42.18	46.43	49.41	51.71	58.78	65.80
4h (mm/h)	46.80	56.99	62.75	66.78	69.88	79.43	88.92
6h (mm/h)	80.23	97.71	107.57	114.47	119.79	136.17	152.44
8h (mm/h)	86.91	105.85	116.53	124.01	129.77	147.52	165.14
10h (mm/h)	91.37	111.28	122.51	130.37	136.42	155.09	173.61
12h (mm/h)	94.71	115.35	126.99	135.14	141.41	160.76	179.96
24h (mm/h)	111.43	135.70	149.40	158.99	166.37	189.13	211.72
diária	98.61	120.09	132.21	140.70	147.23	167.37	187.36

Fonte: O Autor, 2018.

Para definição da frequência dos eventos e a criação do Banco de dados de desastres para a bacia do rio Capivari, utilizou-se a IDF elaborada pela CPRM apresentada neste trabalho, incluído na região 3, seus coeficientes são indicados na Tabela 11.

Tabela 11 – Coeficientes para a região 3, Bacia do rio Capivari - RJ

Duração	μ						
	2	5	10	20	50	75	100
1	0.9532	1.1811	1.3578	1.5648	1.9088	2.0946	2.2415
2	0.9377	1.1845	1.3873	1.6344	2.0634	2.3028	2.4955
3	0.9339	1.1866	1.3977	1.6577	2.1147	2.3721	2.5802
4	0.9309	1.1857	1.4005	1.6668	2.138	2.4049	2.6213
6	0.92425	1.1882	1.41505	1.7001	2.2121	2.50535	2.74465
8	0.9176	1.1907	1.4296	1.7334	2.2862	2.6058	2.868
10	0.91647	1.19323	1.4357	1.74437	2.3067	2.63213	2.8992
12	0.91533	1.19577	1.4418	1.75533	2.3272	2.65847	2.9304
14	0.9142	1.1983	1.4479	1.7663	2.3477	2.6848	2.9616
24	0.9146	1.2144	1.4719	1.7951	2.3752	2.7071	2.9778

Fonte: CPRM, 2000.

Para a estação da Ponte de Ferro Capivari foi considerada uma média anual da precipitação em 1.400 milímetros, com a relação IDF na Tabela 12 e Gráfico 11 para a

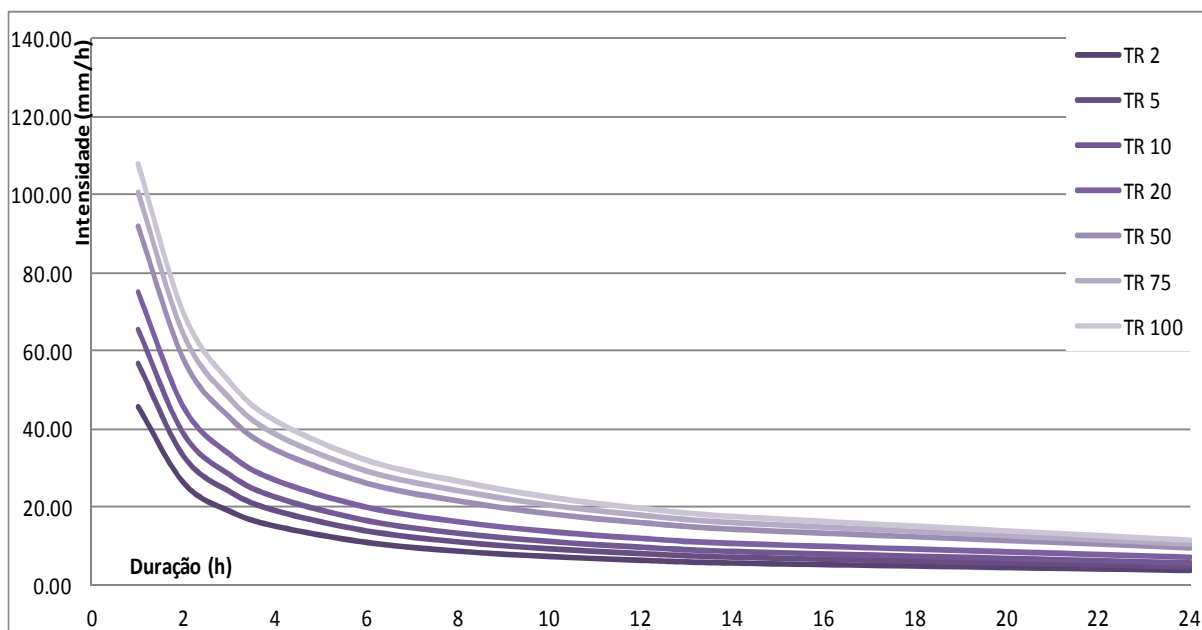
estação de Xerém 2.100 milímetros e a IDF na (Tabela 13 e Gráfico 12), ambos foram definidos de acordo com a série histórica analisada.

Tabela 12 – Relação IDF para a Estação de Ponte de Ferro Capivari, Bacia do rio Capivari

Duração	TR						
	2	5	10	20	50	75	100
1	45.88	56.85	65.35	75.32	91.87	100.82	107.89
2	26.12	33.00	38.64	45.53	57.48	64.15	69.51
3	18.89	24.00	28.27	33.53	42.78	47.99	52.20
4	15.01	19.12	22.58	26.87	34.47	38.77	42.26
6	10.82	13.91	16.57	19.90	25.90	29.33	32.13
8	8.56	11.11	13.34	16.17	21.33	24.31	26.76
10	7.17	9.34	11.23	13.65	18.05	20.59	22.68
12	6.20	8.10	9.77	11.89	15.77	18.01	19.86
14	5.49	7.19	8.69	10.60	14.09	16.11	17.77
24	3.59	4.76	5.77	7.04	9.31	10.62	11.68

Fonte: O Autor, 2018.

Gráfico 11 – Relações IDF para a Estação de Ponte de Ferro Capivari, Bacia do rio Capivari



Fonte: O Autor, 2018.

As relações IDF podem ser vistas ainda como as primeiras análises para o dimensionamento das vazões e assim prever as alturas de nível dos rios e os potenciais transtornos causados a cada frequência dessa ocorrência. No monitoramento, ao detectar uma

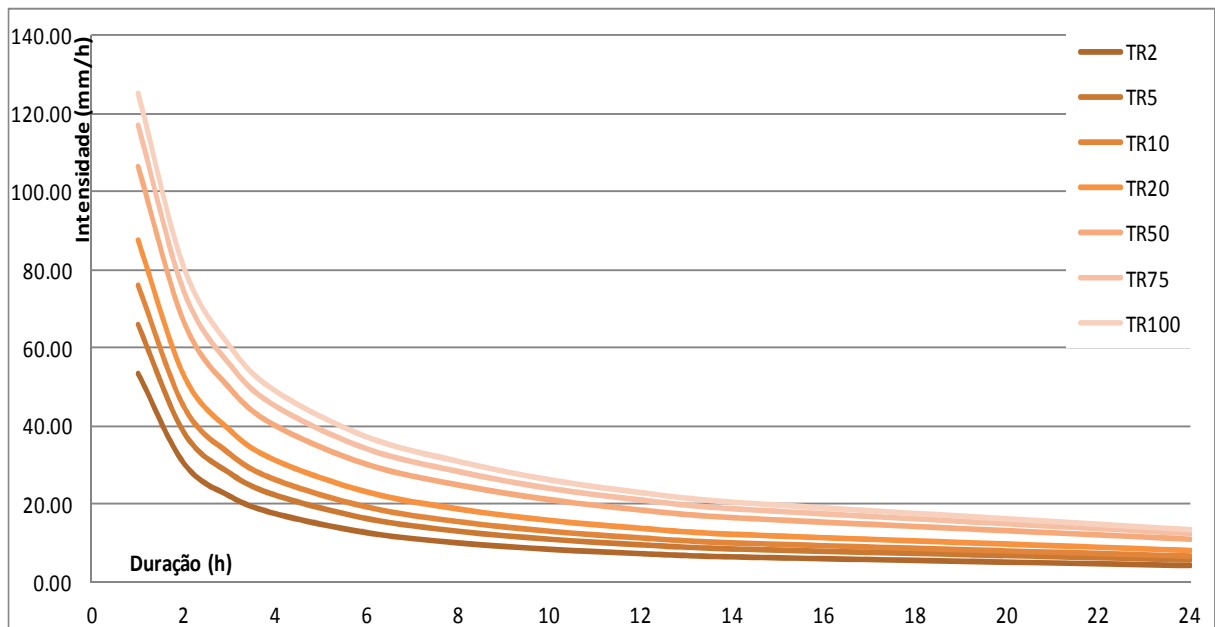
intensidade próxima ao tempo de recorrência de cinquenta anos, por exemplo, observa-se sua relevância e a alta possibilidade de causar danos.

Tabela 13 – Relação IDF para a Estação Xerém, Bacia do rio Capivari - RJ

Duração	TR						
	2	5	10	20	50	75	100
1	53.24	65.97	75.84	87.40	106.62	116.99	125.20
2	30.31	38.29	44.85	52.83	66.70	74.44	80.67
3	21.92	27.86	32.81	38.91	49.64	55.69	60.57
4	17.42	22.18	26.20	31.18	40.00	44.99	49.04
6	12.56	16.14	19.23	23.10	30.05	34.04	37.29
8	9.94	12.89	15.48	18.77	24.75	28.21	31.05
10	8.32	10.83	13.04	15.84	20.94	23.90	26.32
12	7.20	9.40	11.34	13.80	18.30	20.90	23.04
14	6.37	8.34	10.08	12.30	16.35	18.69	20.62
24	4.16	5.53	6.70	8.17	10.81	12.32	13.55

Fonte: O Autor, 2018.

Gráfico 12 – Relações IDF para a Estação de Ponte de Ferro Capivari, Bacia do rio Capivari



Fonte: O Autor, 2018.

Através das curvas IDF plotadas, extraíram-se as informações do tempo de recorrências para os eventos. Vinte eventos de chuva possuem ocorrências, dentro deles onze especificamente impactaram a bacia do rio Capivari, com aumento do nível do rio e

transtornos no cotidiano das comunidades, seja indicado pelo sistema da defesa civil (boletins de ocorrência) ou pelas notícias encontradas na mídia. As Tabelas 14 e 15 demonstram essa relação, sendo considerada para o tempo de recorrência a maior intensidade de chuva ininterrupta dentro do evento como um todo. A principal função desta análise foi entender o comportamento hidrológico da bacia, principalmente no tempo de resposta quando se inicia a chuva até o transbordo.

Tabela 14 – Eventos na estação Capivari.

Evento	Data	02/01/2013	17/03/2013	15/01/2016	30/12/2009	04/12/2009	11/11/2009
Duração	hora	13.25	6.75	7.00	13.50	4.25	8.75
P_{acu} 24h	mm	83.60	76.20	72.20	163.60	32.40	152.00
Intensidade	mm/h	6.26	11.29	10.31	12.12	7.62	17.37
TR	anos	3	5	4	33	≤ 1	27
NA	m	5,24	5,16	5,03	4,87	4,75	4,57
Evento	Data	02/01/2016	20/01/2013	05/04/2010	26/01/2013	15/01/2010	17/01/2013
Duração	hora	2.25	2.25	7.75	1.00	4.25	1.75
P_{acu} 24h	mm	16.40	30.80	82.40	13.40	50.80	16.60
Intensidade	mm/h	7.29	13.69	10.63	13.40	11.95	9.49
TR	anos	≤ 1	≤ 1	4	≤ 1	≤ 1	≤ 1
NA	m	4,26	4,18	4,14	4,13	3,88	3.47

Legenda: P_{acu}: Precipitação acumulada; TR: Tempo de recorrência; NA: nível d'água.

Fonte: O Autor, 2018.

Tabela 15 – Eventos na estação Xerém.

Evento	Data	02/01/2013	17/03/2013	15/01/2016	30/12/2009	04/12/2009	11/11/2009
Duração	hora	12.00	8.50	7.75	13.75	11.75	10.00
P_{acu} 24h	mm	200.80	118.80	69.40	96.80	149.20	77.40
Intensidade	mm/h	16.73	13.98	8.95	7.04	12.70	7.74
TR	anos	46	7	≤ 1	3	16	≤ 1
NA*	m	5,24	5,16	5,03	4,87	4,75	4,57
Evento	Data	02/01/2016	20/01/2013	05/04/2010	26/01/2013	15/01/2010	17/01/2013
Duração	hora	3.75	1.75	7.75	6.75	2.00	0.75
P_{acu} 24h	mm	78.60	23.20	82.40	41.60	30.40	41.20
Intensidade	mm/h	20.96	13.26	10.63	6.16	15.20	54.93
TR	anos	4	≤ 1	3	≤ 1	≤ 1	2
NA*	m	4,26	4,18	4,14	4,13	3,88	3.47

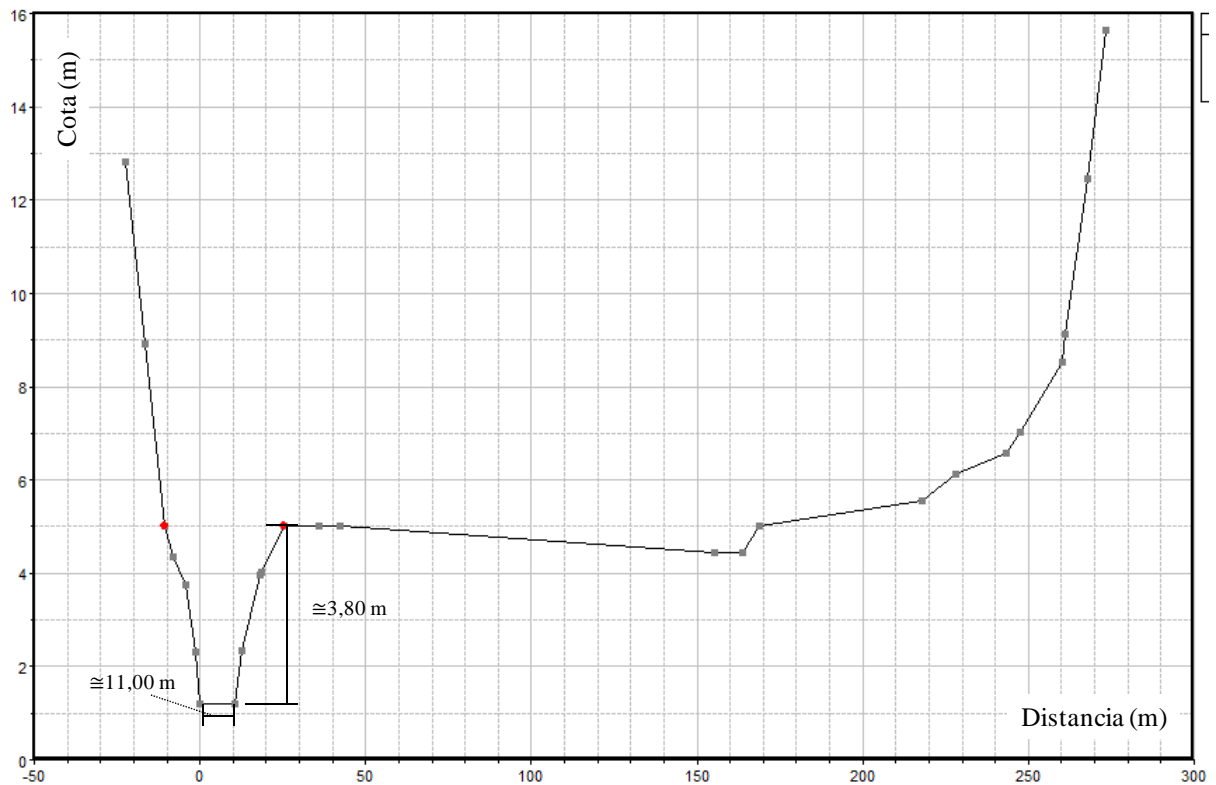
*o NA refere-se a estação Capivari.

Legenda: P_{acu}: Precipitação acumulada; TR: Tempo de recorrência; NA: nível d'água.

Fonte: O Autor, 2018.

Foram avaliados 11 eventos com maior impacto gerado na bacia, seja pela quantidade de ocorrências da defesa civil e/ou pelos danos acusados nas mídias online, associados com a informação do TR para cada evento. O conjunto de informações referente a cada um dos eventos e suas peculiaridades é apresentado na ordem crescente do nível do rio. A seção hipotética para o local de monitoramento é apresentada a fim de relacionar o nível do rio com os eventos mencionados (Figura 26). A cota de transbordo indicada pelo SAC / INEA na estação do Capivari é de 3,80 metros, porém esta cota não representa o transbordamento na seção hipotética, uma vez que esta seção foi extraída do levantamento topográfico e não de um levantamento topobatimétrico.

Figura 26 – Seção hipotética do ponto de monitoramento do rio Capivari.

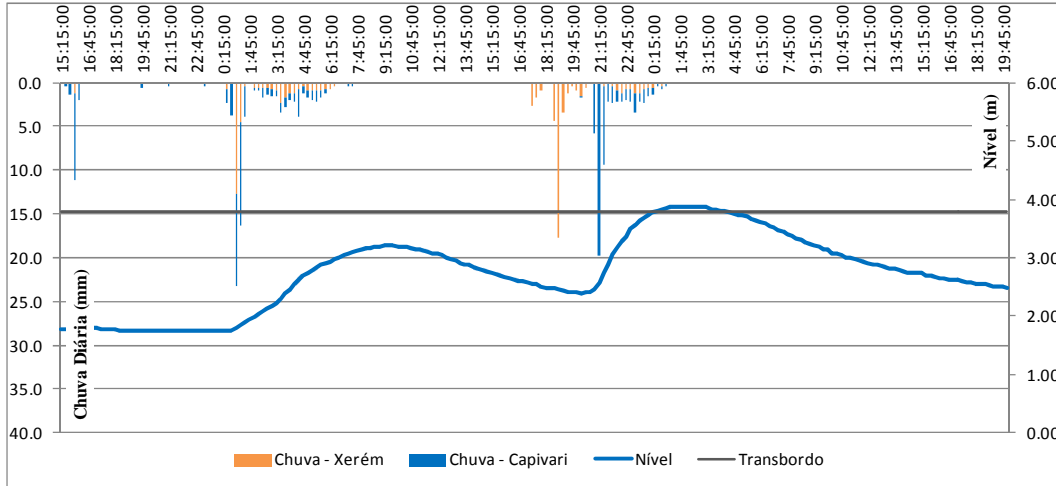


Fonte: O Autor, 2018.

O primeiro evento avaliado foi do dia 15 de janeiro de 2010 (Gráfico 13) onde o nível do rio Capivari chegou a 3,88 metros e com os danos causados. Houve interrupção de energia elétrica em um hospital e pacientes foram transferidos (fonte: *midianews*). O início da chuva ocorreu às 15 horas e 30 minutos do dia 14, na estação Ponte de Ferro Capivari, sua maior intensidade foi de 13,40 mm/h logo no início do evento e um acumulado de 115 mm em 34

horas. A maior intensidade da estação de Xerém foi de 15,20 mm em duas horas e acumulou 85,20 mm em 34 horas.

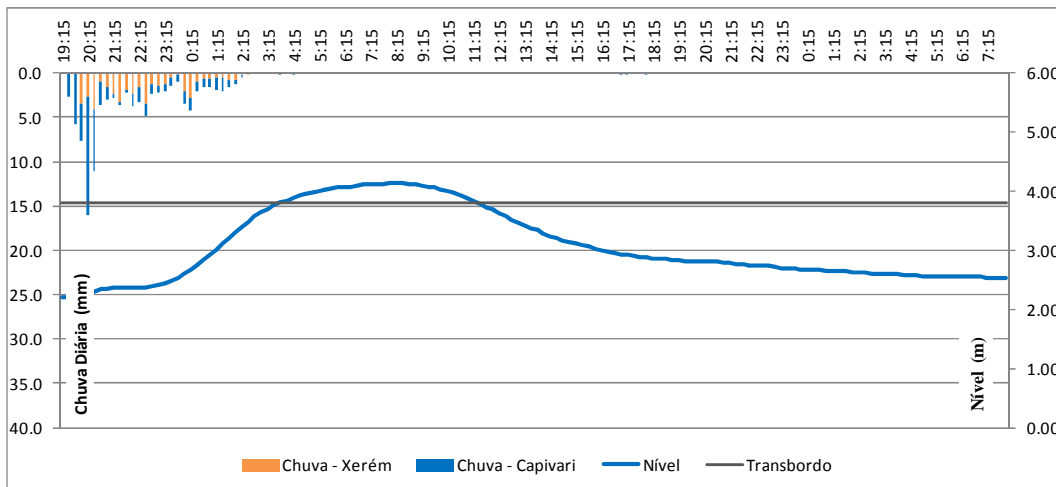
Gráfico 13 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 15/01/2010).



Fonte: O Autor, 2018.

Com acumulado de 57,40 mm, na estação de Xerém, e 41,60 mm na estação Capivari em 7,25 horas, no dia 27/01/2013 (Gráfico 14), o nível atingiu 4,13 metros e teve mais de 09 ocorrências registradas devido às chuvas na bacia. Apesar da cota de cheia registrada ter sido maior que o evento passado, os danos causados foram inferiores. Percebe-se que as intensidades da chuva foram menores, assim como o tempo de duração da mesma, podendo justificar a diferença entre os eventos.

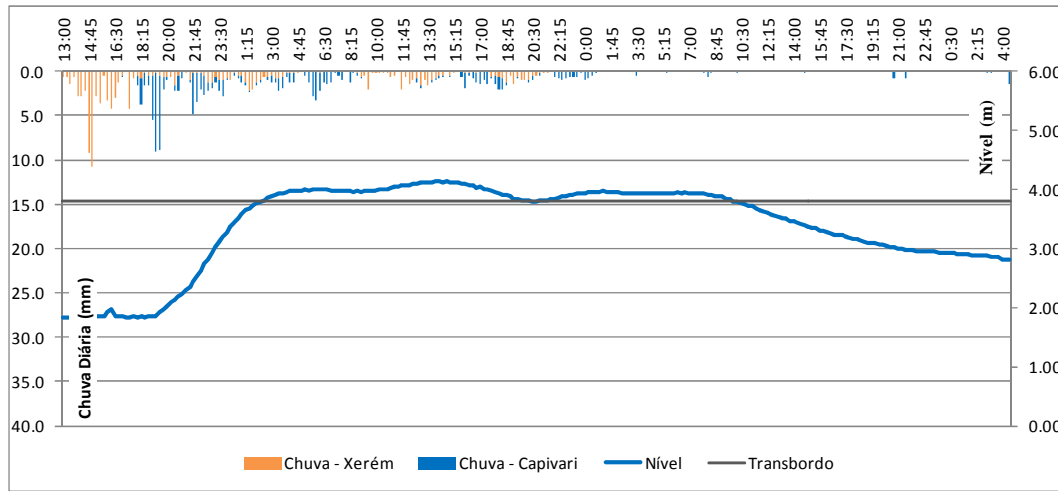
Gráfico 14 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 27/01/2013).



Fonte: O Autor, 2018.

De acordo com os registros da estação Capivari, o nível atingiu sua cota de 4,14 metros no dia 06 de abril de 2010 (Gráfico 15), logo no início da tarde, depois de registrar acumulado de 113,20 mm em 32,75 horas. Na estação de Xerém o acumulado foi de 92,80 mm no mesmo intervalo. Pode-se perceber a diferença em relação ao primeiro evento, que apesar de volumes acumulados semelhantes e intervalo próximo, nesta data a chuva foi constante e acarretou em mais de 600 ocorrências e 187 desabrigados, segundo o G1-Globo.

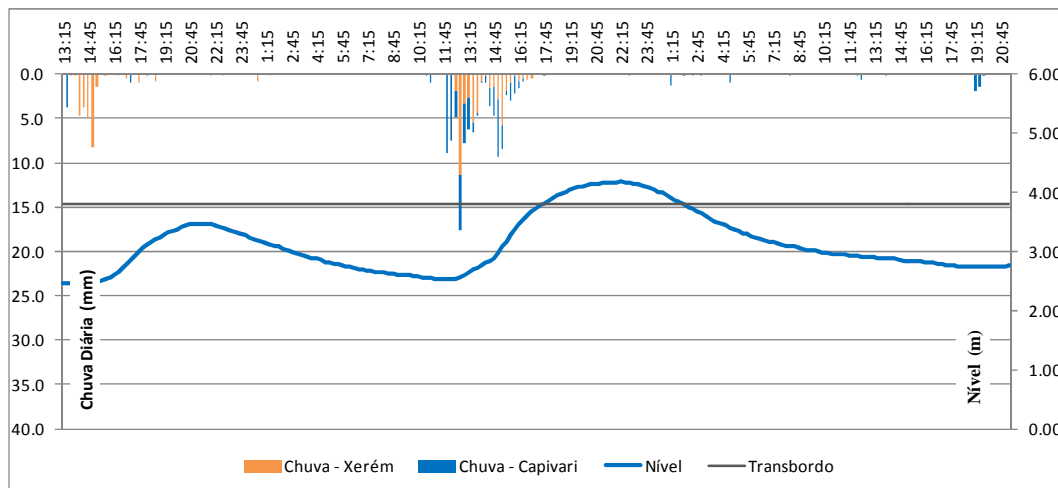
Gráfico 15 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (06/04/2010).



Fonte: O Autor, 2018.

No dia 21/01/2013 (Gráfico 16) o nível atingiu 4,18 metros na estação do Capivari e somou uma chuva de 125 mm em 27,75 horas, já na estação de Xerém, nesta duração o acumulado foi de 73,80 mm e com isso, o valor de ocorrências ultrapassou o valor de 30.

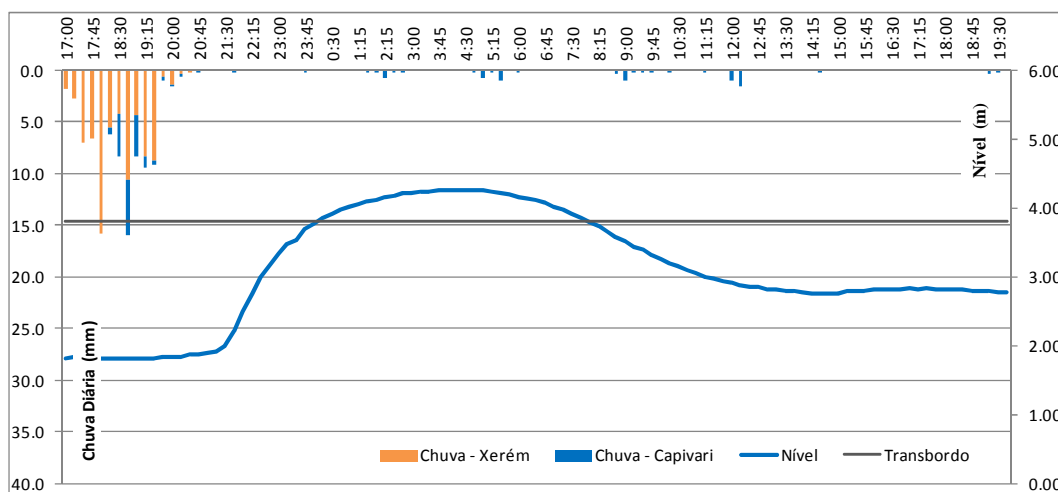
Gráfico 16 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (21/01/2013).



Fonte: O Autor, 2018.

Com o tempo de recorrência de cinco anos, o evento analisado ocorreu no dia 02/01/2016 (Gráfico 17) o nível do Capivari chegou a 4,26 metros, considerando o nível de transbordo em 3,80 metros, aproximadamente 0,50 centímetros acima. Este teve mais de dez ocorrências associadas à inundação, principalmente na região de Xerém. Seu intervalo foi de 3,75 horas e 78,60 milímetros acumulados, na estação de Xerém. Neste caso, a chuva na estação do Capivari foi pouco significativa com acumulado de 16,40 milímetros em duas horas.

Gráfico 17 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 02/01/2016).

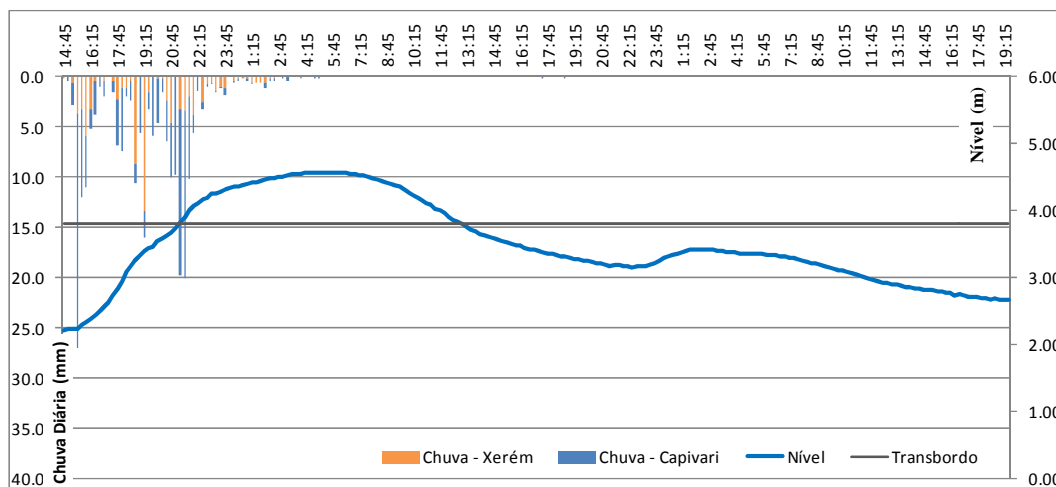


Fonte: O Autor, 2018.

Em 11/11/2009 (Gráfico 18), com transbordo do rio no nível 4,57, a cidade decretou situação de emergência devido à quantidade de desabrigados (300) e desalojados (150), segundo informação do globo.com, entre diversos transtornos na cidade. O acumulado na estação do Capivari chegou a 77,60 mm e em Xerém de 153,80 mm, ambos em doze horas. Com um pico de chuva de 30 minutos e uma intensidade de 30 mm/h, além de diversos registros de chuva de intensidade alta, de 15 em 15 minutos. Isto configurou um tempo de recorrência de trinta anos.

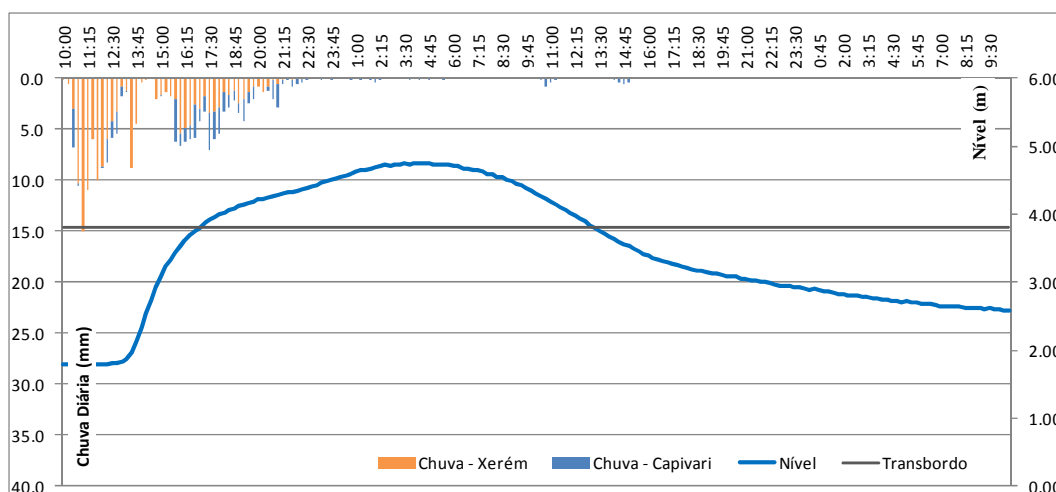
Em 2009, muitos foram os eventos com alta intensidade, no dia 04/12/2009 e tempo de recorrência de 19 anos, o nível do Capivari chegou a 4,75 metros, quase um metro acima da cota de transbordo, o acumulado nessa estação foi de 49,80 mm em doze horas. Na estação de Xerém, neste período, o acumulado foi de 149,20 mm e além de danos e prejuízos na cidade, foram registradas três mortes (fonte: Globo.com), visto no Gráfico 19.

Gráfico 18 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 11/11/2009).



Fonte: O Autor, 2018.

Gráfico 19 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 04/12/2009).



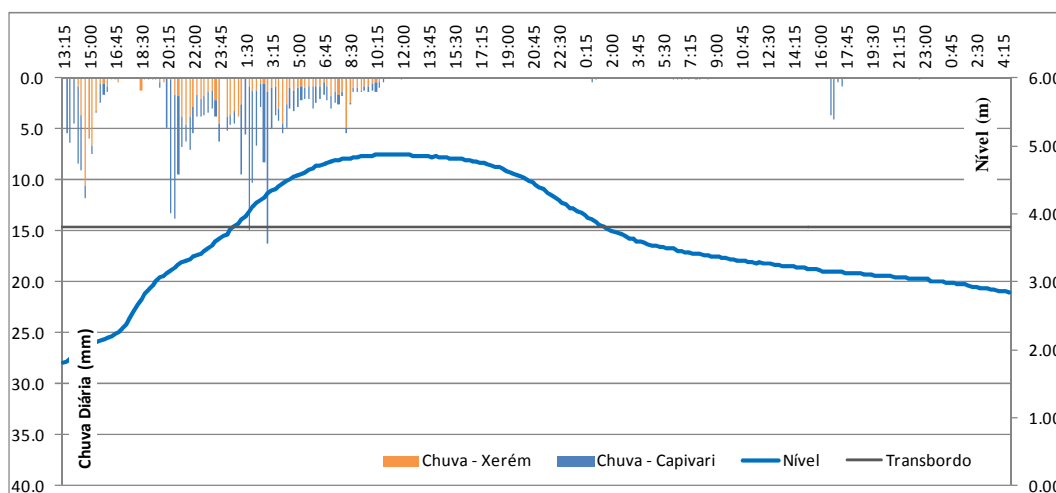
Fonte: O Autor, 2018.

Neste ano ainda, o evento de 30 de dezembro teve na estação do Capivari um acumulado de 132,60 mm e em Xerém de 203,20 mm, em 21,50 horas. Com isso, o município decretou situação de emergência devido aos prejuízos causados de mais de 800 desabrigados e 1600 desalojados. O nível do rio Capivari chegou a 4,87 metros, e o tempo de recorrência superou os trinta e cinco anos (Gráfico 20).

Com mais de 50 ocorrências espalhadas pelo município, o evento do dia 1/01/2016, apresentou diversos transtornos para a cidade durante a semana do evento iniciado às 15 horas e 30 minutos do dia 15. Na estação Ponte de Ferro Capivari, o maior acumulado foi de 37,8 mm de chuva em uma hora e acumulado de 122,20 mm em 19,75 horas, o nível do rio ultrapassou a cota de 05 (cinco) metros, com transbordo superior a 1,20 metros (Gráfico 21).

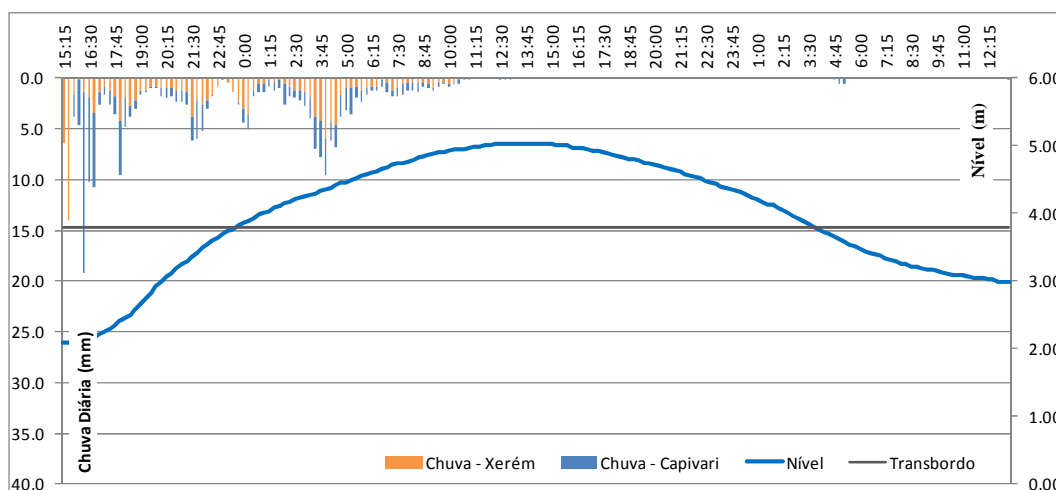
Em Xerém o acumulado foi de 130,60 mm em 19,75 horas e o tempo de recorrência chegou a quatro anos. Este evento foi incluído, principalmente devido à conformação da gestão de risco inserida no município, e o estabelecimento do gabinete de gestão de crise, criando uma gestão participativa entre as secretarias municipais trabalhando em conjunto.

Gráfico 20 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 30/12/2009).



Fonte: O Autor, 2018.

Gráfico 21 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 16/01/2016).

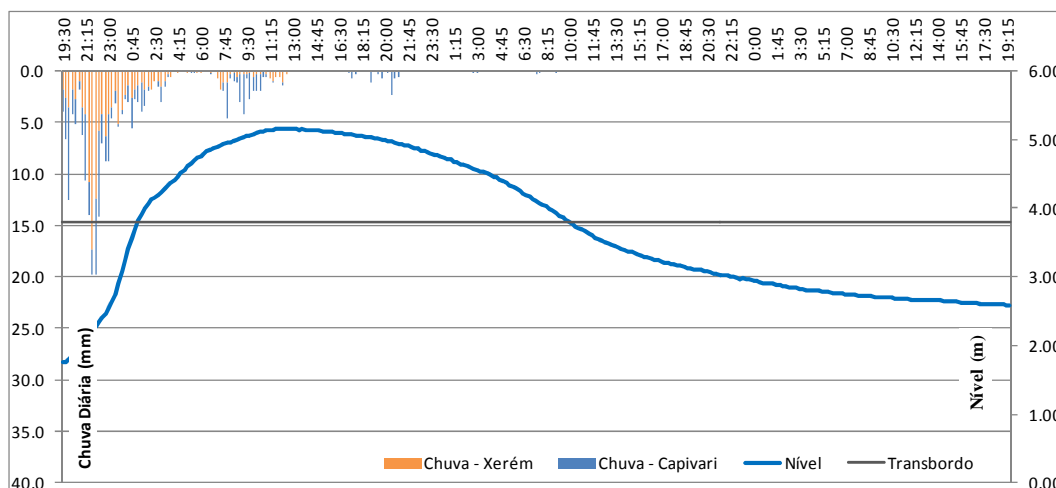


Fonte: O Autor, 2018.

Os dois eventos do ano de 2013 tiveram o maior registro no nível d'água atingindo mais de 5 metros. O evento do dia 17 de março (Gráfico 22) decretou situação de emergência por apresentar mais de 300 desalojados e 149 desabrigados, e mais de 20 ocorrências para esta data. Com o pico de nível em 5,16 metros, a estação do Capivari registrou 133,80 mm e em Xerém 100,80 mm, ambos em 17,25 horas. O tempo de recorrência de nove é bastante inferior

aos demais eventos em que foi decretado situação de emergência, porém seus danos foram bastante consideráveis e cabe esclarecer que neste, a bacia vizinha, do rio Saracuruna, teve registros maiores de chuva, podendo ter influenciado a bacia do rio Capivari.

Gráfico 22 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 17/03/2013).



Fonte: O Autor, 2018.

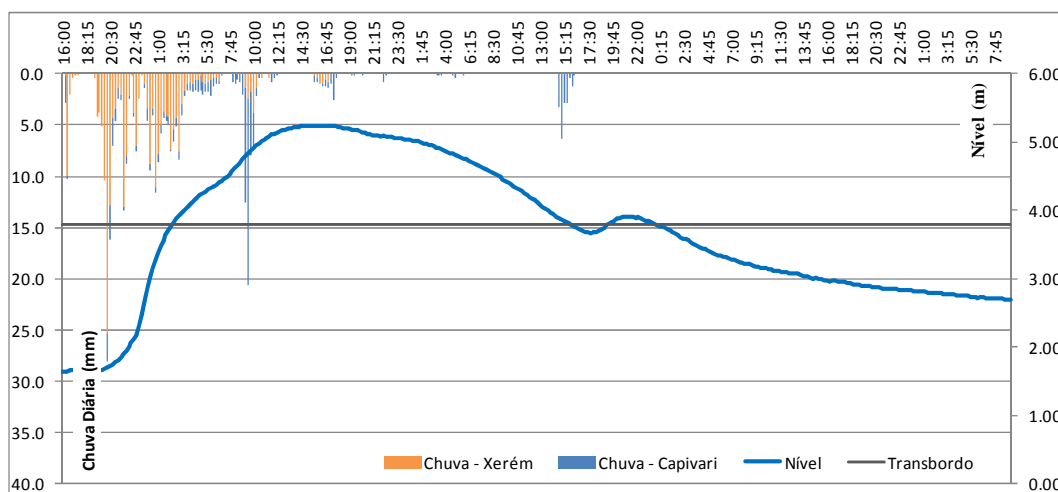
O maior tempo de recorrência registrado na série, de 46 (quarenta e seis) anos, em 02/01/2013 foi declarado de Situação de Emergência na região do 4º Distrito (Xerém), cujo cenário apresentou situação anormal com solicitação de auxílio complementar do Governo para ações de socorro e recuperação na região afetada. Caracterizado como desastre de natureza hidrológica do tipo enxurrada (inundação brusca) pela classificação e codificação brasileira de desastres (COBRADE), o carregou elevado volume de escoamento superficial com alta velocidade e energia provocada por chuva intensa e concentrada, sobretudo na parte alta da bacia.

Este evento teve aproximadamente 500 ocorrências e representa o maior desastre ocorrido na bacia do rio Capivari. Afetou cerca de 100 mil pessoas, com mais de 1400 desalojados e desabrigados, 60 feridos e 2 mortos (CARVALHO e DOMINGUES, 2013). Em pouco mais de 24 horas, o acumulado em Xerém chegou a 229,40 mm e no Capivari 89,60 mm (duração de 25 horas). Os picos de 15 minutos contribuíram para a alta intensidade da chuva, além do maior acumulado, as 20:15 do dia 02 a estação de Xerém registrou em 15 minutos uma precipitação de 25,40 mm, representando uma intensidade de 101,60 mm/h, o maior registro da série história, no período estudado, este pode ser visto no Gráfico 23.

Conforme exposto por Vissirini (2016), após o pico horário de 53,8 mm, próximo às duas da manhã do dia três, com 24,8 mm, o desastre foi desencadeado. O nível do rio

Capivari, iniciou sua “onda de cheia” na virada do dia, aproximadamente após 05 (cinco) horas do início do evento, atingindo a cota máxima de 5,24 metros, perto das dezesseis horas do dia três, com mais de 02 (dois) metros acima do nível normal do rio. Ainda, pode-se verificar que o evento de janeiro de 2013 apresentou os maiores acumulados e intensidade de chuva, isto justifica de alguma forma, a dimensão do fenômeno com mortes e danos em toda a cidade, representados pelo alto número de ocorrências. De maneira geral, nota-se que os quatro eventos que decretaram situação de emergência registraram inúmeros registros de 15 min superiores a 10 mm, enquanto os demais ficaram abaixo deste valor, em sua maioria.

Gráfico 23 – Chuva e Nível nas Estações da Bacia do rio Capivari (Dia 02/01/2013).



Fonte: O Autor, 2018.

Ao considerar o intervalo utilizado para o estudo dos limiares de emissão de alerta, os valores de duração da chuva obtidos nestes onze eventos selecionados demonstram que a metodologia é considerada válida, uma vez que a média para tais foi de aproximadamente 20 horas. Com a avaliação identificou-se também que para um evento de magnitude alta e que cause transtorno na cidade, o conjunto de acumulados e intensidade devem ser altos. Muitas vezes, a duração da chuva ultrapassa 48 horas e com isso apresenta maiores acumulados, porém as intensidades horárias neste período são baixas, isto demonstra que a bacia hidrográfica apresenta capacidade de resposta boa para este cenário.

Em contrapartida, quando a intensidade de chuva é alta e o tempo de duração é curto, há a elevação significativa do nível do rio e por vezes transtornos mais brandos na cidade. Ainda, percebe-se que dentre os eventos estudados, a duração do evento ultrapassa o valor de 06 horas, o que contribui para análises futuras, uma vez que o tempo de concentração da bacia se aproxima deste valor, caracterizando eventos com duração inferior a este valor menos

danosos para a bacia. Diante disso, afirma-se que o cálculo do tempo de concentração é o parâmetro que permite a relação entre a precipitação, intensidade e as ações operacionais da defesa civil. A relação entre o tempo de concentração e o tempo de ação atende aos fatores ambientais e sociais, ambos envolvidos em um desastre (GOERL *et al.*, 2005). Esta relação atende aos limiares de acionamento das sirenes, uma vez que o tempo de concentração da bacia determina o tempo de resposta para as ações de defesa civil para um evento específico.

3.2 Mapeamento das áreas suscetíveis à desastres hidrológicos

O monitoramento geohidrometeorológico e a definição dos limiares de emissão de alerta estão intimamente relacionados ao conhecimento das vulnerabilidades encontradas na região, assim com suas características naturais e impactos dos fenômenos associados. A aplicação da modelagem no controle e minimização das cheias na bacia do rio Capivari prevê o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação, permitindo a criação de um cenário ótimo para o monitoramento, como ferramenta de apoio à tomada de decisão. A modelagem hidrológica definiu as vazões utilizadas na simulação hidráulica, onde as características consideradas e o quadro geral das descargas para a bacia do rio João Pinto e do Rio Capivari até o ponto de monitoramento (Tabelas 16 e 17).

Tabela 16 – Características físicas das bacias do rio Capivari e João Pinto.

Rio / Canal	Área (Km²)	Talvegue (Km)	CN	i (%)	Tc (h)
Capivari	93.62	26.15	48	1.56	4.19
Joao Pinto	24.10	10.79	45	2.83	1.74

Fonte: O Autor, 2018.

O Mapa de Suscetibilidade à inundação, no trecho do rio João Pinto – afluente do rio Capivari – pode ser visto na Figura 27, onde são apresentadas as manchas de inundação correspondentes ao tempo de recorrência de 10, 20, 50 e 100 anos, conforme as vazões determinadas nos estudos hidrológicos. Os resultados específicos da modelagem hidráulica para o trecho mapeado encontram-se no Anexo IV, sendo possível verificar a tabela de resultados, as seções transversais e perfil longitudinal do trecho extraídas do HEC-RAS.

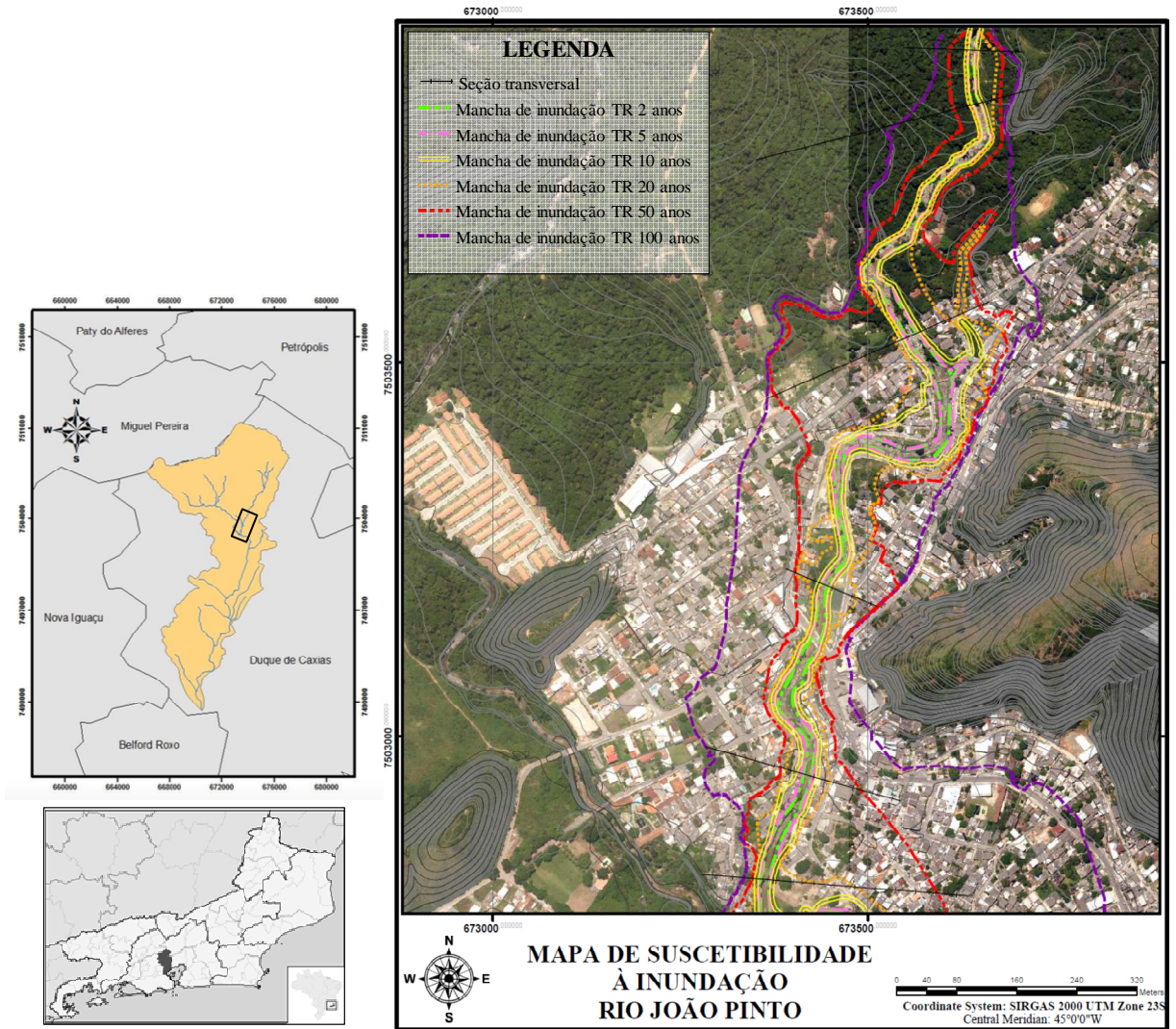
O mapa de áreas suscetíveis à inundação delimita as áreas prioritárias para subsidiar as ações de planejamento e resposta da defesa civil e um informativo para gestores e diferentes setores do poder público. As simulações realizadas permitiram o avanço do mapeamento de áreas suscetíveis à inundação e futuramente para o mapeamento de risco da bacia. A modelagem hidrodinâmica possibilita a maior eficiência no momento do monitoramento *now casting*, uma vez que se entende melhor o comportamento hidráulico do rio e o impacto de determinada chuva. Além disso, o mapeamento identificou as áreas prioritárias no momento da desocupação da população. Neste aspecto, com as simulações, é possível utilizar a relação nível *versus* vazão como subsídio à emissão de alertas na bacia do rio Capivari, uma vez que se torna viável relacionar também os valores de nível com a precipitação.

Tabela 17 – Resultado da modelagem hidrológica para as bacias do rio Capivari e João Pinto, referente a intensidade pluviométrica (I_{TR}) e a vazão (Q_{TR}) para diferentes períodos de retorno (TR).

Rio	Capivari	João Pinto
I_{10} (mm/h)	17.90	44.85
Q_{10} (m ³ /s)	43.83	13.64
I_{20} (mm/h)	21.50	52.83
Q_{20} (m ³ /s)	82.15	27.16
I_{50} (mm/h)	27.98	66.70
Q_{50} (m ³ /s)	171.83	60.82
I_{100} (mm/h)	34.71	80.67
Q_{100} (m ³ /s)	286.75	104.49

Fonte: O Autor, 2018.

Figura 27 – Mapa de suscetibilidade à inundação no rio João Pinto.



Fonte: O Autor, 2018.

3.3 Limiares de emissão de alerta

De acordo com o PMRR do ano de 2013 e estudos mais recentes elaborados por LUZ BARCELLOS *et al.* (2015); VISSIRINI *et al.* (2016) e OHNUMA *et al.* (2016), a respeito dos eventos que causaram danos na cidade de Duque de Caxias-RJ, além da atualização do mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e avaliação do Sistema de Alerta de Cheias do INEA, respectivamente, o presente estudo dá sequência aos estudos realizados para a bacia do rio Capivari e objetiva a criação dos limiares de emissão de alerta para inundação, com isso, aprimorando o monitoramento e conseqüentemente, o apoio à decisão, com a antecipação dos eventos que causam transtorno a população.

Com os quatro níveis de alerta e seus limiares de níveis do rio definidos, foi possível realizar a verificação e obtenção dos limiares de chuva, uma vez que quanto maior a antecipação do aviso, maior o tempo para retirada da população e menores os danos causados. Outra questão levantada quanto aos limiares de chuva é que poucos são os pontos de monitoramento do rio, dificultando a assertividade do alerta. Em contrapartida, os alertas relacionados à chuva permitem a regionalização destes para toda a região hidrográfica. As estações do INEA, Ponte de Ferro Capivari e Xerém foram avaliadas individualmente. A Tabela 18 apresenta a síntese das duas estações.

Tabela 18 – Estações analisadas do SAC (Ponte de Ferro Capivari e Xerém).

Estação	Tipo	Série		Coordenadas		Medição – Situação atual
		Início	Fim	Latitude	Longitude	
Ponte de Ferro Capivari	Hidrológica	2008	2016	22°40'03"S	43°20'03"W	Chuva – Operante Nível – Manutenção
Xerém	Pluviométrica	2008	2016	22°35'06"S	43°18'20"W	Chuva – Operante

Fonte: Alerta de Cheias (INEA).

Após minuciosa análise dos dados pluviométricos em ambas as estações, dentro de um universo de mais de 200 eventos de chuva, para determinação dos limiares de chuva na bacia do rio Capivari foram utilizados pouco mais de 90 episódios de chuva, desconsiderando aqueles que registraram acumulado inferior a 40 mm de chuva para a visualização gráfica. Os dados tratados correspondem ao intervalo do ano de 2008 a janeiro de 2016, uma vez que após este período a estação de nível ficou inoperante. A partir das medições de níveis e os

limites para cada estágio já determinados, chegou-se ao quantitativo de eventos para cada limiar (Tabela 19). A Tabela 20 indica as datas, ocorrências dos eventos selecionados e sua classificação dentro dos níveis de emergência, vistos anteriormente. Os níveis de emergência são indicativos para os impactos causados na cidade. Os níveis do rio apresentados na Tabela 14, referentes aos dados coletados na estação do Capivari foram plotados na curva chave feita para esta mesma estação (Gráfico 24).

Tabela 19 – Quantidade de eventos para cada estágio definido.

Estágio	nº de eventos de chuva	Intervalo	
		Nível (m)	%
Normalidade	27	até 2,80	até 75
Atenção	32	2,81 a 3,40	75 a 90
Alerta	14	3,41 a 3,80	90 a 100
Alarme	25	> 4,20	acima de 100

Fonte: O Autor, 2018.

Tabela 20 – Eventos com registro de ocorrência na Bacia do rio Capivari, RJ.

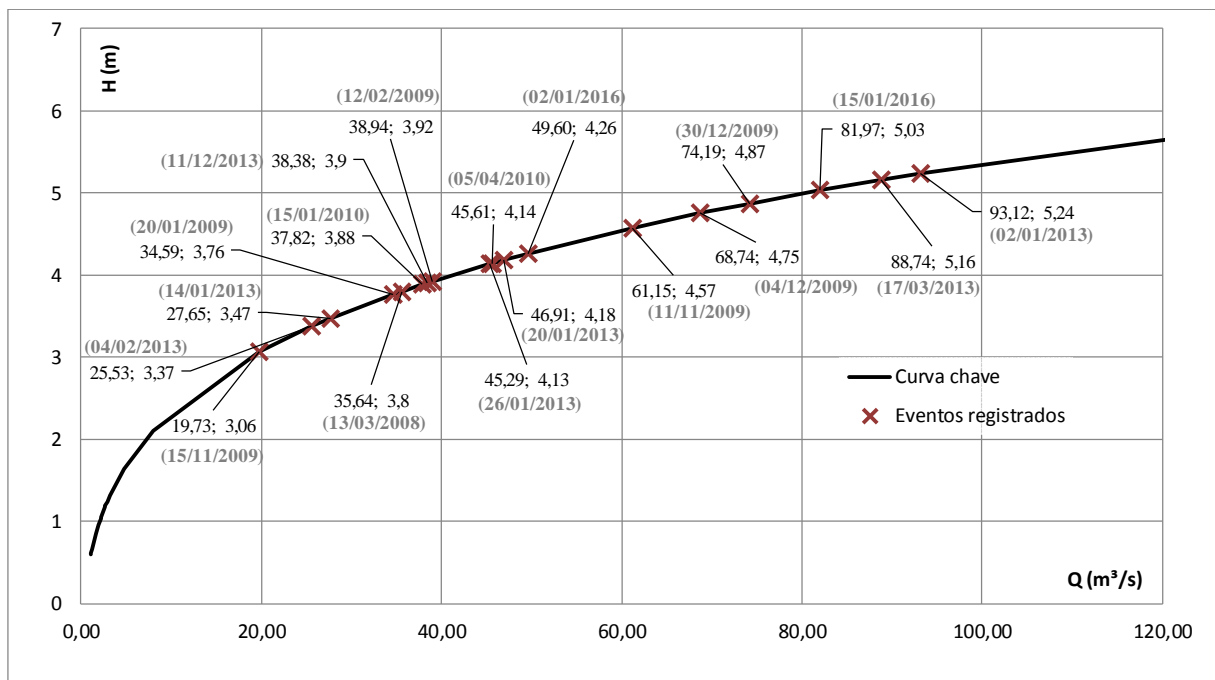
Data	Nível (m)	Ocorrências			
		Tipo	Qtidade	N	Obs.:
13/03/2008	3,80	Jornal	-	-	
20/01/2009	3,76	Jornal	-	-	
12/02/2009	3,92	Jornal	-	01	
11/11/2009	4,57	Jornal	-	03	150 Desalojados; 300 Desabrigados
15/11/2009	3,06	Jornal	-	-	
04/12/2009	4,75	Jornal	-	02	3 Mortes
30/12/2009	4,87	Jornal	-	03	865 Desabrigados; ≥1600 Desalojados
15/01/2010	3,88	Jornal	-	02	Parte da cidade sem energia elétrica
05/04/2010	4,14	Jornal	639	03	187 Desabrigados
02/01/2013	5,24	Jornal/BO	488	03	≥ 1000 Desalojados; 478 Desabrigados; 01 Morte
14/01/2013	3,47	BO	33	01	
17/01/2013	3,47	BO	11	-	
20/01/2013	4,18	BO	32	02	
26/01/2013	4,13	BO	9	02	
04/02/2013	3,37	BO	15	-	

Data	Nível (m)	Ocorrências			
		Tipo	Qtidade	N	Obs.:
17/03/2013	5,16	Jornal/BO	24	03	347 Desalojados; 149 Desabrigados
11/12/2013	3,90	Jornal	-	01	
02/01/2016	4,26	BO	11	01	
15/01/2016	5,03	Jornal/BO	53	02	

Fonte: O Autor, 2018.

Do total de dezenove eventos com ocorrências registradas, seja por jornal ou boletins da defesa civil, quatro destes impactaram a cidade de maneira que entrasse em Situação de Emergência e com isso, houvesse a necessidade de ajuda do Estado e da União, classificando-as em nível de emergência 03 (N3), o mais alto registrado no período de estudo. Além disso, os níveis de emergência foram considerados apenas quando os níveis de alerta ultrapassam o “Nível Alerta”, isso faz com que os demais eventos selecionados que não apresentam notícias ou boletins de ocorrência sejam atribuídos a limiares estabelecidos na classificação a partir do preenchimento da calha indicado na metodologia. Os níveis de emergência 01 foram atribuídos ao nível de alerta e os níveis de emergência superiores a isto.

Gráfico 24 – Eventos com registro de ocorrência plotados na curva chave da estação do Capivari.

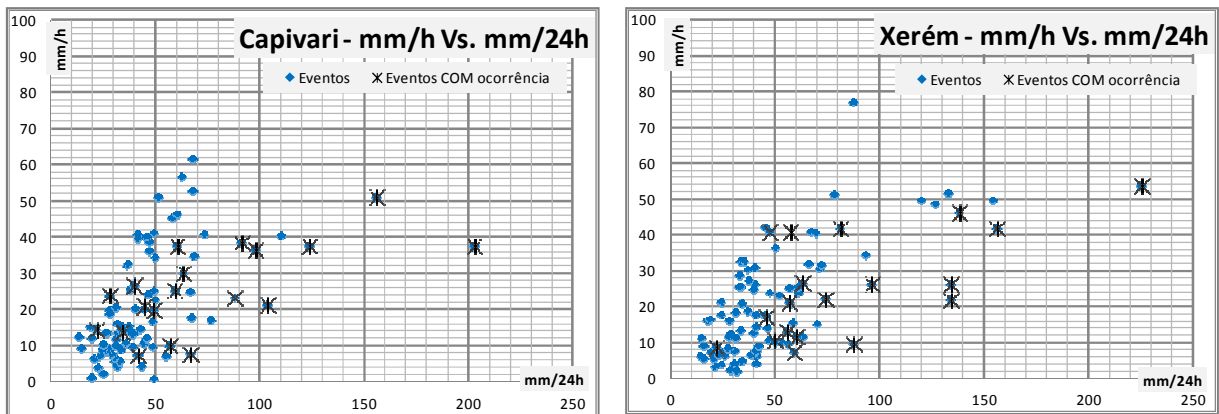


Fonte: O Autor, 2018.

3.3.1 Método de D'orsi

Os eventos de chuva foram reorganizados e plotados em gráficos, referentes a cada estágio determinado. Após a reorganização dos eventos e análise dos níveis de emergência, o primeiro método avaliado para determinação do limiar crítico foi o método de D'Orsi. A modificação para esta primeira definição dos limiares se deu pela inclusão do nível d'água do rio Capivari com as ocorrências. Inicialmente fez-se a separação dos eventos com e sem ocorrência por estação analisada (Gráfico 25). O limiar de acionamento da sirene, momento em que é obrigatória a evacuação das áreas de risco, contou com a análise das ocorrências e seu grau de relevância.

Gráfico 25 – Eventos de chuva nas estações estudadas.



(a)

(b)

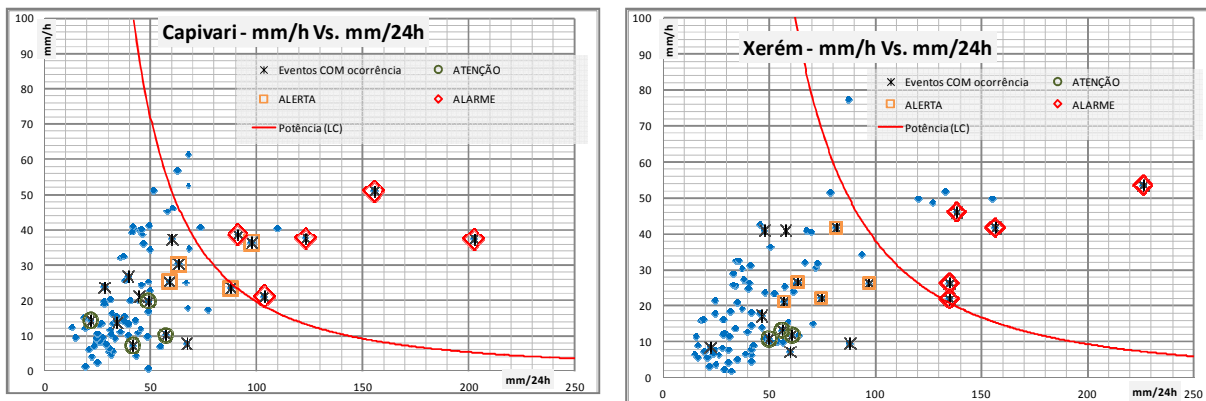
Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

Para o nível de emergência 01 (N1) notou-se que os danos causados são bastante pontuais, não há vítima fatal e não afeta a rotina da cidade. Este nível foi considerado como eventos que ocorrem com frequência e não causam prejuízos de modo a classificá-lo como desastre e sem a necessidade de acionamento da sirene. A partir do nível de emergência 02 (N2) os danos causados em parte da cidade identificaram o evento como extremo, um desastre, cabendo o acionamento da sirene ou não. Com as considerações indicadas, foi possível identificar cinco eventos que puderam ser caracterizados como desastre na bacia do rio Capivari, indicados como alarme no Gráfico 26, sendo o limiar para esta finalidade

considerado os eventos com ocorrência iguais a N3. Para as linhas auxiliares utilizou também a separação dos eventos pelos níveis d'água indicados anteriormente.

Gráfico 26 – Linha crítica das estações estudadas, definidas pelo método de d'orsi.



(a)

(b)

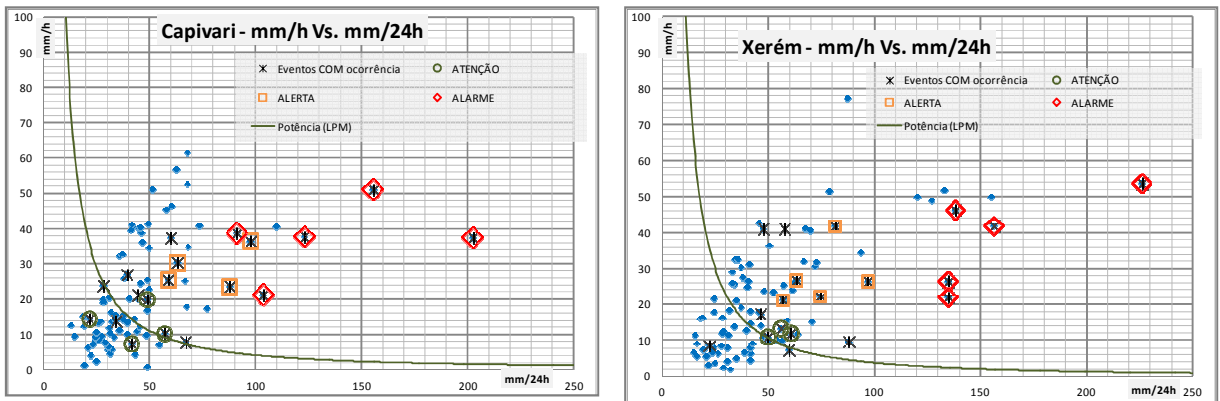
Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

O primeiro limiar estimado corresponde ao limite da previsão de probabilidade baixa, com níveis abaixo 75% em relação a cota de transbordo, sendo o estágio de normalidade, para os acumulados até 40 mm de chuva. O estágio de atenção compreende o intervalo de 75 a 90% da calha preenchida e definido na linha de probabilidade média, no Gráfico 27. O estágio de alerta, de probabilidade alta e níveis do rio entre 90 e 100%, é delimitado no Gráfico 28. Por fim, o último estágio, de alerta máximo, considerando os transbordamentos foi definido como a linha crítica apresentado anteriormente.

Com a equação da reta é possível determinar os pares de chuva para a mudança de estágio (Tabela 21). A tabela indica os intervalos de chuva de uma hora e acumulado de vinte e quatro horas como limite adequado para o serviço de monitoramento, por exemplo, ao ser registrado um pico de 19,70 mm/h associado ao acumulado de 100 mm, terá o estágio de atenção. Conforme a intensidade horária aumenta, a exigência para o acumulado de vinte e quatro horas reduz, para que haja a mudança de estágio. A relação é válida para as demais alterações de estágio. É fundamental o uso de equações como ferramentas para o monitoramento *now casting* (tempo real), possibilitando pouco recurso implantado para um resultado efetivo. Apenas deve-se estar atento aos valores limites para a adequada alteração da equação.

Gráfico 27 – Linha de probabilidade média das estações estudadas, definidas pelo método de d’orsi.

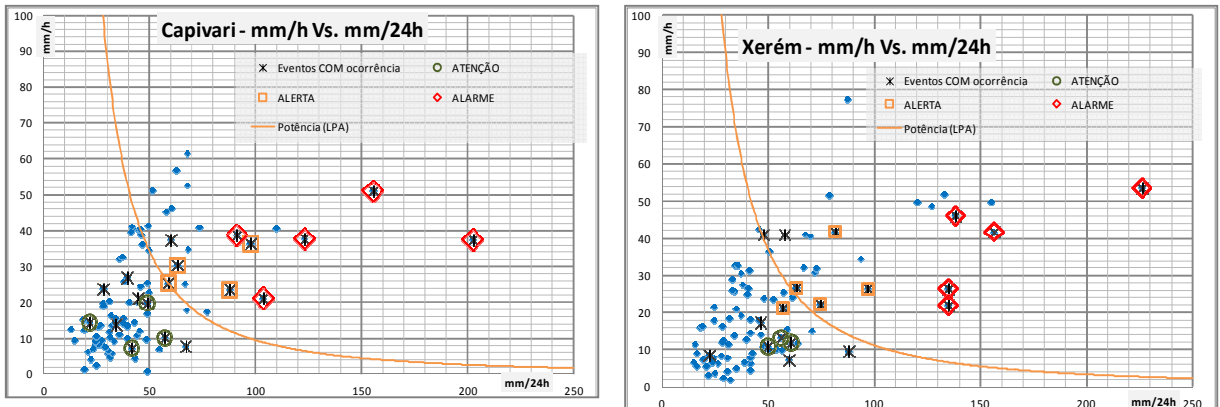


(a) (b)

Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

Gráfico 28 – Linha de probabilidade alta das estações estudadas, definidas pelo método de d’orsi.



(a) (b)

Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

O Gráfico 29 refere-se aos limiares determinados no estudo e os eventos de chuva considerados no período de 2008 a 2016, que permite a melhor visualização em termos da passagem de um estágio ao outro. Torna-se perceptível que, conforme aumenta a precipitação de uma hora, menor é o acumulado precipitado e necessário para a mudança dos estágios. Estas curvas são fundamentais no acompanhamento em tempo real da precipitação, uma vez que o monitoramento consegue de maneira imediata indicar a relação entre a chuva instantânea e o acumulado, a partir do início do evento.

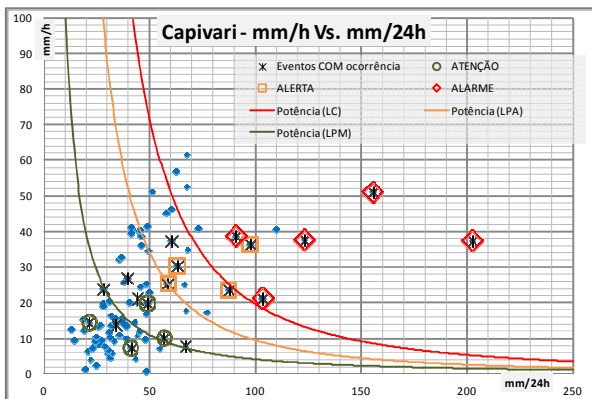
Tabela 21 – Limiares de mudança de estágio para as estações estudadas, definidas pelo método de d’orsi.

Capivari						Xerém					
LC		LPA		LPM		LC		LPA		LPM	
mm/h	mm/24h	mm/h	mm/24h	mm/h	mm/24h	mm/h	mm/24h	mm/h	mm/24h	mm/h	mm/24h
3.5	250.0	1.7	250.0	1.1	250.0	5.9	250.0	2.3	250.0	1.0	250.0
5.4	200.0	2.6	200.0	1.6	200.0	9.3	200.0	3.4	200.0	1.3	200.0
6.5	180.0	3.2	180.0	1.8	180.0	11.6	180.0	4.0	180.0	1.6	180.0
9.2	150.0	4.5	150.0	2.3	150.0	16.8	150.0	5.5	150.0	2.0	150.0
10.5	140.0	5.1	140.0	2.6	140.0	19.3	140.0	6.2	140.0	2.3	140.0
14.0	120.0	6.8	120.0	3.2	120.0	26.4	120.0	8.1	120.0	2.9	120.0
16.5	110.0	8.0	110.0	3.6	110.0	31.5	110.0	9.5	110.0	3.3	110.0
19.7	100.0	9.5	100.0	4.1	100.0	38.2	100.0	13.4	90.0	6.4	70.0
23.9	90.0	11.5	90.0	4.8	90.0	47.3	90.0	13.4	90.0	4.4	90.0
29.8	80.0	14.3	80.0	5.7	80.0	60.1	80.0	16.4	80.0	5.2	80.0
38.3	70.0	18.4	70.0	6.8	70.0	78.8	70.0	20.6	70.0	6.4	70.0
51.1	60.0	24.4	60	8.5	60.0	107.8	60.0	26.9	60.0	8.1	60.0
71.9	50.0	34.2	50	11.0	50.0	156.1	50.0	36.9	50.0	10.6	50.0

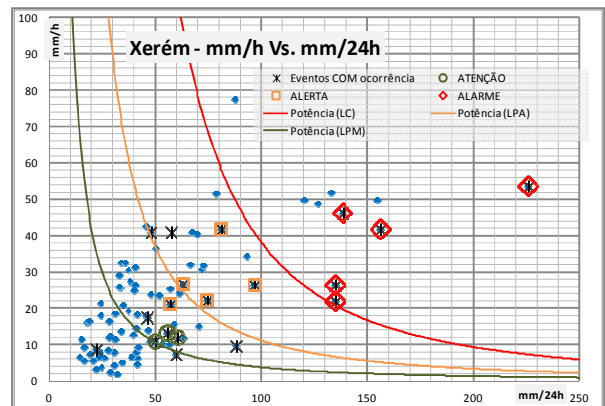
Legenda: LC – Linha crítica; LPA: Linha de probabilidade alta; LPM: Linha de probabilidade média.

Fonte: O Autor, 2018.

Gráfico 29 – Limiares de chuva para mudança de estágio das estações estudadas, definidas pelo método de d’orsi.



(a)



(b)

Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

Com a separação dos eventos de chuva e todas as análises realizadas, estes limiares indicam uma tendência de ocorrer ou não o desastre. Muitas vezes os acumulados de precipitação ultrapassaram estes limiares e não ocasionaram danos ou mortes. Porém quanto

mais se aproximar dos limites de alerta maior a probabilidade de ocasionar perdas humanas, econômicas e sociais.

A Tabela 22 retrata os procedimentos no monitoramento e os limiares estabelecidos no método de d'orsi. Com as definições dos limiares de chuva e linhas críticas, pode-se notar que os principais eventos extremos apresentaram duração de chuva superior a 12 horas confirmando que um acumulado superior a 48h, sem picos com intensidades altas não afetam muito a bacia, que tem tempo de concentração próximo de 5 horas.

Como preconiza o objetivo das coordenadorias de Defesa Civil, este conhecimento incrementa as ações de prevenção aos desastres, permitindo que esses limites tenham caráter de amenizá-los e consequentemente uma chuva que extrapole os valores da curva não causem o dano, em vista do acionamento antecipando na emissão dos alertas e acionamento das sirenes.

Tabela 22 – Procedimentos de monitoramento, com os limiares para emissão de alerta para estação Ponte de Ferro Capivari.

Previsão e Alertas	Nível Operacional	Boletim Meteorológico	Curva cobra
BAIXO Probabilidade Baixa.	NORMALIDADE	Sem previsão de chuva ou chuva fraca ≥ 40 mm/24h	abaixo da LPM*
MODERADO Probabilidade Moderada, em 3h.	ATENÇÃO	Atenção Previsão de chuva moderada ≥ 11 mm/h ≥ 50 mm/24h	atingindo ou acima da LPM, porém, abaixo da LPA**.
ALTO Probabilidade Alta, em 2 h.	ALERTA	Alerta Chuva forte registrada e permanência ≥ 15 mm/h ≥ 80 mm/24h	atingindo ou acima da LPA, porém abaixo da LC***.
MÁXIMO Probabilidade Muito Alta, qualquer instante.	ALERTA MÁXIMO	Alarme Índice crítico registrado ≥ 20 mm/h ≥ 100 mm/24h	atingindo ou acima da LC***.

*LPM: Linha de Probabilidade Moderada; **LPA: Linha de Probabilidade Alta; e ***LC: Linha Crítica.

Fonte: O Autor, 2018.

O Estado do Rio de Janeiro, a partir do Sistema Alerta Rio e do DRM, aplicou o método de D'orsi no território como base das emissões de alerta em período de chuvas intensas. Ambas as instituições concordam que chuvas acima de 50 mm/h correspondem à

alto risco de escorregamento, tanto no município, quanto no estado do Rio de Janeiro. A atual pesquisa, com os ajustes necessários, sugere também que este valor seja o limite crítico (alto risco) para inundações (bruscas e graduais). Esta semelhança pode ser oriunda dos regimes pluviométricos do Estado ser bastante uniformes, principalmente entre o município e as cotas mais baixas da bacia, para a Estação Ponte de Ferro Capivari. A Estação de Xerém apresenta limiares um pouco mais altos, confirmados pela região ter média anual de chuva mais alta que a Estação do Capivari.

A metodologia é fortalecida na medida de cada utilização dos dados e atualização dos índices. Os valores estimados pelas equações com a vivência profissional no órgão de defesa civil do município de Duque de Caxias-RJ garante o uso das equações no monitoramento em tempo real de maneira simples e traz um embasamento teórico para os alertas emitidos pela defesa civil. A eficiência do método está relacionada com a qualidade e quantidade de informações existentes, de dados pluviométricos e ocorrências relacionadas a cada evento de chuva, para cada região. As curvas podem ser representativas para um pluviômetro, para uma bacia ou uma área mais abrangente, cujo emprego das correlações depende das variações físicas (hidrometeorológica, geomorfológica, social) encontradas entre cada região, a disponibilidade de dados e o nível governamental de emissão de alerta e suporte para o possível desastre.

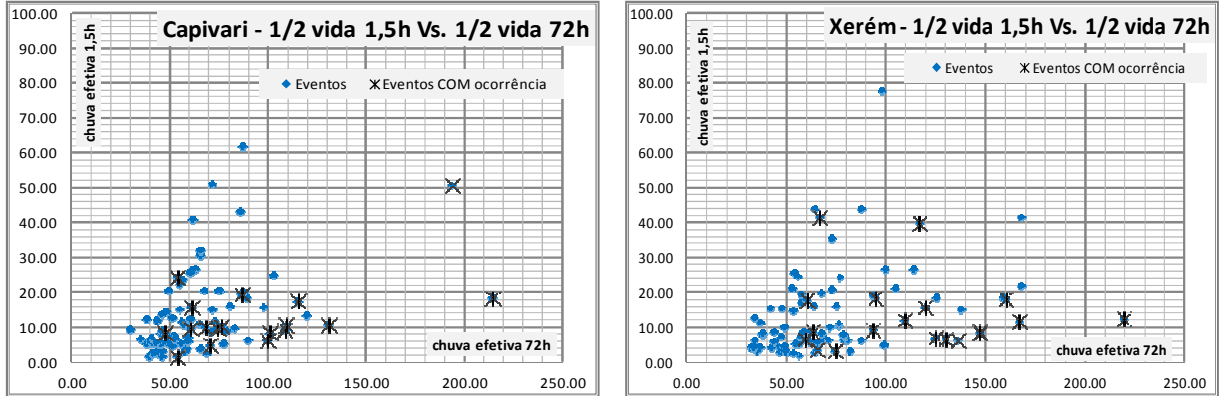
3.3.2 Método Compartilhado

Como o Método de D'orsi, o Método Compartilhado também utilizou os dados de chuva selecionados, separados os eventos com e sem ocorrência por estação analisada, e foram plotados indicando suas coordenadas (X; Y) com os tempos de meia vida de 72 horas e 1,5 horas no Gráfico 30. As mesmas considerações foram alteradas no método para caracterizar os eventos de inundação na bacia, incluindo as ocorrências pelos níveis d'água do rio Capivari.

Os mesmos critérios para os níveis emergenciais utilizados no método anterior foram utilizados para o Compartilhado. O N1 causa danos na cidade, porém não é considerado como desastre, por afetar de forma pontual algum bairro, sem interferir na rotina da cidade e sem registro de morte; a partir do N2 indica um evento extremo e causa danos parciais ou totais na

cidade. Os cinco eventos extremos aplicados no método de d'orsi foram sugeridos também para o método compartilhado.

Gráfico 30 – Tempos de meia vida para as estações estudadas.



(a)

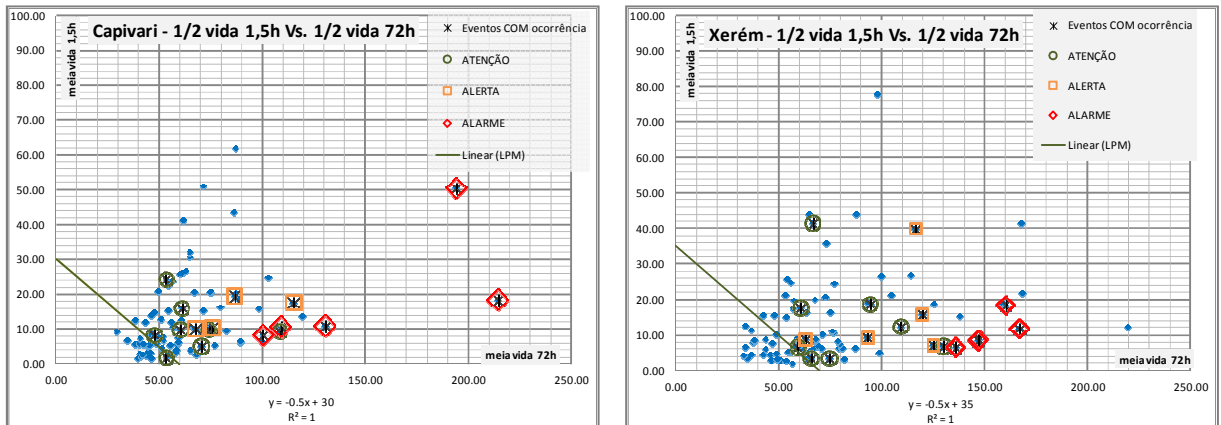
(b)

Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

Além da consideração dos níveis na análise, o fator determinante para a definição da linha crítica fica a critério dos desastres ocorridos na bacia, na forma de situação de emergência e as demais confirmações de ocorrências devido às chuvas. Os Gráficos 31 a 34 apresentam as variações de limites, Atenção, Alerta; Alarme, e todos os limites, para cada posto analisado, respectivamente.

Gráfico 31 – Linha de probabilidade média das estações estudadas, definidas pelo método compartilhado.



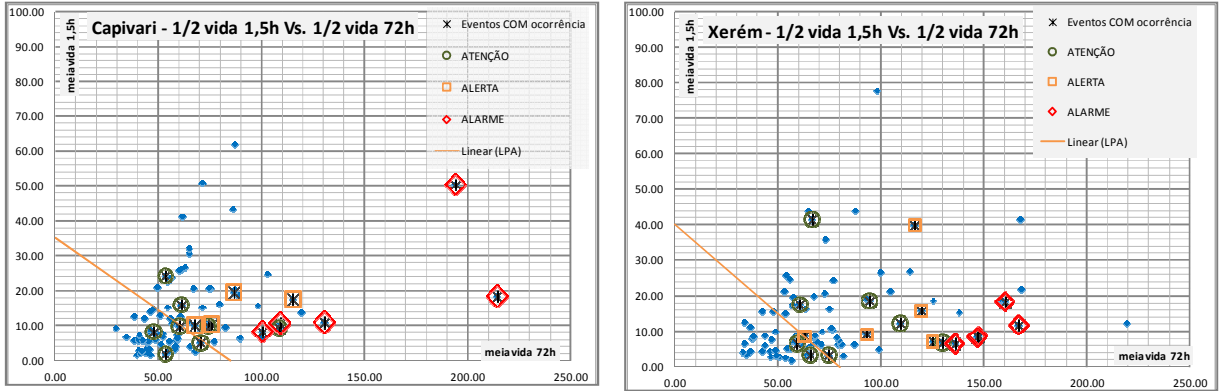
(a)

(b)

Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

Gráfico 32 – Linha de probabilidade alta das estações estudadas, definidas pelo método compartilhado.

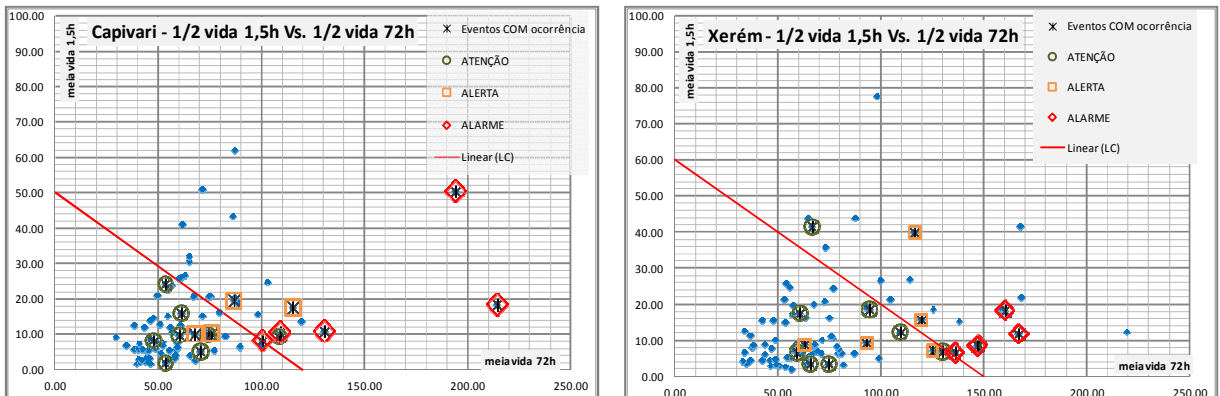


(a) (b)

Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

Gráfico 33 – Linha crítica das estações estudadas, definidas pelo método compartilhado.



(a) (b)

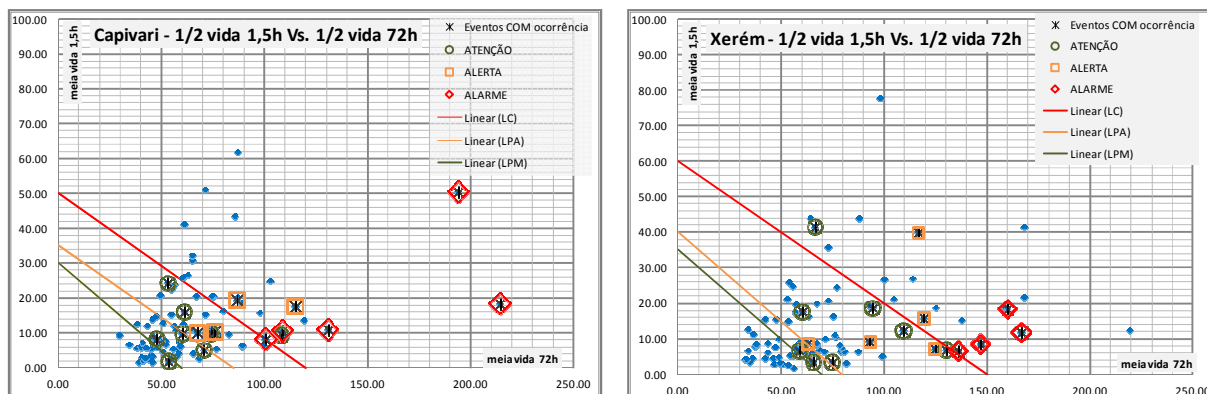
Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

A diferença das linhas críticas, no Método Compartilhado, entre a Estação de Xerém e a Estação do Capivari demonstrou maior discrepância em relação aos tempos de meia vida. A linha de alta probabilidade de Xerém cruza o eixo das abscissas (meia vida 72h) próximo aos 150 mm, enquanto para a Estação do Capivari este eixo é cruzado quase nos 120 mm. Para o eixo das ordenadas essa diferença é menor, onde a Estação do Capivari define valor de meia vida de 1,5 horas acima de 50 mm e a Estação de Xerém aproximadamente 60 mm. Conforme exposto anteriormente, a metodologia do Compartilhado é recente sua aplicação no Brasil e

no Estado do Rio de Janeiro, de modo a necessitar ainda a confirmação de sua aplicabilidade em novos estudos.

Gráfico 34 – Limiares de chuva para mudança de estágio das estações estudadas, definidas pelo método compartilhado.



Legenda: (a) estação Ponte de Ferro Capivari; (b) estação de Xerém.

Fonte: O Autor, 2018.

A relação entre os dois métodos não acontece de maneira direta, uma vez que o Método de d’Orsi trabalha com os acumulados de uma e vinte e quatro horas para todos os eventos, já o Método Compartilhado interpreta os tempos de meia vida para diferentes intervalos de chuva. O Método Compartilhado foi aplicado, pioneiramente, para os municípios de Petrópolis, Nova Friburgo e Blumenau e não apresentou nenhum par de valores de chuva para os acumulados de chuva dessas cidades. O acompanhamento do fenômeno hidrometeorológico, em tempo real, do Método Compartilhado, ocorre pela aplicação da curva cobra. O emprego da curva cobra só acontece quando estabelecidas as linhas críticas, para cada mudança de estágio.

Outras distinções entre os métodos é a forma de apresentação e definição dos limiares. O Método de d’Orsi trabalha com a equação da reta na forma de potência, enquanto o Compartilhado utiliza a equação linear. A disposição gráfica dos dados indica maior número de “*alerta falso*” emitido pelo método compartilhado, ou seja, maior quantidade de eventos de chuva que ultrapassam a linha de probabilidade alta. A aplicação do coeficiente de meia vida aproxima também os valores expressos para os acumulados de 1,5 horas e 72 horas.

Assim como D’Orsi, o Método Compartilhado depende das informações existentes (dados pluviométricos e ocorrências relacionadas a cada evento de chuva), da quantidade e qualidade dessas informações. As linhas críticas podem ser geradas para um pluviômetro,

para uma bacia ou uma área mais abrangente, e conjunto com o monitoramento em tempo real utilizando a curva cobra.

Os dois métodos permitem o maior entendimento dos processos realizados no âmbito de defesa civil, em que um evento extremo atinja a cidade e que agentes de defesa civil, órgãos governamentais municipais e estaduais e a população esteja preparada e avisada de seu possível impacto. Estes procedimentos qualificam também a equipe que prestará assistência à população afetada, além de efetivamente transmitir veracidade nas informações do monitoramento realizado em tempo real.

Os eventos quantificados pela chuva e qualificados pelas ocorrências e frequência foram primordiais para a determinação das mudanças de estágio a partir dos limiares de chuva, como para representar os dados históricos de desastres para a bacia, já tratados e analisados de forma crítica. Ambas as análises contribuem na otimização do serviço de monitoramento em tempo real, uma vez que associados às condições meteorológicas, é possível estabelecer padrões de comportamento da bacia hidrográfica e assim, garantir apoio na resposta às ações de defesa civil, e antecipar possíveis danos causados na cidade.

3.4 Relato de ações da defesa civil municipal em evento retrospectivo

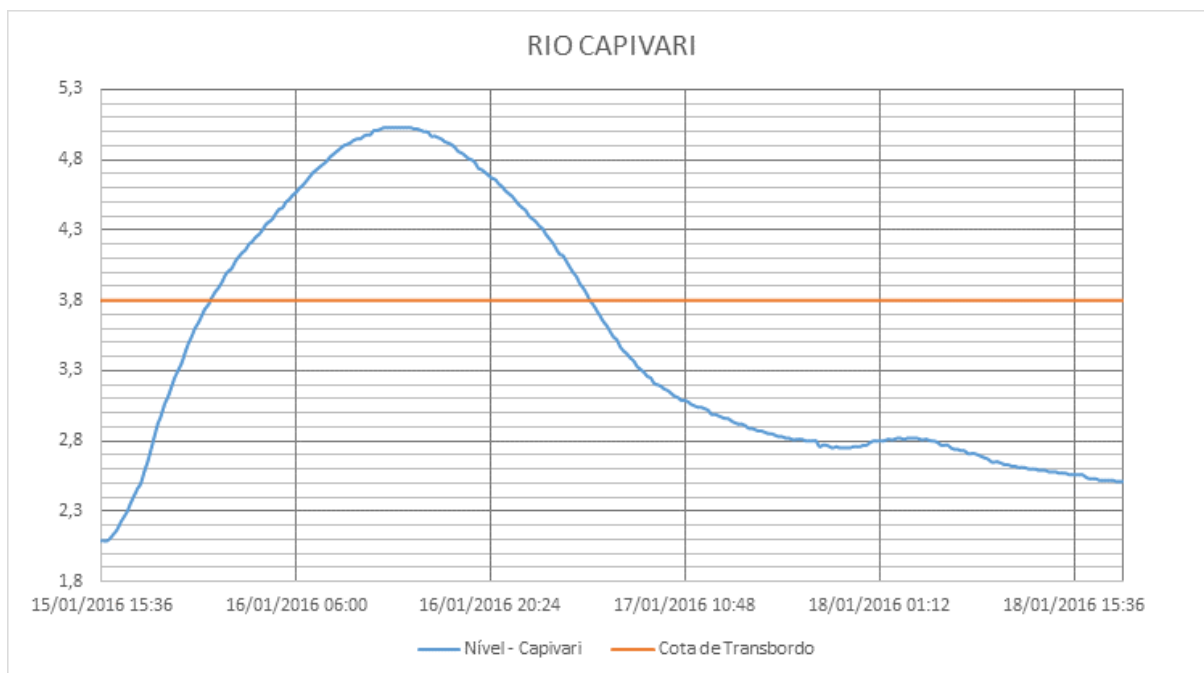
A fim de exemplificar os procedimentos adotados em um órgão de defesa civil, utilizou-se o evento de 15 de janeiro de 2016, esclarecendo cada etapa dos processos indicados neste trabalho. Tal evento foi selecionado devido à organização existente no momento do evento: a defesa civil municipal contava com um efetivo de mais de 100 (cem) pessoas e possuía equipe técnica de monitoramento hidrometeorológico com meteorologistas, engenheiros, geógrafos e outros. Isto permitiu ter consistência nas ações programadas, além da capacidade de informar a antecipação do evento. No contexto meteorológico, a chuva intensa que atingiu o município de Duque de Caxias no dia 15 de janeiro foi caracterizada por uma Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), definida como uma banda extensa de nebulosidade que se estabelece desde o sul da Amazônia até o Sudeste do país, abrangendo a Região Centro-Oeste e prolongando-se pelo Oceano Atlântico.

Pelo COBRADE o fenômeno foi classificado como chuvas intensas, com a codificação 1.3.2.1.4. Quanto aos eventos geotécnicos e hidrológicos, próximo das 23:00h do dia 15, o CEMADEN Estadual determinou “Risco Alto de Movimentos de Massa” para o

município, devido ao elevado valor de acumulado de chuva, confirmando as medidas preventivas já em andamento pela Secretaria Municipal de Defesa Civil e Políticas de Segurança de Duque de Caxias (SEMDECPS). A Secretaria entrou em estágio de alerta/alarme algumas horas antes, perto das 19 horas, com o acumulado de 73 mm em 1 hora, no Morro da Caixa D'água. O rio Capivari atingiu o pico em 5,03 metros, confirmando elevação de mais de 1,20 metros acima da sua cota de transbordo (Gráfico 35). Estas situações se confirmaram com os chamados atendidos pela equipe de operações da SEMDECPS.

Com isso, os Pontos de apoio (PA's) são automaticamente abertos para assistência a população localizada nas áreas de risco, atendendo a um princípio de mobilização preventiva devido ao aumento potencial do risco. A Subsecretaria de Proteção Comunitária é responsável pela referida mobilização e se inicia com o contato com lideranças comunitárias e voluntários treinados para abertura imediata dos PA's, enquanto as equipes de agentes públicos se deslocam para o local para as ações de assistência necessárias. Os PA's funcionam como atendimento e suporte a população, com informações básicas sobre o evento, assim como auxílio em como proceder em situação de risco de desastres, incluindo a comunidade no movimento de comunicação do risco a fim de reduzir os danos.

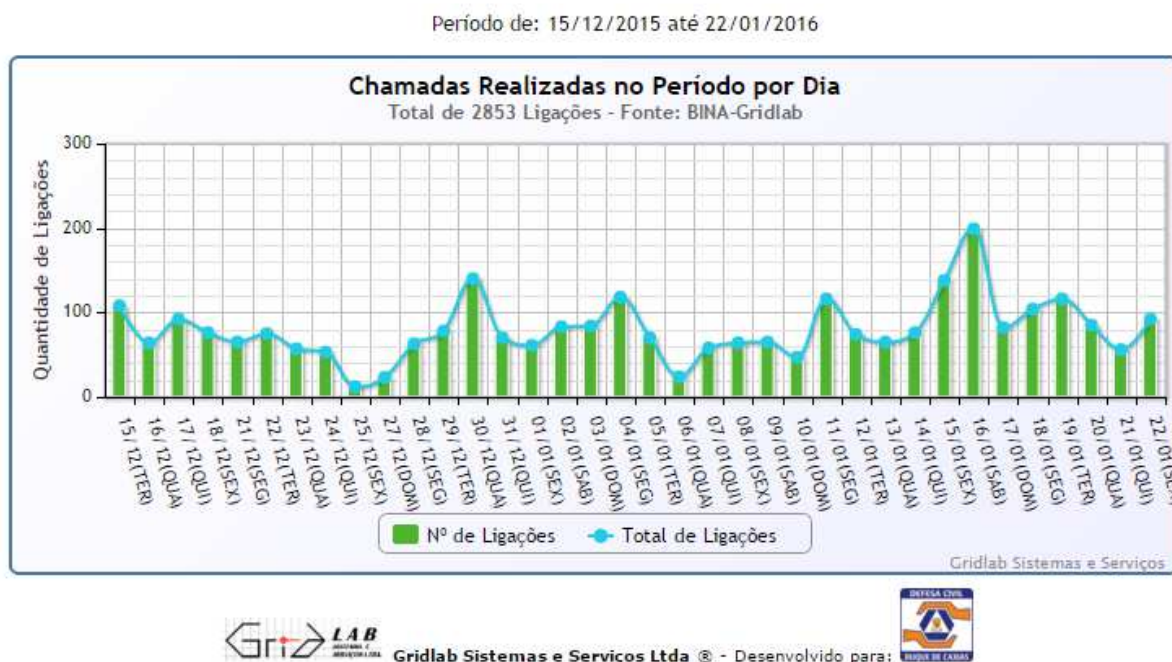
Gráfico 35 – Nível do rio Capivari, em Duque de Caxias-RJ.



Fonte: O Autor, 2018.

Mais de 25 bairros foram afetados. Baseado no sistema de controle de ligações recebidas pelo Centro de Comunicação da Defesa Civil municipal, para o evento, ultrapassou o número de 300 ligações (Figura 28). Mediante ao agravamento dos cenários e a ordem de acionamento das sirenes, os PA's foram abertos para receber a população localizada em áreas de risco. Neste período foram acionadas três sirenes, com registros dos maiores índices pluviométricos, no período de vinte e quatro horas. A gestão dos PA's, durante o período de crise, seguiram os procedimentos estabelecidos no Plano de Emergência Municipal (PEM) no dia 15, sem o acionamento da sirene, no entanto abertos de forma a atender a população afetada. Dessa forma, foram totalizados seis PA's abertos e 84 funcionários da Prefeitura, incluindo a Defesa Civil, a Assistência Social e a Guarda Municipal.

Figura 28 – Chamadas telefônicas para o 199 (Defesa Civil), por dia.



Fonte: Prefeitura Municipal de Duque de Caxias, 2016.

As ações operacionais dizem respeito a resposta ao desastre propriamente dito. A Subsecretaria de Operações gerencia as ações de resposta e vistorias técnicas conforme solicitação de lideranças comunitárias, voluntários e de chamadas pelo telefone 199. As chamadas tornam-se uma ferramenta primordial para detectar uma situação de anormalidade, uma vez que o Centro de Comunicação da Defesa Civil recebe em média 40 ligações por dia, para assuntos diversos e externos com reclamações e dúvidas e em um desastre este número aumenta consideravelmente. Pós-atendimento, a equipe de operações inicia o processo de

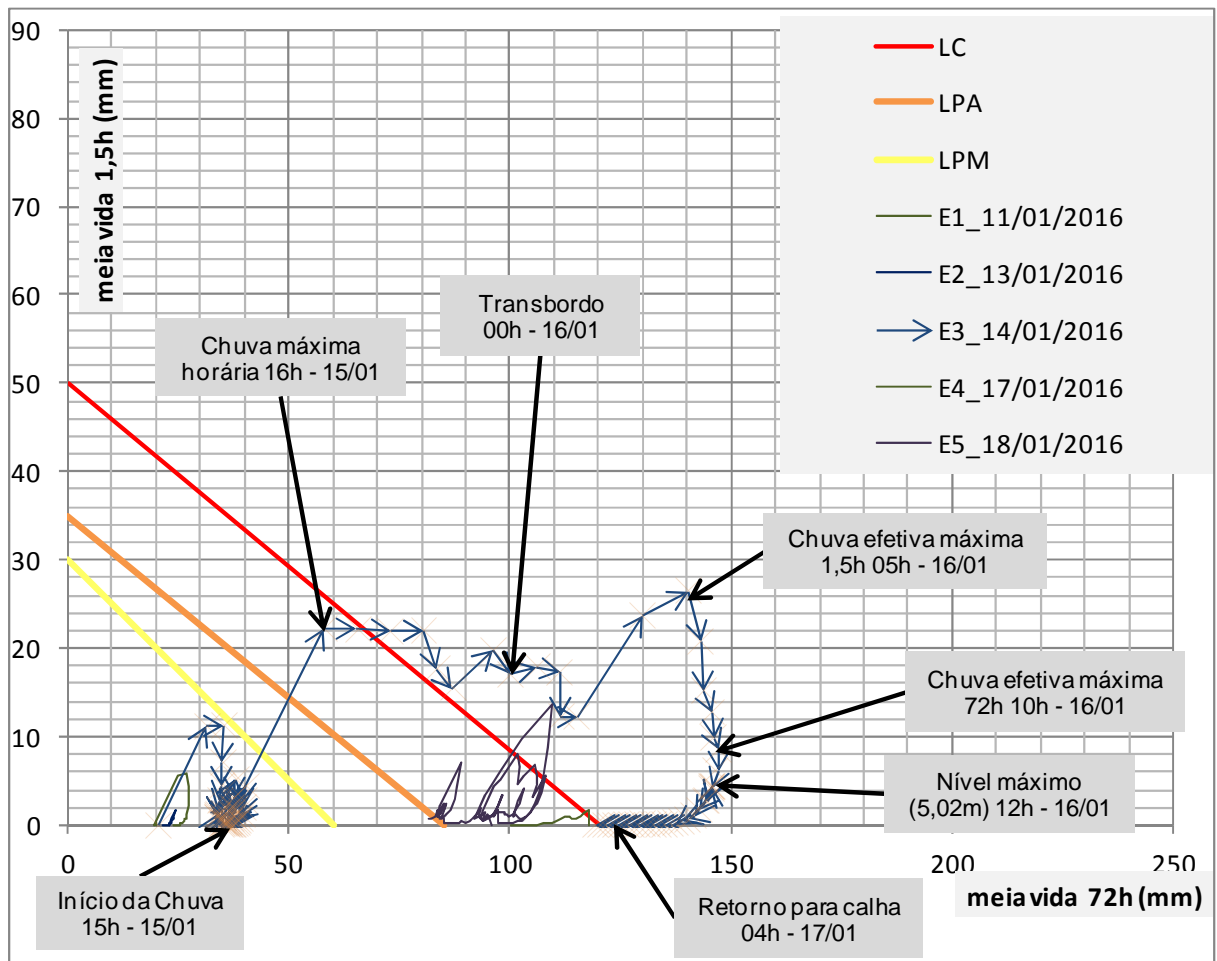
vistorias de acordo com o grau de risco e a demanda. As vistorias são realizadas nos dias subsequentes ao evento até que sejam todas atendidas. Chegaram-se a 58 ocorrências no total, sendo 24 corresponde aos alagamentos, 15 de deslizamentos, 11 desabamentos, 5 de inundações e 3 com causas relacionadas.

Mais de 40 pessoas ficaram desalojadas e foram atendidas nos PA's abertos. Após a configuração da crise, no dia 16 de janeiro de 2016, foi instalado o Gabinete de Gestão de Crise Municipal (CCGM), onde se modificou a sala de reuniões/pleno para o funcionamento do Gabinete Operacional de Gestão de Crise. As ações passaram a acontecer de maneira conjunta com autoridades municipais, como o Prefeito, Vice-Prefeito, e demais Secretários Municipais como: Obras, Assistência Social e Direitos Humanos, Meio Ambiente, Planejamento, Habitação e Urbanismo, visando a convocação de todos para composição da equipe que operacionaliza o GGCM. O efetivo do GGCM permaneceu à disposição e em prontidão até que fossem encerradas as atividades deste, isto no dia 19 de janeiro de 2016, quando os efeitos da crise foram controlados e a cidade retornou ao seu estado normal de normalidade.

Com as metodologias apresentadas para os limiares de chuva, fez-se a simulação para avaliar as ações realizadas no monitoramento e sua eficácia quanto a informação cedida. O acompanhamento das chuvas, em tempo real, e com o estabelecimento das linhas críticas para cada estação pluviométrica permite antecipar os alertas e realizar a evacuação preventiva, evitando maiores danos a população. Com a definição da linha crítica pelo Método Compartilhado fez-se a observação do evento do dia 15/01/2016, conjugado com a curva cobra, sendo a diretriz para antecipação dos alertas. O Gráfico 36 apresenta os limites definidos para a estação do Capivari e os eventos de chuva dias antes do episódio que causou transtorno à cidade.

Nota-se que nos dias 11 e 12 de janeiro as chuvas não se aproximaram das linhas de probabilidade média e alta. No dia 14, momento em que iniciou a contagem do acumulado para o ocorrido, a chuva inicial se aproximou da linha de probabilidade média (em amarelo). Algumas horas depois, no final da tarde do dia 15 às 16 horas foi registrada a chuva máxima horária de 22 mm, na estação do Capivari. A continuação da chuva e o aumento do acumulado de chuva acarretou no transbordamento do rio Capivari, as 00 horas do dia 16/01 e em seguida atingiu seu nível máximo (5,02 m), posterior às chuvas efetivas máximas de tempo de meia vida de 1,5 e 72 horas. Os acumulados das chuvas podem ser vistos no Gráfico 37. O retorno da calha e o cessar do alerta aconteceram bem próximos na madrugada do dia 17/01.

Gráfico 36 – Chuva cobra para Estação Capivari no dia 15/01/2016.



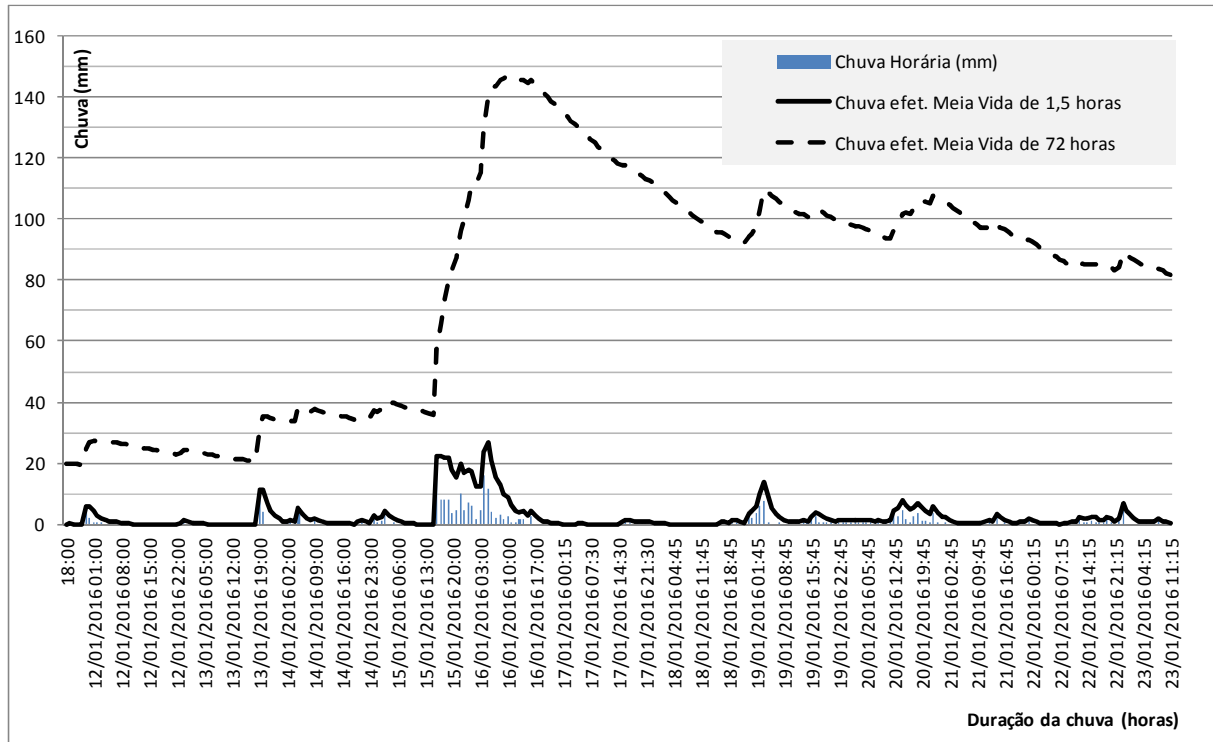
Fonte: O Autor, 2018.

O GGCM foi encerrado apenas no dia 19/01 devido ao suporte a população e demais necessidades oriundas do evento extremo, como abertura de rodovias, limpeza urbana, entre outros. As medidas adotadas no monitoramento, tanto para os riscos de inundação como para os deslizamentos são feitos em conjunto com a previsão de chuva e as condições meteorológicas. Como avaliação do evento específico, o alerta máximo, de acordo com a curva cobra seria acionado antecipadamente próximo às 16 horas, três horas antes do alerta emitido no dia e o cessar ocorreria quase dois dias antes da desmobilização ocorrida.

É fundamental situar que essas comparações são relativas ao monitoramento e ações de defesa civil, visto que uma situação que interfere na rotina da cidade deve abranger demais órgãos municipais. A definição dos limiares de chuva para mudanças de estágio e a utilização da curva cobra como ferramenta, no momento do monitoramento, são indispensáveis para uma eficiente avaliação dos riscos de desastres e suas melhorias no que diz respeito a

antecipação de um possível fenômeno atingir uma área específica, reduzindo as perdas em um possível desastre.

Gráfico 37 – Chuvas efetivas para Estação Capivari no dia 15/01/2016.



Fonte: O Autor, 2018.

Ainda que o Método de D'Orsi tenha maior histórico de aplicação no Estado do Rio de Janeiro, o Método Compartilhado e o uso da curva cobra como ferramenta de monitoramento *now casting* permite maior fluidez entre as disciplinas envolvidas no monitoramento (meteorologia, hidrologia, geologia). A definição de pares de intensidade de chuva, como o caso de D'Orsi, torna o monitoramento mais rígido e menor a iteração interdisciplinar. A exemplificação do Método Compartilhado demonstrou bons resultados para sua aplicação na bacia do rio Capivari, o que torna esta metodologia a mais recomendada a utilizar no monitoramento de dados hidrológicos.

A curva cobra representa, também, o pioneirismo na utilização de uma ferramenta simples de monitoramento realizado por órgãos de defesa civil que não possuem equipe técnica especializada. Mesmo que facilitado, o estabelecimento das linhas críticas exige o aporte técnico e sua atualização também. As modificações em relação às linhas criadas estão relacionadas com as informações geradas por estes órgãos. Uma vez definidos os limiares de

chuva, a cada evento registrado, principalmente os que registram ocorrência, devem ser incluídos no banco de informações sobre os desastres e atualizadas suas linhas críticas.

A atual situação no Brasil, em termos de dimensão da série de dados de chuvas e de eventos, de bases topográficas e geológicas disponíveis e de tecnologias para previsão da chuva futura, requer métodos mais simplificados, como o caso dos métodos apresentados, d'orsi e o compartilhado, para estabelecer os limites de chuva de modo que se apresentam uma resposta rápida e com embasamento técnico para o uso em relação à previsão e análise de eventos de natureza hidrológica. Para as metodologias relacionadas a esses limites, de caráter estatístico, torna-se essencial à ampliação da série histórica de dados de chuva com e sem ocorrências, assim como os dados descritivos dos eventos, de maneira a se elevar a precisão na previsão fornecida pelos limiares e orientar a tomada de decisão em situações de chuva prolongada e/ou chuva intermitente, pela transmissão de alertas. Os métodos utilizados na pesquisa também oferecem informações de ações dos órgãos de defesa civil, como a mobilização e desmobilização da evacuação.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho atual teve como objetivo principal implementar uma metodologia para mudanças de estágio de monitoramento hidrológico, através da definição dos limiares de chuva para inundações, na bacia do rio Capivari, no município de Duque de Caxias, RJ, visando aprimorar o Sistema de Alerta de Cheias e contribuir para a redução do risco de desastres nessa área. As atividades desenvolvidas na pesquisa estabeleceram os principais procedimentos técnicos a serem executados e no auxílio para tomada de decisão frente aos desastres hidrológicos, foram as seguintes:

I. Avaliação do SAC implantado na bacia do rio Capivari integrado às ações preventivas aos desastres hidrológicos

A avaliação dos dados existentes na bacia de estudos identificou fragilidades principalmente na continuidade de coleta de dados hidrológicos (chuva e vazão) e a falta de otimização do sistema. Apesar do SAC/INEA ter sido o primeiro sistema de monitoramento, em tempo real, instalado na bacia, não houve investimentos para análise hidrológica e comportamental da bacia hidrográfica e tão pouco a avaliação das áreas suscetíveis a inundação, limitado unicamente em fornecer dados de chuva e nível e seus alertas baseados na porcentagem de preenchimento da calha.

Para que o sistema permaneça ativo e seja possível implantar novas abordagens, como a apresentada neste trabalho, recomenda-se que as estações existentes do SAC permaneçam com a coleta de dados hidrológicos e a atualização do sistema com diversas medidas, como por exemplo o levantamento das seções batimétricas do local onde há medição de nível, os estudos hidrológicos das bacias hidrográficas e também a manutenção e expansão dos equipamentos.

II. Análise pluviométrica da área de estudo e criação do banco de dados sobre desastres hidrológicos

A análise pluviométrica das duas estações existentes na bacia identificou os eventos de chuva com o maior tempo de recorrência, através do tratamento estatístico de eventos extremos, associados ao nível do rio na estação do Capivari e as ocorrências registradas na bacia possibilitou criar o banco de dados sobre desastres hidrológicos na bacia. Esta relação entre o tempo de recorrência dos eventos de chuva e suas ocorrências concretizou que chuvas

frequentes também causam danos na bacia, porém de baixo impacto e normalmente isolados. Os eventos com tempo de recorrência maiores tiveram danos e prejuízos grandes e em algumas situações foi decretado situação de emergência para a cidade, quando o município indica não haver capacidade de resposta para o desastre e necessidade de apoio humanitário e financeiro.

O registro de ocorrências evidencia que os desastres estão mais relacionados às ações antrópicas do que com as características naturais do lugar, em especial: a deficiência das instalações de infraestrutura, as péssimas condições de habitação local e a ocupação desordenada. Em sua maioria, as casas atingidas pela inundação foram construídas dentro da calha do rio (leito maior), não respeitando as margens mínimas legais de proteção civil e ambiental. Existe a necessidade de simplificar as informações no registro de ocorrência da defesa civil e melhorar o entendimento sobre o que é um desastre natural. Para o banco de dados sobre desastres hidrológicos permanecer atualizado recomenda-se manter os registros de ocorrências do órgão de defesa civil e seu aprimoramento em relação a qualidade da informação que é fornecida.

III. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação na bacia do rio João Pinto afluente do rio Capivari

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundação na bacia do rio João Pinto realizado para os de TR de 10, 20, 50 e 100 anos confirmou, através das manchas de inundação, a região impactada pelo fenômeno e permitiu identificar as áreas mais suscetíveis a uma possível ocorrência de desastre e melhorar as ações de defesa civil. Contudo, este mapeamento precisa ser aprimorado, com a realização de levantamento topobatimétrico da bacia para melhor aplicação dos modelos hidráulicos. Indica-se a determinação dos índices de vulnerabilidade e em sequência a elaboração do mapa de risco de inundação para toda bacia.

A modelagem hidráulica realizada desconsiderou os efeitos da maré em relação ao deságue do rio Capivari. Nesse caso, recomenda-se a elaboração de cenários capazes de representar os efeitos de remanso no rio. Ainda que o modelo considere os ressaltos hidráulicos para determinadas situações, a maior atenção deste panorama também é recomendada.

IV. Limiares de emissão de alerta e fortalecimento do sistema de monitoramento

As alterações realizadas nas metodologias de d'orsi e o Compartilhado permitiram estabelecer os limiares de chuva (linhas críticas) para inundação na bacia e relacionar os estados operacionais da defesa civil com os estágios de monitoramento em tempo real e o aumento da assertividade do SAC. Com as linhas críticas definidas para cada estágio de monitoramento, a utilização da curva cobra tornou-se uma ferramenta de apoio ao monitoramento e permitiu antecipar o momento exato para as emissões dos alertas para evacuação, assim como para o retorno aos limites de menor impacto até a normalidade e a desmobilização.

As metodologias utilizadas neste estudo devem ser testadas com outros intervalos de duração da chuva e aplicadas em outros postos que possuam dados disponíveis. Para a eficiência da curva cobra, as linhas críticas devem ser atualizadas a cada evento adverso que ocorra na bacia e pelo seu caráter inovador, a curva cobra deve ser validada em outras localidades.

V. *Ações de defesa civil*

Todas as ações expostas nesta pesquisa permitiram a melhor avaliação dos eventos futuros e assim, aprimorar as ações de defesa civil, garantir um sistema de alerta e alarme comunitário eficaz e minimizar os danos e prejuízos causados por um evento extremo, na bacia do rio Capivari. A partir disso, é possível começar a inserir a cultura de prevenção de desastres dentro dos setores governamentais responsáveis, a nível municipal, principalmente, assim como aproximar-se da população e suas reais necessidades.

Esta dissertação apresentou aspectos técnicos: as análises de frequência de eventos extremos; modelagem hidráulica; e correlação chuva *versus* inundação, e aspectos operacionais: definição de estados operacionais e estágios de monitoramento, para a prevenção de desastres na bacia do rio Capivari, sendo possível replicar estas ações para bacias de pequena e média escala. Este trabalho permite a continuação das pesquisas nos diferentes temas abordados e o estabelecimento da gestão de risco na bacia do rio Capivari. Sugere-se o avanço nas propostas de relacionar os estudos hidrológicos ao planejamento urbano e as diferentes áreas que atuam na gestão de risco de desastres.

Em um cenário de retrocesso político e econômico, percebe-se que os grandes investimentos pós Mega Desastre da região Serrana e implementação da Lei N° 12.608/2012 se perderam ao longo do tempo. Sem a manutenção e a continuidade de aplicação da gestão

de risco de desastres, os órgãos de defesa civil e a população estão cada vez mais vulnerável e situações corriqueiras de eventos de chuva podem tornar-se grandes desastres.

A conclusão final do trabalho demonstra a necessidade de ferramentas simplificadas para o apoio à tomada de decisão aos órgãos de defesa civil. A cultura de ações de resposta a desastre, de acordo com todo o sistema de defesa civil deve se modernizar, principalmente, com relação aos equipamentos e meios de armazenamento de dados, além da necessidade de capacitação dos agentes de defesa civil e adequação dos registros de ocorrência de desastres. Ainda que a proposta deste trabalho não substitua o agente técnico do monitoramento em tempo real, estas ferramentas implicam em maior abrangência e assertividade dos órgãos competentes para emissão de alerta.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.C.; LUCENA, S.C.; CAMPOS, C.A.V. *Investigação sobre o Uso de VANTs em Redes DTN para Cenários de Emergência*. XIX Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços– WGRS. Florianópolis, SC. Anais. 2014.
- ALMEIDA L. Q.; WELLE T.; BRIKMANN J. *Disaster Risk Indicators in Brazil: A Proposal Based on the World Risk Index*. Int Jourar of Disaster Risk Reduction. 2016.
- ANA. Agencia Nacional de Águas. Hidroweb: <http://www.hidroweb.ana.gov.br>, Acessado em: 13/08/2016
- APEL H, ARONICA GT, KREIBICH H, THIEKEN AH. *Flood risk analyses-how detailed do we need to be*. Nat Hazards. 2009
- BAHIENSE, J. M.; et al. *Monitoramento Hidrológico Quantitativo no Estado do Rio de Janeiro: Importância, Histórico e Modernização*. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. XXI SBRH, ABRH. Brasília, DF. Anais. Nov, 2015.
- BRASIL. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012*, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2ª Ed. ver. Ampl. Florianópolis, CEPED, UFSC, 2013.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 09/12/2016.
- BRASIL. Lei nº 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. Brasília, 2012.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília: CENAD, 2012.
- BRYNDAL. T.; FRAN CZAK. P.; KROCZAK. R.; WACLAW. C. KOLODZIEJ. A. *The impact of extreme rainfall and flash floods on the flood risk management process and geomorphological changes in small Carpathian catchments: a case study of the Kasiniczanka River (Outer Carpathians, Poland)*. Natural Hazard. Poland. 2017.
- CARVALHO C, MACEDO E, OGURA A. *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Brasília, DF. 2007.

- CARVALHO, P.R.B.; DOMINGUEZ, J.L.M. *Cartão de pagamento de Defesa Civil: da obtenção de recursos à prestação de contas*. Centro de Estudos Temáticos de Administração Pública. Santa Catarina. SC. Nov. 2013.
- CASTRO. A. L. *Glossário de defesa civil: estudos de risco e medicina de desastres*. Brasília: MPO/Departamento de Defesa Civil. 1998.
- CASTRO. A. L. C. *Manual de desastres: desastres naturais*. Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional. 2003.
- CHIANG, P.-K. WILLEMS, P. BERLAMONT, J. *A conceptual river model to support real-time flood control*. in: A. Dittrich. K. Koll. J. Aberle. P. Geisenhainer (Eds.). RiverFlow 2010.
- CPRM. *Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro*. 2a Ed. revista e ampliada. Elisabeth Guelman Davis e Mauro Cunha Naghettini – Brasília: CPRM. 2000.
- CRED. *The human cost of natural disasters: a global perspective*. School of Public Health of the Université catholique de Louvain. Brussels.
- CRED and UNISDR. *The Human Cost of Weather Related Disasters 1995–2015*. 2016
- CREUTIN JD, BORGA M. *Radar hydrology modifies the monitoring of flash-flood hazard*. Hydrol Process. 2003.
- CUNHA. L. K. *Sistemas avançados de previsão hidrológica e operação hidráulica em tempo real*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) – Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004.
- DEBORTOLI. N. S.; CAMARINHA P. I. M.; MARENGO J. A.; RODRIGUES R. R. *An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change*. Natural Hazards. 2017.
- DIAZ A, STUDZINSKI C, MECHOSO C. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J Clim*. 1998.
- DIRECTIVE 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Off J Eur Union. 2007.
- DOURADO, F., ARRAES, T.C.; FERNANDES e SILVA, M. O. *The megadisaster of the Serrana Region of Rio de Janeiro – the Causes of the Event, Mechanisms of Mass Movements and the Spatial Distribution of Funding for Reconstruction in the aftermath of the Disaster* Yearbook of the Institute of Geosciences. Federal University of Rio de Janeiro. 2012.
- D'ORSI, R. N. *Correlação entre pluviometria e escorregamento no trecho da serra dos órgãos da rodovia federal BR-116 (Rio-Teresópolis)*. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. 2011.

- ECKHARDT, K. *How to construct recursive digital filters for baseflow separation*. Hydrol. Process. 2005.
- FARIAS JUNIOR. J.E.F.; IKEMOTO. S.M.; RAMOS. M.; FORMIGA-JOHNSSON. R.M. *Gestão de risco de inundações e a tragédia da Região Serrana: ações, resultados, desafios e perspectivas futuras*. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves. Anais. Porto Alegre: ABRH. 2013.
- FRANKE B, SEVEGNANI L. *Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: Água, gente e política*. Agência de Água do Vale do Itajaí, Blumenau. 2009
- GAUME E, BORGA M. *Post-food field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations*. J Flood Risk Manag. 2008.
- GAUME E, Bain V, BERNARDARA P, NEWINGER O. *A compilation of data on European flash floods*. J Hydrol. 2009.
- GFDRR; UNISDR; *Flood Risk Management at River Basin Scale: The Need to Adopt a Proactive Approach*. Urban Floods Community of Practice. 2017.
- GRIMM AM, FERRAZ SE, GOMES J. *Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña Events*. J Clim. 1998.
- GOERL. R. F.. KOBAYAMA. M. *Considerações sobre as inundações no Brasil*. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa. Anais. 2005.
- GUIMARÃES. R. M.; MAZOTO. M. L.; MARTINS. R.N.; CARMO. C. N.; ASMUS. C. I. *Construção e Validação de um Índice de Vulnerabilidade Socioambiental para a Vigilância e Gestão de Desastres Naturais no Estado do Rio de Janeiro*. 2014
- HALL JW, DAWSON RJ, SAYERS PB, Rosu C, CHATTERTON JB, DEAKIN R. *A methodology for national-scale flood risk assessment*. Proc Inst Civ Eng-Water Marit Eng. 2003.
- HUONG HTL, PATHIRANA A. *Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam*. Hydrol Earth Syst Sci. 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa de Informações Básicas Municipais 2017*. Rio de Janeiro, 2017.
- INEA/COPPETEC. *Avaliação da Rede Qualiquantitativa para Gestão das Águas no Estado do Rio de Janeiro e Proposição de Pontos de Controle em Bacias Estratégicas*. Instituto Estadual do Ambiente. Fundação Coppetec. *Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Temas Técnicos Estratégicos*. 2014.

- KELMAN. J.; MOREIRA. J.C. e MAGALHÃES. P.C. *Controle de Enchentes Urbanas - O Caso da Baixada Fluminense*. In: Anais do Seminário Regional sobre Gestão Ambiental Urbana. Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial (IDE). Rio de Janeiro. 1995.
- KOBIYAMA. M. et al. *Preservação de Desastres Naturais Conceitos Básicos*. Curitiba. Ed. Organic Trading. 2006.
- KUNDZEWICZ, Z.W., et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*. 2014.
- LEE KS, LEE SI. *Assessment of post-flooding conditions of rice fields with multi-temporal satellite SAR data*. *Int J Rem Sen*. 2003.
- LIMA, G, de; BOLDRIN, R. S.; MENDIONDO, E. M.; MAUAD, F. F. *Análise de Incertezas de Observações Hidrológicas e sua Influência na Modelagem de Pequenas Bacias Urbanas*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre. 2007.
- MCCALLUM, I, LIU, W., SEE, L., MECHLER, R., KEATING, A., HOCHRAINER-Stigler, J., MOCHIZUKI, J., FRITZ, S., DUGAR, S., ARESTEGUI, M., SZOENYI, M., BAYAS, J. L., BUREK, P., FRENCH, A., MOORTHY, I. *Technologies to Support Community Flood Disaster Risk Reduction*. *Int J Disaster Risk*. 2017.
- MOORE R. J.; BELL V. A.; JONES D. A. *Forecasting for flood Warning*. C. R. Geoscience. External Geophysics, Climate and Environment. 2005.
- MANDAL et. al. *Rainfall-runoff simulations using the CARIWIG Simple Model for Advection of Storms and Hurricanes and HEC-HMS: Implications of Hurricane Ivan over the Jamaica Hope River Watershed*. *Natural Hazards*. 2016.
- MARENGO JA. *The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region*. *Geophys Res Lett*. 2011.
- MARENGO JA, TORRES RR, ALVES LM. *Drought in Northeast Brazil—past, present, and future*. *Theor Appl Climatol*. 2016.
- MARENGO JÁ. *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*. FBDS, Rio de Janeiro. 2009.
- MCTAGGART-COWAN R. *Analysis of hurricane Catarina*. *Mon Weather Rev*. 2006.
- MEDEIROS. V. S. *Análise Estatística de Eventos Críticos de Precipitação Relacionados a Desastres Naturais em Diferentes Regiões do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.
- MERKURTEVA G. et al. *Advanced River Flood Monitoring, Modelling and Forecasting*. *Journal of Computational Science*. 2015.
- Ministério da Integração, Plano de Prevenção de Risco de Desastres. Brasil, 2015.

- OHNUMA JR. A. A.; VISSIRINI. F. S. B.; FORMIGA JOHNSON. R. M. *Gerenciamento Remoto de Cheias Urbanas para Prevenção e Mitigação de Riscos de Eventos Hidrológicos Extremos: Análise do Sistema do INEA-RJ*. Conferencia Internacional de Riscos Urbanos. Centro Europeu de Riscos Urbanos. Lisboa. 2016.
- OSCAR JR, A.C. e BRANDÃO, A.M.P.M. *O ritmo da pluviosidade em Duque de Caxias (RJ): a variabilidade climática enquanto insumo na tomada de decisão e políticas públicas*. Revista Geonorte, Edição Especial. 2012.
- PMDC. Programa: Apoio à prevenção e erradicação de riscos em assentamentos precários – *Plano Municipal de Redução de Risco. Município de Duque de Caxias*. Ministério das Cidades. 2013.
- PMDC. *Plano de Emergência Municipal*. Secretaria Municipal de Defesa Civil e Políticas de Segurança. 2016.
- RODRIGUES R, MCPHADEN M. *Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?* Geophys Res Lett. 2014.
- SAC. Sistema de Alerta de Cheias. <http://alertadecheias.com.br/>. Acessado em: 29/03/2016.
- SCS, (Soil Conservation Service). *Urban hydrology for Small Watersheds*. Washington: U.S. Department of Agriculture. Technical Release. (1975).
- SERLA. Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí. Ênfase: *Controle de Inundações. Estudos Hidrológicos*. V.1. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Projetos Especiais. Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas. Convênio SERLA-COPPE/UFRJ. Financiamento CEF/BIRD 2975-BR. Projeto PNUD BRA 93/022. 1994.
- TATIZANA C.; OGURA A. T.; CERRI L. E. S.; ROCHA M. C. M. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar, município de Cubatão. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo. Anais; 1987. CD-ROM.
- TOMINAGA. L. K.. SANTORO. J.. AMARAL. R. *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. – São Paulo: Instituto Geológico. 2009.
- TUCCI, C. E. M. *Água no Meio Urbano*. 1ª Ed, Porto Alegre: ABRH/RHAMA. 1997.
- TUCCI, C. E. M. *Inundações Urbanas*. 1ª Ed, Porto Alegre: ABRH/RHAMA. 2007.
- TUCCI. C. E. M. *Modelos Hidrológicos*. 1ª Ed. ABRH: Porto Alegre. 1998.
- USACE. *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual*, Version 4.1. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2010.
- UNISDR. *Guidelines for Reducing Flood Losses*. Editor: Paul J. Pilon. 2004.

UNISDR. *Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030, Third United Nations World Conference on Disaster Risk Reduction*. Sendai, Japan. 2015.

UNISDR. *United Nations International Strategy for Disaster Reduction*. (2009). Terminology on disaster risk reduction. Geneva: UNISDR. 2009.

VIANNA. L.P.S.; et al. *Sistema de Alerta de Cheias do Estado do Rio de Janeiro: Situação atual e perspectivas*. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. XVIII SBRH. ABRH. Campo Grande. MS. Anais. Nov. 2009.

VISSIRINI. F. S. B.; OHNUMA JR. A. A.; AREAS. I.; FERRELI. T. *Plano Municipal de Redução de Risco de Desastres de Inundação para Duque de Caxias – Rio de Janeiro*. Conferencia Internacional de Riscos Urbanos. Centro Europeu de Riscos Urbanos. Lisboa. 2016.

VISSIRINI F. S. B.; OHNUMA JR. A. A.; *Análise Pluviométrica na Bacia do Rio Capivari, Duque de Caxias – RJ*. I Workshop Brasileiro para Avaliação de Ameaças, Vulnerabilidades, Exposição e Redução de Risco de Desastres. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. São José dos Campos. 2017.

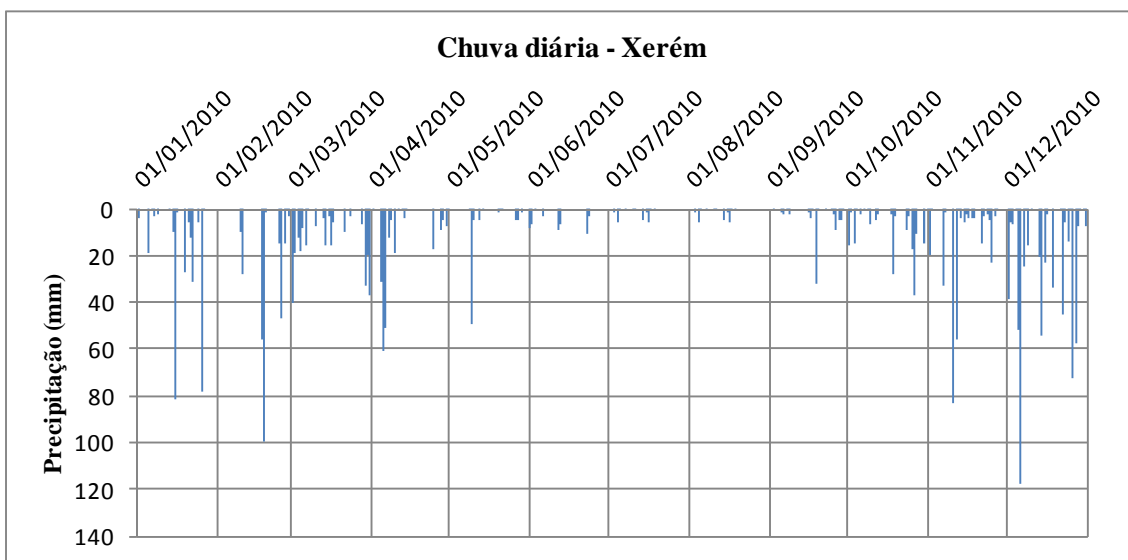
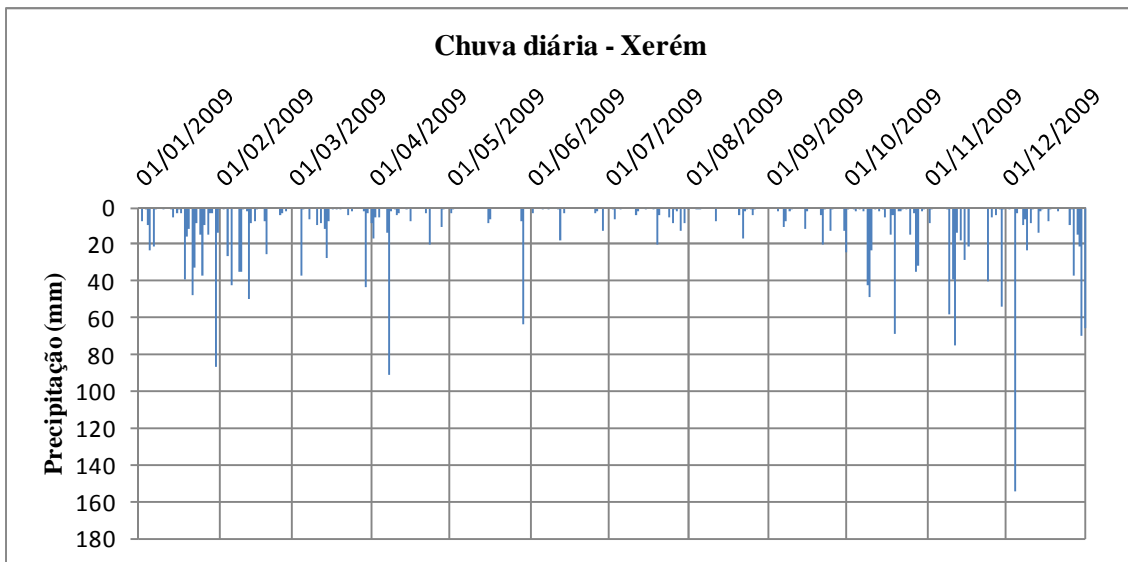
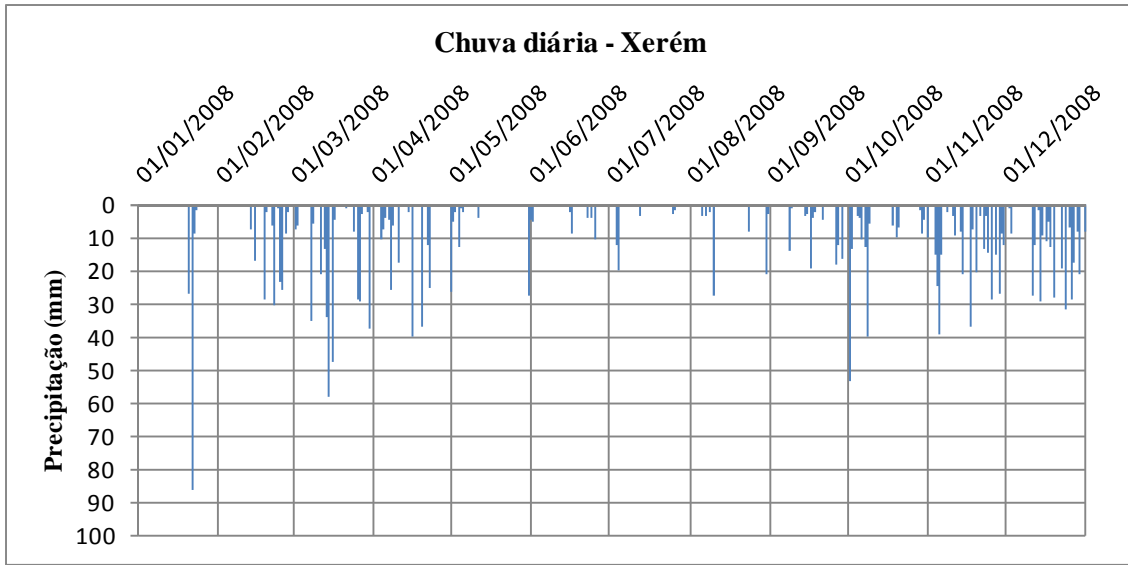
VISSIRINI F. S. B.; OHNUMA JR. A. A.; *Ações de Defesa Civil Municipal para Prevenção de Desastres: Bacia do Rio Capivari – Duque de Caxias – RJ - Brasil*. I Workshop Brasileiro para Avaliação de Ameaças, Vulnerabilidades, Exposição e Redução de Risco de Desastres. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. São José dos Campos. 2017.

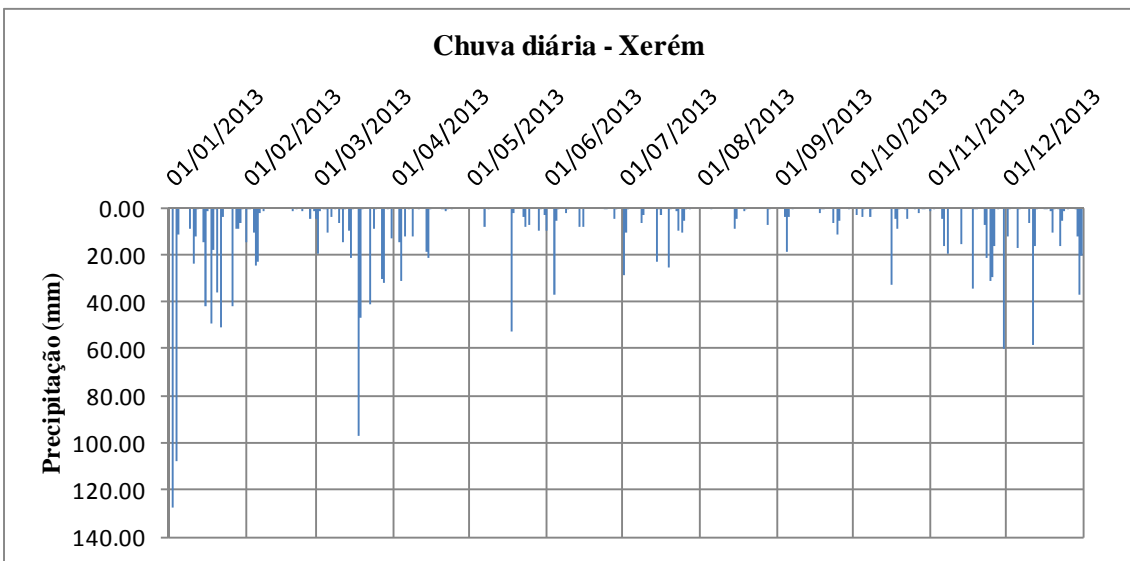
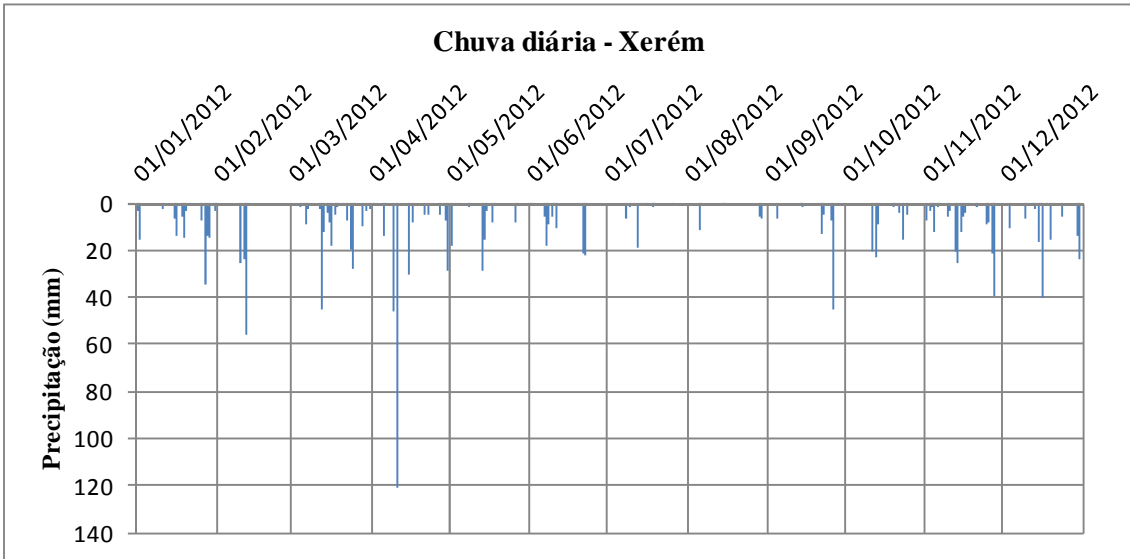
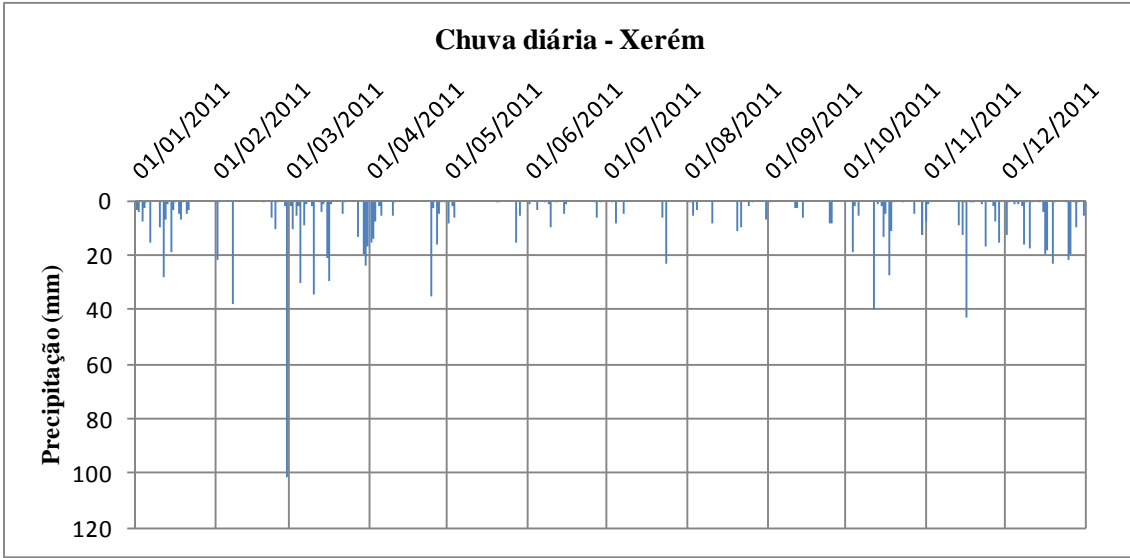
VOJINOVIC Z, TUTULIC D. *On the use of 1D and coupled 1D-2D approaches for assessment of flood damages in urban areas*. Urban Water J. 2009

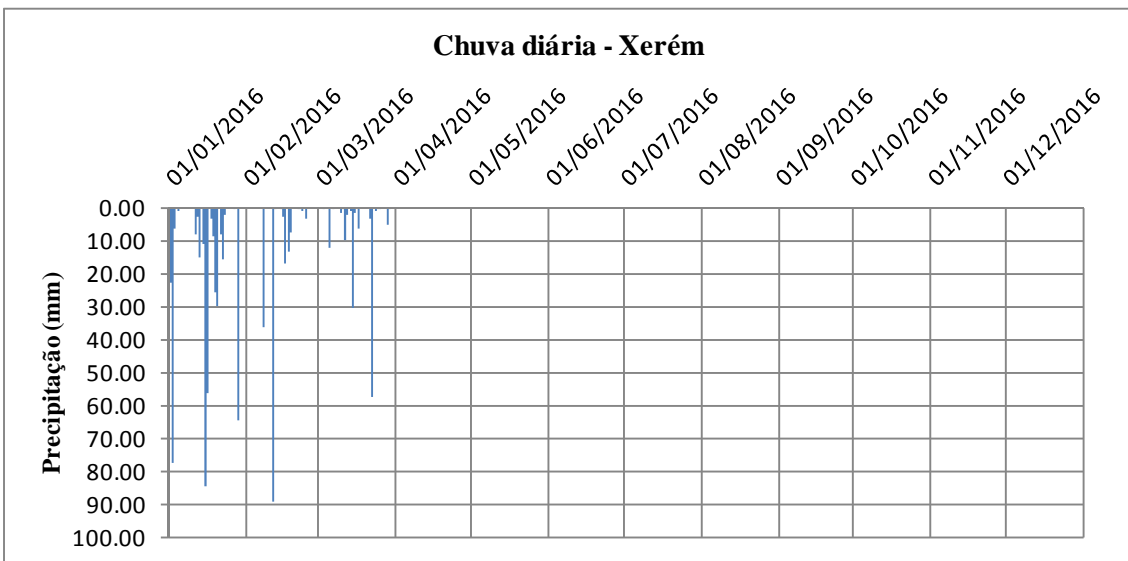
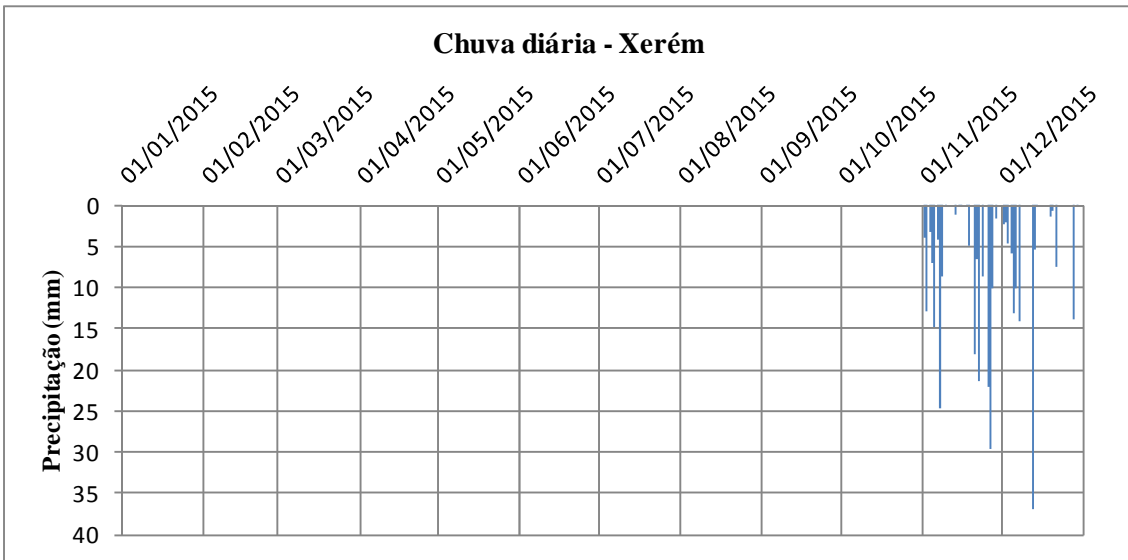
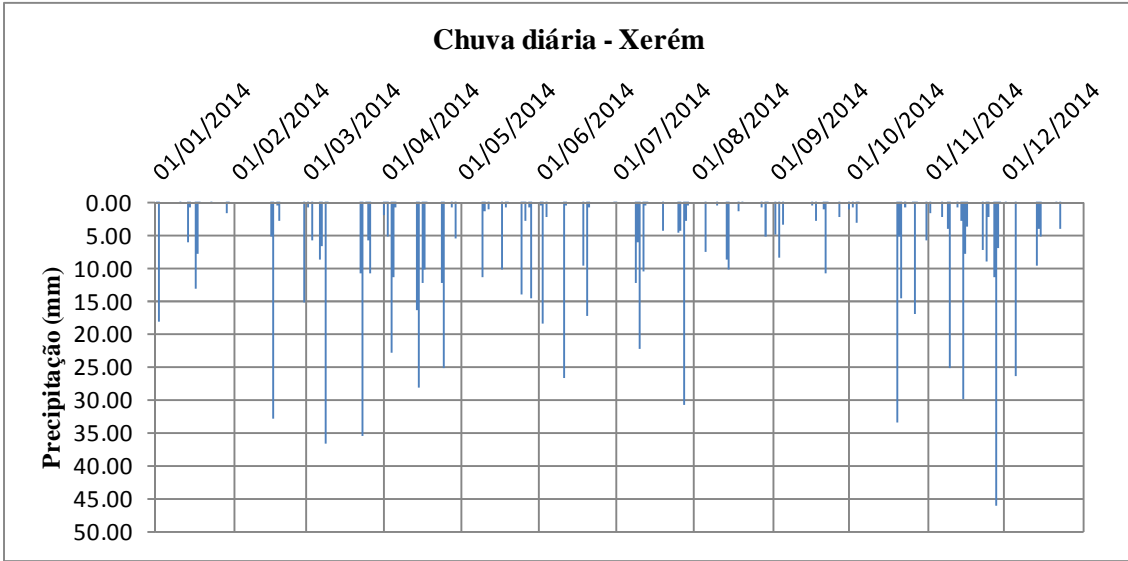
VOJINOVIC Z, ABBOTT MB. *Flood risk and social justice: from quantitative to qualitative flood risk assessment and mitigation*. IWA Publishing, London. 2012.

ANEXO I – Dados diários das estações do INEA – Ponte de Ferro Capivari e Xerém

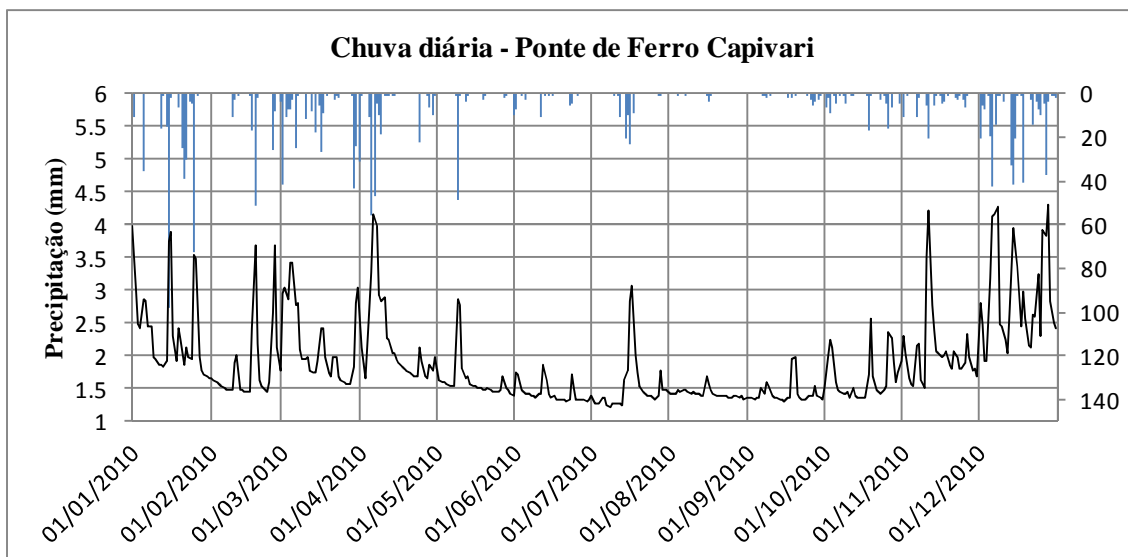
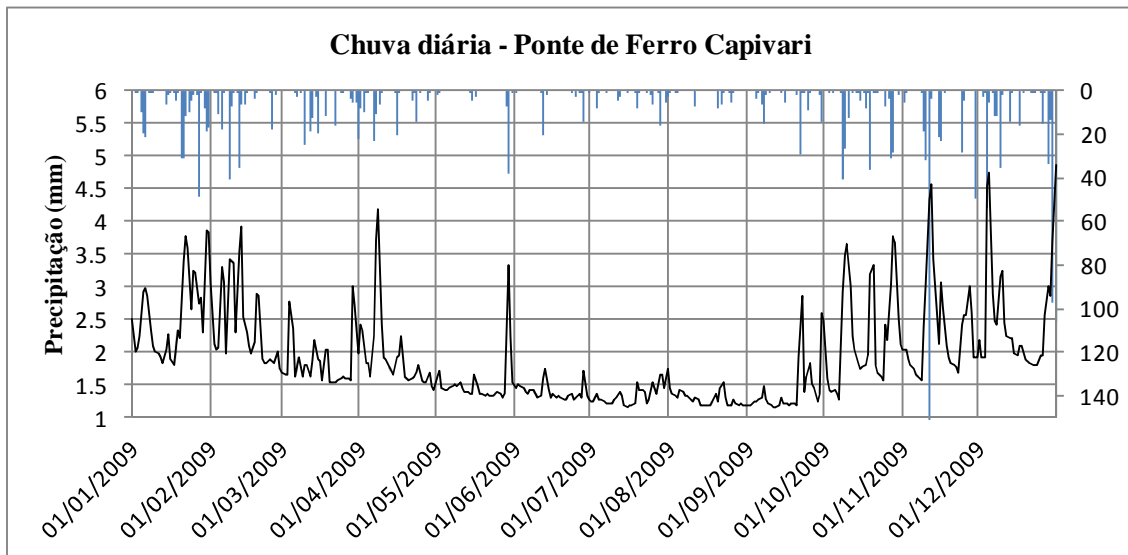
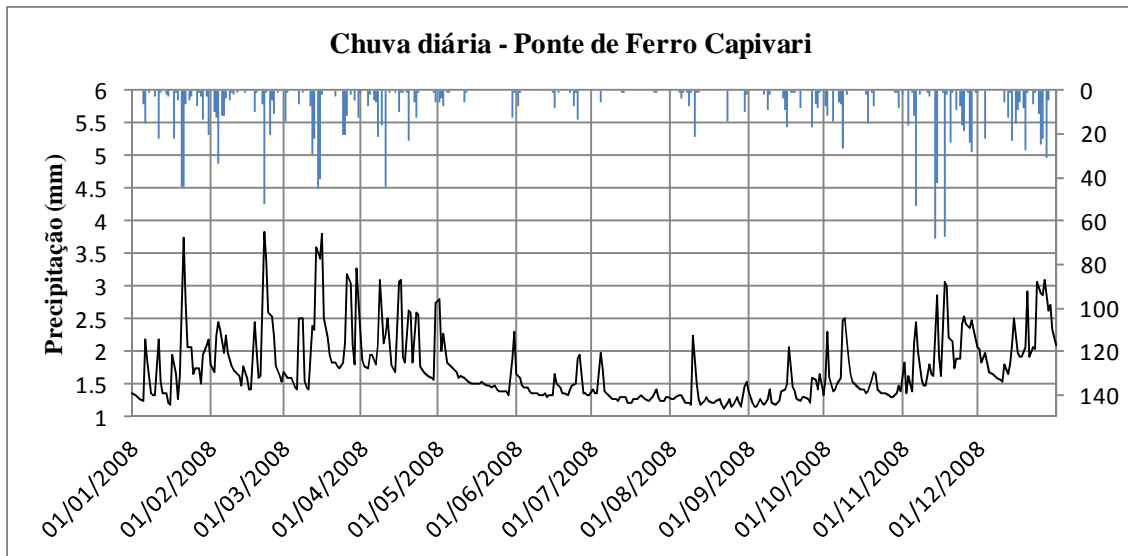
Dados de chuva diários da estação pluviométrica de Xerém

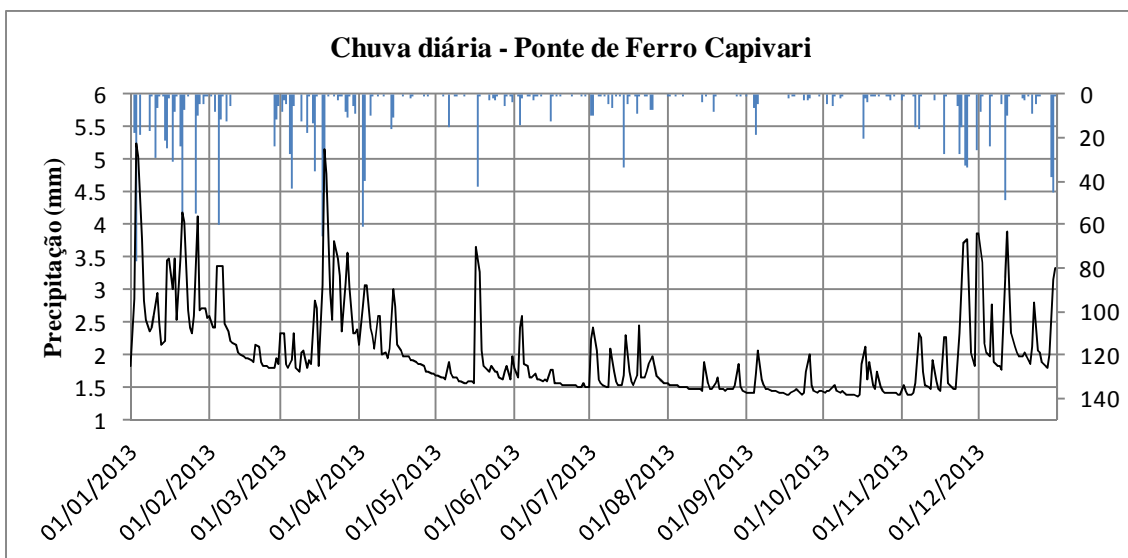
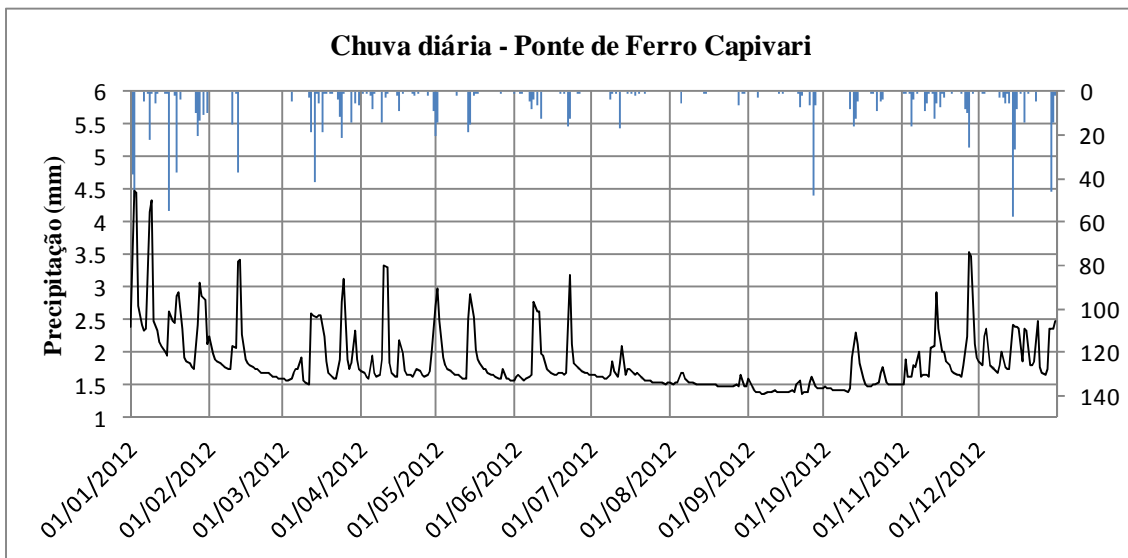
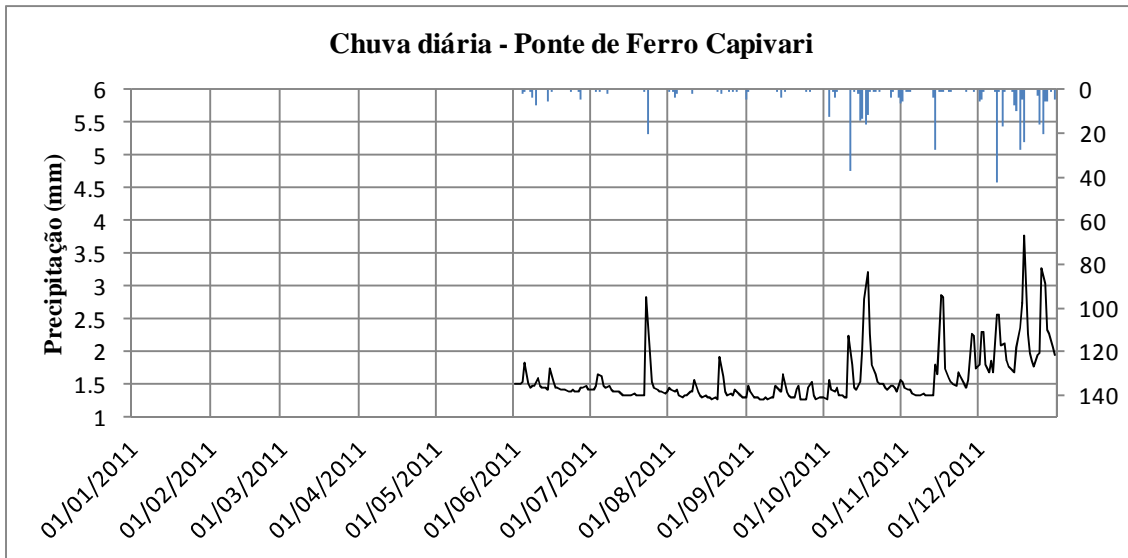


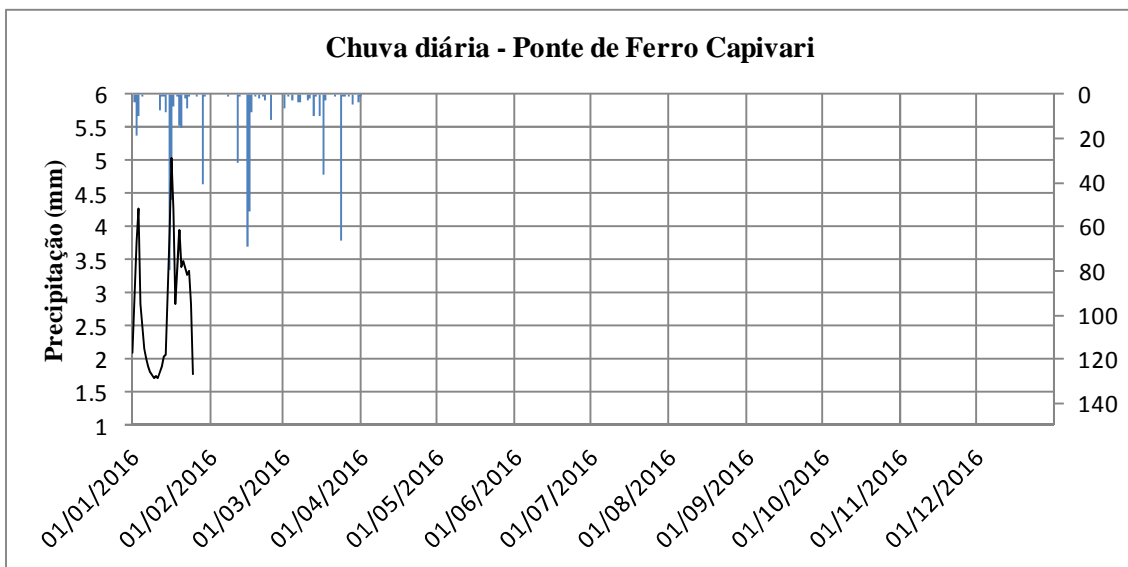
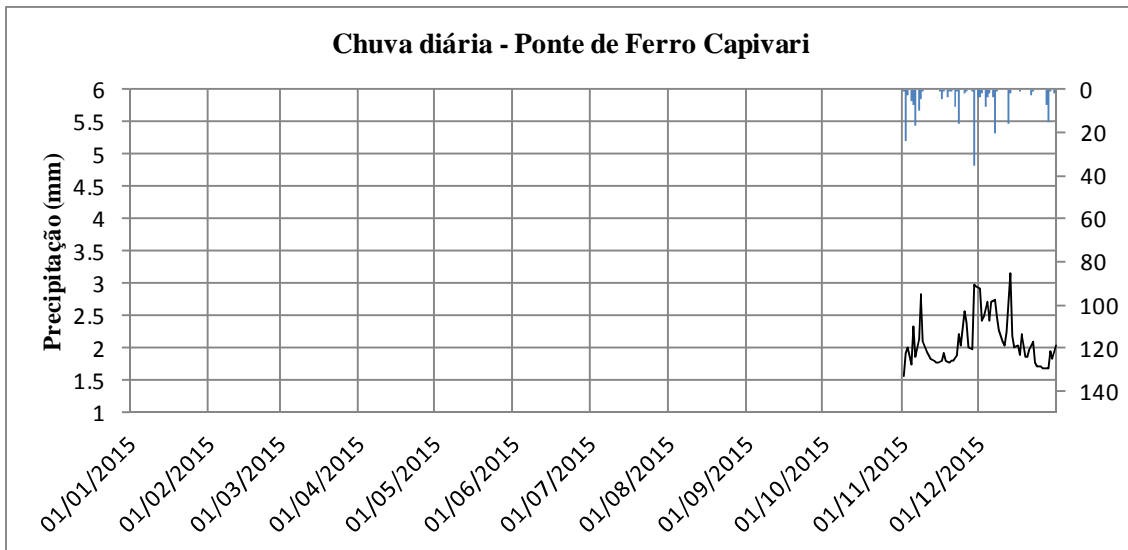
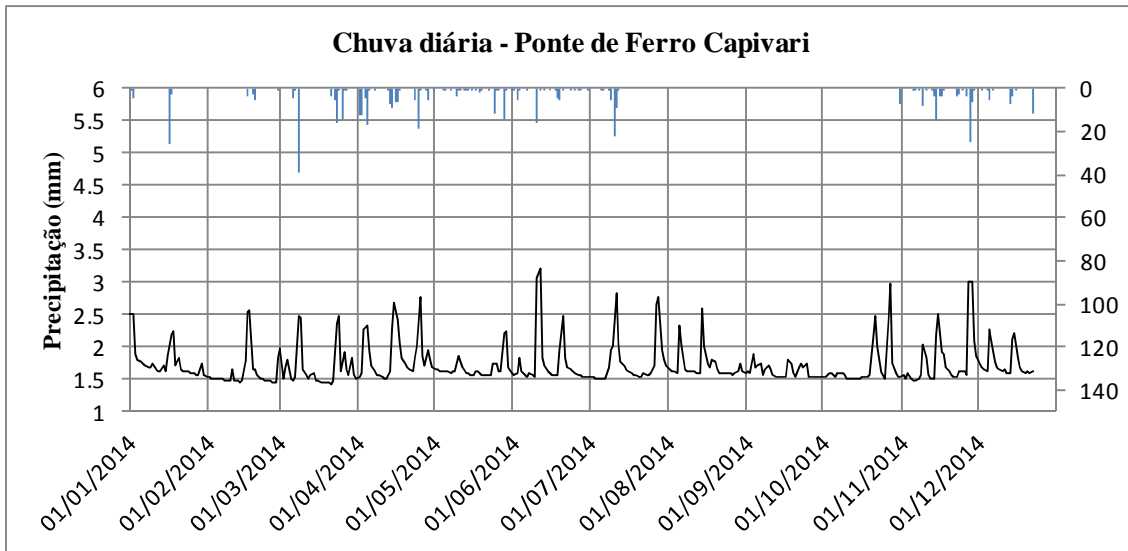




Dados de chuva e nível diários da estação hidrológica de Ponte de Ferro Capivari







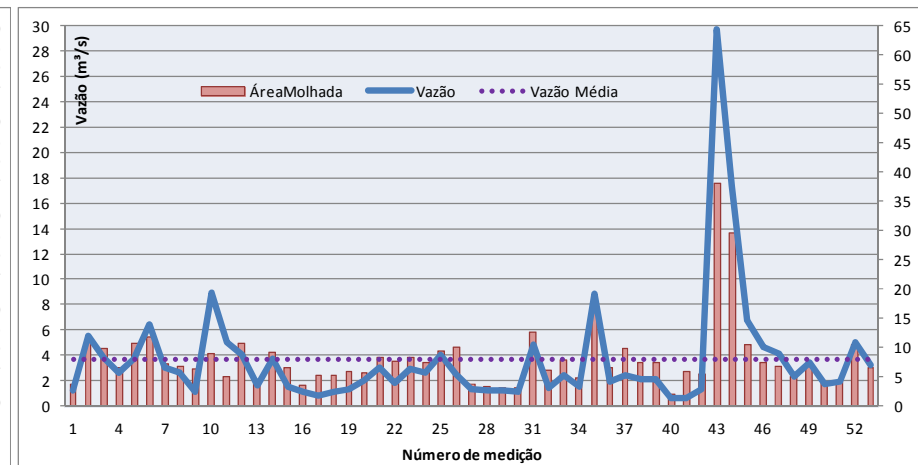
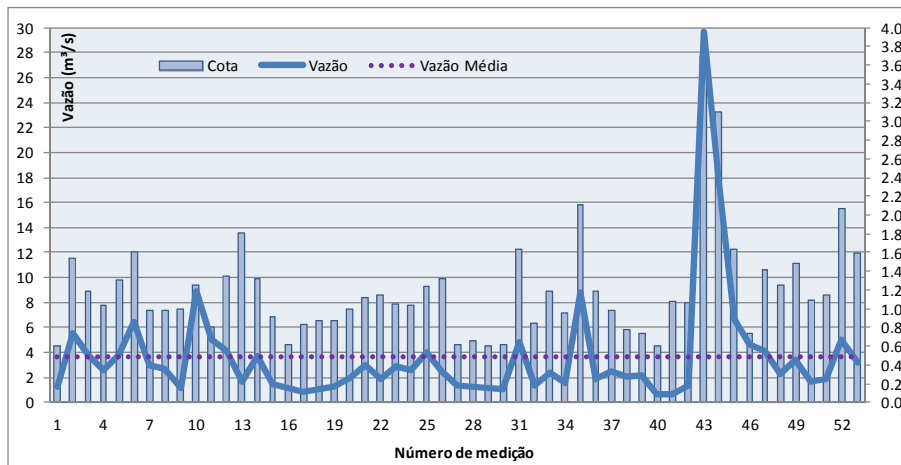
ANEXO II – Dados diários da estação Ponte de Ferro Capivari (ANA)

RESUMO DE DESCARGAS – Código da Estação: 59281300

Data	Número da medição	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)	Área Molhada (m ²)	Largura (m)	Velocidade Média (m/s)	Profundidade (m)
24/09/1998	1	60	1,22	3,66			
02/10/1998	2	154	5,55	12,03			
14/10/1998	3	118	3,79	9,71			
21/10/1998	4	103	2,62	6,56			
05/11/1998	5	131	3,77	10,75			
24/11/1998	6	160	6,44	11,82			
10/12/1998	7	98	3,03	7,12			
11/12/1998	8	98	2,66	6,85			
15/12/1998	9	99	1,13	6,32			
11/01/1999	10	126	8,93	8,93			
26/01/1999	11	80	5,02	5,02			
11/02/1999	12	135	4,07	10,61			
25/02/1999	13	181	1,64	4,23			
20/03/1999	14	132	3,72	9,22			
01/05/1999	15	92	1,51	6,64			
16/06/1999	16	62	1,12	3,59			
21/07/1999	17	83	0,82	5,29			
04/08/1999	18	87	1,08	5,19			
14/09/1999	19	88	1,26	5,81			
28/10/1999	20	100	1,99	5,74			
02/12/1999	21	112	3,03	8,26			
28/12/1999	22	115	1,85	7,61			
19/01/2000	23	105	2,89	8,18			

Data	Número da medição	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Área Molhada (m²)	Largura (m)	Velocidade Média (m/s)	Profundidade (m)
24/02/2000	24	104	2,61	7,37			
22/03/2000	25	124	3,98	9,38			
19/04/2000	26	132	2,49	9,97			
23/05/2000	27	62	1,34	3,62			
07/06/2000	28	66	1,22	3,37			
13/07/2000	29	60	1,19	3,13			
16/08/2000	30	61	1,06	3,03			
26/09/2000	31	164	4,83	12,67			
30/10/2000	32	84	1,39	6,07			
22/11/2000	33	118	2,39	7,75			
30/11/2000	34	96	1,54	4,86			
06/12/2000	35	211	8,81	17,15			
13/12/2000	36	119	1,89	6,57			
12/01/2001	37	98	2,46	9,76			
22/01/2001	38	78	2,07	7,38			
26/01/2001	39	74	2,15	7,32			
11/05/2001	40	60	0,62	1,93	7,5		0,26
04/07/2001	41	108	0,63	5,87	8,7		0,67
30/07/2001	42	107	1,33	5,39	9,5		0,57
19/01/2005	43	370	29,7	38	12	0,78	3,17
19/01/2005	44	310	17,4	29,7	11,3	0,58	2,63
22/02/2005	45	163	6,69	10,5	9,6	0,64	1,1
02/03/2005	46	74	4,61	7,37	8,9	0,62	0,83
16/03/2005	47	141	4,15	6,83	8,35	0,61	0,82
13/05/2005	48	125	2,3	4,97	8,3	0,46	0,6

Data	Número da medição	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)	Área Molhada (m ²)	Largura (m)	Velocidade Media (m/s)	Profundidade (m)
26/05/2005	49	148	3,41	6,92	8,5	0,49	0,81
30/06/2005	50	109	1,67	3,88	8,3	0,43	0,47
13/07/2005	51	114	1,89	4,13	7,85	0,46	0,53
17/12/2008	52	207	5,03	10,4	11	0,48	0,94
03/02/2009	53	159	3,22	6,43	10,5	0,5	0,61



DADOS DE COTA – Código da Estação: 59281300

Data	Cota 01	Cota 02	Cota 03	Cota 04	Cota 05	Cota 06	Cota 07	Cota 08	Cota 09	Cota 10	Cota 11	Cota 12	Cota 13	Cota 14	Cota 15	Cota 16	Cota 17	Cota 18	Cota 19	Cota 20	Cota 21	Cota 22	Cota 23	Cota 24	Cota 25	Cota 26	Cota 27	Cota 28	Cota 29	Cota 30	Cota 31	
01/09/1998																							123	69	66	68	59	55	71			
01/10/1998	113	159	145.5	128.5	159.5	132	127	168	135	151.5	115	106	152	117	116	100	101	132	152	135.5	118	100	107	92	251	188	143	125	116	166	167	
01/11/1998	159.5	148	158	151	136	125	118	121	112	107	220	184	142	135	129	121	118	126	157	199	154	185	176	154	133	125	120	204	136	133		
01/12/1998	130	129	128	123	126	117	116	102	99	94	90	85	80	92	99	140	118	111	135	142	123	94	125	184	151	200	204	184	130	120	128	
01/01/1999	143	151	188	143	138	114	145	154	168.5	155	129.5	119	99.5	96	142	156	142	143	129	122	110	90	87	81	80	77	73	139	121	125	140	
01/02/1999	142	138	136	128	107	85	84	76	75	104	187	158	94	95	104	124	129	146	126	135	101	78	80	110	89	78	87	90				
01/03/1999	89	107	125	117	157	123	107	86	87	100	236	216	331	185	147	137	134	129	123	113	100	109	148	180	131	119	118	117	121	135	122	
01/04/1999	131	133	104	103	101	88	70	63	70	178	78	79	77	93	109	100	115	90	115	99	81	74	60	64	75	68	64	71	67	73		
01/05/1999	82	82	80	77	67	66	64	71	60	59	52	54	56	114	84	74	58	69	55	77	84	64	50	36	36	39	37	37	85	56	104	
01/06/1999	129	88	72	96	81	98	125	109	93	93	72	96	113	88	88	92	88	77	75	74	83	63	65	50	65	53	73	74	57	104		
01/07/1999	109	98	74	66	94	151	85	69	89	89	96	85	83	77	74.5	78	78	83	77	65	64	54	72	68	69	67	74	79	91	97	96	
01/08/1999	123	92	68	62	59	59	56	74	89	101	90	92	100	101	149	116	105	81	70	68	52	53	57	77	60	74	88	95	104	100	91	
01/09/1999	64	62	52	55	54	63	60	89	71	102	136	125	115	90	73	94	91	75	68	61	70	62	105	121	60.5	75	71	97	87	106		
01/10/1999	69	69	131	171	180	125	117	110	117	133	139	105	93	86	85	84	76	93	128	176	191	205	198	174	168	164	149	134	95	83	91	
01/11/1999	83	75	76	64	66	140	107	81	96	193	256	154	136	166	211	261	169	153	140	133	130	135	138	138	175	128	166	141	135	125		
01/12/1999	110	125	87	85	92	103	125	158	155	245	303	319	185	161	149	136	139	138	115	116	117	129	143	149	139	128	94	89	90	88	53	
01/01/2000	174	144	317	165	149	146	146	141	98	115	98	89	91	90	163	98	99	98	138	182	114	125	114	121	95	85	278	162.5	124	114	95	
01/02/2000	94	93	102	111	117	137	122	108	145	95	91	75	70	67	69	93	285	170	170	134	132	124	110	93	91	84	83	79	76			
01/03/2000	67	77	77	76	79	105	109	155	129	90	84	210	138	98	91	88	103	98	227	206	165	145	150	127	109	105	93	95	135	152	117	
01/04/2000	155	179	301	185	163	165	141	151	130	119	113	99	93	85	76	97	110	124	118	127	127	131	120	93	85	82	73	79	70	75		
01/05/2000	77	90	105	89	86	125	110	99	98	91	85	96	66	75	80	82	85	91	101	107	90	85	64	70	70	55	64	90	91	81	94	
01/06/2000	95.5	114	102	84	68.5	62	63	63	70	49	54	55	63	62	67	72	76	99	93	85	97	77	84	47	58	50	58	61	53	72		
01/07/2000	93	79	68	90	124	113	70	62	53	54	58	61	87	79	87	163	151	141	112	95	106	101	79	91	85	75	76	70	86	88	96	
01/08/2000	90	94	75	128	137	92	77	73	83	99	159	110	114	100	104	86	107	100	88	78	76	65	63	57	71	71	99	105	127	105	103	
01/09/2000	100	239	190	255	190	175	168	163	145	138	139	148	148	170	184	175	168	173	148	116	105	87	95	87	107	190	160	137	103	91		
01/10/2000	106	106	92	85	74	91	115	97	95	83	93	105	114	107	121	96	94	88	69	71	68	75	90	62	88	107	105	97	159	117	104	
01/11/2000	80	62	66	60	72	80	125	123	93	95	96	95	93	94	162	124	84	87	116	86	87	125	85	91	94	175	177	145	131	133		
01/12/2000	185	199	160	129	122	193	147	129	122	126	137	129	112	96	95	95	119	220	197	172	158	141	137	114	132	187	135	136	136	131	131	
01/01/2001	382	255	190	145	175	161	156	150	146	148	121	108	143	122	106	98	93	89	83	84	99	87	92	98	165	145	148	93	78	72	107	
01/03/2001																						96	103	108	110	115	112	108	97	222	185	155
01/04/2001	94	85	62	130	98	103	107	100	116	107	116	140	120	81	71	71	79	73	72	83	105	115	115	114	106	129	108	77	69	65		
01/05/2001	80	72	68	86	84	80	80	94	98	94	124	100	80	70	68	82	68	84	120	140	94	92	100	120	115	114	94	92	74	68		
01/06/2001	61	66	72	84	123	150	159	106	88	91	98	118	86	159	140	120	105	94	106	90	92	111	114	113	106	126	88	81	85	80		
01/07/2001	66	72	66	77	91	103	105	92	94	79	80	77	90	83	80	71	81	91	140	108	165	142	179	124	99	91	119	103	142	84	99	
01/08/2001	89	85	78	72	87	106	104	87	81	80	80	74	71	65	74	86	79	92	89	93	92	113	112	84	78	75	74	74	92	82	87	
01/09/2001	103	88	104	127	107	106	119	89	79	88	80	89	101	79	101	120	148	144	113	97	79	79	68	71	74	71	88	114	125	89		
01/10/2001	84	105	113	120	128	112	100	88	82	75	70	94	100	108	104	98	92	91	82	124	127	89	91	87	100	93	79	81	76	94	109	
01/11/2001	119	117	146	174	174	121	93	94	100	84	97	176	167	149	147	149	159	143	138	97	95	91	90	85	76	85	87	89	110	119		
01/03/2005																146	137.5	140	146	142	139	139	148	154	180	194	169	179	147	139	137	
01/04/2005	135	133	125	125	152	154	134	131	133	139	138	123	121	120	123	113	119	191	147	115	135	202	150	185	152	228	183	169	165	160		

Data	Cota 01	Cota 02	Cota 03	Cota 04	Cota 05	Cota 06	Cota 07	Cota 08	Cota 09	Cota 10	Cota 11	Cota 12	Cota 13	Cota 14	Cota 15	Cota 16	Cota 17	Cota 18	Cota 19	Cota 20	Cota 21	Cota 22	Cota 23
01/08/2012	150.61	149.83	149.82	151.55	154.81	163.3	154.84	151.08	151.36	150.49	150.25	149.36	150.17	150	147.58	147.78	147.89	148.05	147.59	147.47	146.05	145.86	145.86
01/09/2012	151.48	141.46	138.14	136.52	136.46	135.29	135.58	135.9	135.82	135.77	135.92	135.97	135.84	136.2	136.03	135.93	135.79	138.02	136.75	139.79	147.59	135.67	135.67
01/10/2012	145.46	144.3	143.31	142.34	141.22	140.91	140	140.14	140.2	138.08	137.97	176.06	194.4	200.17	168.54	155.45	150.73	147.88	146.78	148.92	147	150.8	150.8
01/11/2012	148.17	169.91	159.21	157.78	172.83	169.91	176.03	159.72	156.56	164.36	162.46	163.57	187.22	249.05	222.19	194.58	192.19	181.33	176.02	170.52	168.62	164.98	164.98
01/12/2012	183.1	179.02	181.49	199.84	178.7	174.5	171.49	168.58	169.29	186.84	171.8	171.6	169.42	195.07	209.84	197.62	217.31	180	183.03	202.35	174.79	173.99	173.99
01/01/2013	174.52	170.89	471.48	429.22	316.56	267.36	244.42	232.36	226.94	224.28	261.27	226.91	209.78	211.59	228.59	259.08	238.5	293.54	229.75	286.52	319.32	308.02	308.02
01/02/2013	240.56	227.67	225.56	265.83	281.52	276.38	240.23	226.33	217.82	212.53	211.16	202.72	199.23	196.07	193.67	191.61	188.7	187.06	187.17	193.05	183	179.12	179.12
01/03/2013	213.84	199.41	182.35	176.94	183.86	200.91	177.74	172.59	174.96	184.93	174.33	182.93	171.82	203.34	213.18	182.25	184.07	479.52	372.99	269.99	244.82	259.84	259.84
01/04/2013	211.47	215.7	241.38	247	217.49	213.96	204.11	203.99	213.62	198.59	198	193.36	191.82	276.85	234.52	211.42	202.68	197.39	195.31	194.9	190.4	189.55	189.55

ANEXO III – Ajuste estatístico de Gumbel, estação Ponte de Ferro Capivari e Xerém

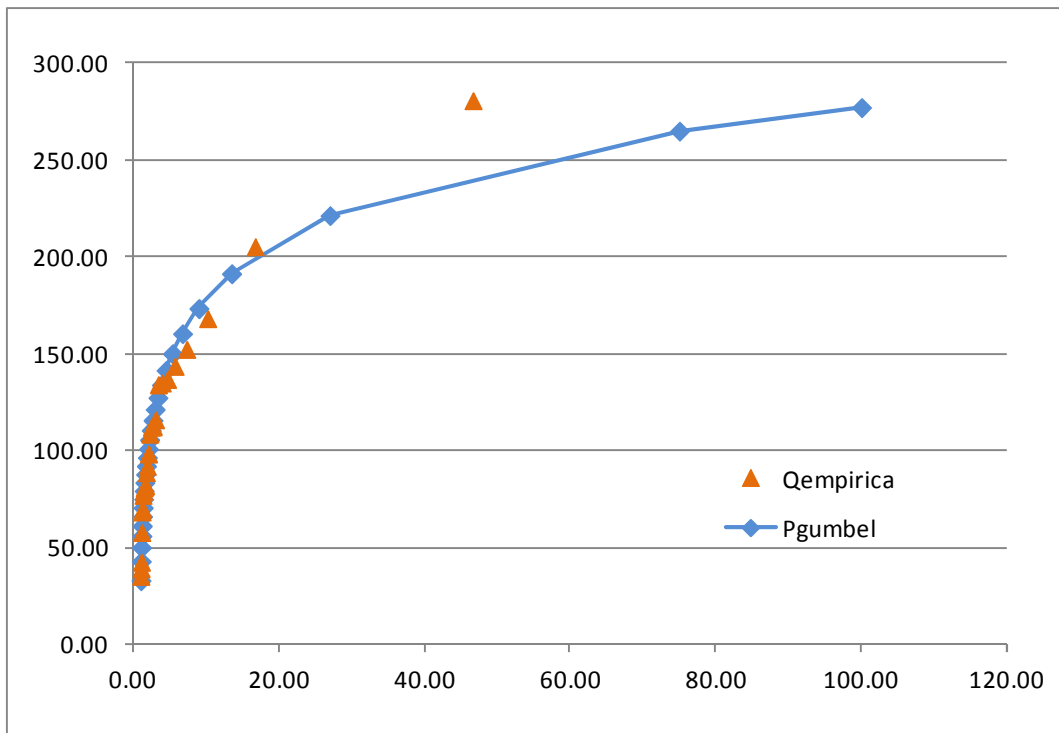
ESTAÇÃO XERÉM

Ano de Ocorrência	P (mm)	Número de ordem m	Posição de plotagem empírica	P em ordem decrescente (mm)	P - P _{média}	(P - P _{média}) ²	Prob (%)	TR	P _{gumbel}
								100.00	277.24
								75.00	265.04
1977	116.00	1	46.64	280.70	173.09	29959.62	96.30	27.00	221.45
1978	143.60	2	16.74	205.40	97.79	9562.58	92.59	13.50	191.41
1979	134.10	3	10.20	168.20	60.59	3670.96	88.89	9.00	173.46
1980	88.70	4	7.34	152.40	44.79	2006.01	85.19	6.75	160.46
1981	280.70	5	5.73	143.60	35.99	1295.17	81.48	5.40	150.14
1982	92.00	6	4.70	136.90	29.29	857.81	77.78	4.50	141.51
1983	135.00	7	3.98	135.00	27.39	750.13	74.07	3.86	134.03
1984	80.80	8	3.46	134.10	26.49	701.64	70.37	3.38	127.37
1985	112.40	9	3.05	116.00	8.39	70.37	66.67	3.00	121.34
1986	81.60	10	2.73	112.40	4.79	22.93	62.96	2.70	115.78
1987	108.60	11	2.47	112.20	4.59	21.05	59.26	2.45	110.58
1988	136.90	12	2.26	108.60	0.99	0.98	55.56	2.25	105.68
1989	81.90	13	2.08	98.40	-9.21	84.85	51.85	2.08	101.00
1990	168.20	14	1.93	92.00	-15.61	243.72	48.15	1.93	96.49
1991	112.20	15	1.79	88.70	-18.91	357.65	44.44	1.80	92.11
1992	205.40	16	1.68	81.90	-25.71	661.08	40.74	1.69	87.81
1993	70.00	17	1.58	81.60	-26.01	676.60	37.04	1.59	83.56
2008	68.40	18	1.49	80.80	-26.81	718.86	33.33	1.50	79.31
2009	152.40	19	1.41	79.20	-28.41	807.22	29.63	1.42	75.01
2010	98.40	20	1.34	77.00	-30.61	937.07	25.93	1.35	70.62
2011*	42.40	21	1.27	70.00	-37.61	1414.63	22.22	1.29	66.06
2012	57.80	22	1.21	68.40	-39.21	1537.54	18.52	1.23	61.24
2013	77.00	23	1.16	57.80	-49.81	2481.19	14.81	1.17	56.00
2014	39.00	24	1.11	42.40	-65.21	4252.54	11.11	1.13	50.08
2015*	35.20	25	1.06	39.00	-68.61	4707.54	7.41	1.08	42.94
2016*	79.20	26	1.02	35.20	-72.41	5243.43	3.70	1.04	32.98

TR	Precipitação (mm)
2	98.73
5	146.52
10	178.16
15	196.02
25	218.14
50	247.80
100	277.24

<i>Momentos da distribuição de Gumbel</i>	
ALFA	42.1663
BETA	83.2731
GAMA	1.1396

<i>Estatísticas da amostra</i>	
n	26
P _{média}	107.61
$\sum(P - P_{m\acute{e}dia})^2$	73043.17
σ	54.05



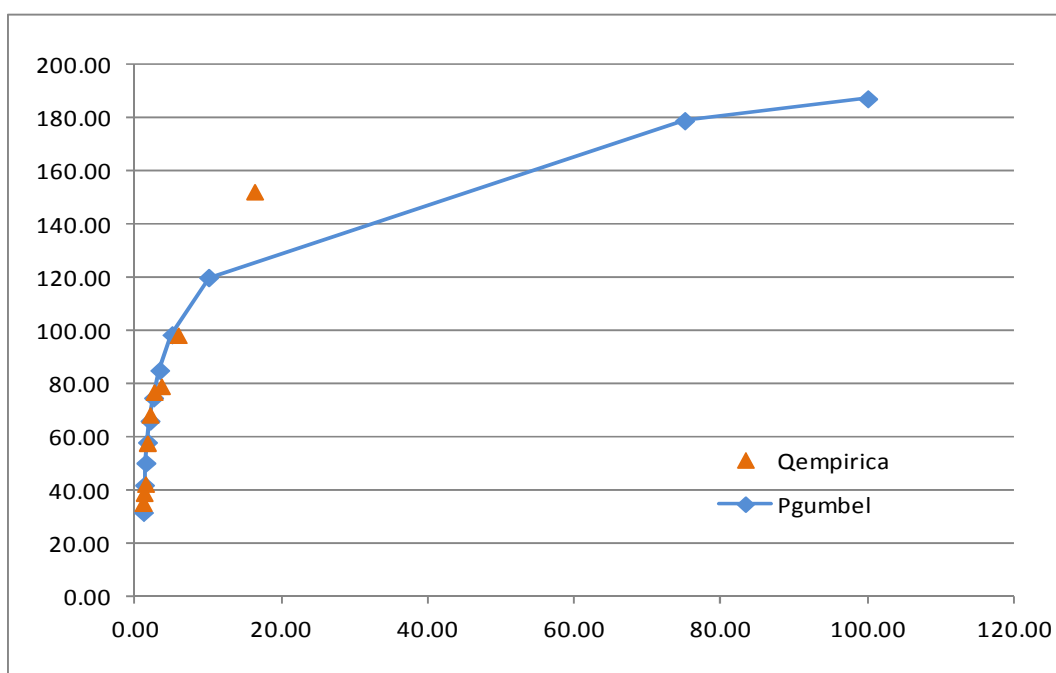
AJUSTE ESTATÍSTICO DE GUMBEL – ESTAÇÃO PONTE DE FERRO CAPIVARI

Ano de Ocorrência	P (mm)	Número de ordem m	Posição de plotagem empírica	P em ordem decrescente (mm)	P - $P_{\text{média}}$	$(P - P_{\text{média}})^2$	Prob (%)	TR	Pgumbel
								100.00	187.36
								75.00	179.07
2008	68.40	1	16.29	152.40	80.20	6432.04	90.00	10.00	120.09
2009	152.40	2	5.85	98.40	26.20	686.44	80.00	5.00	98.61
2010	98.40	3	3.56	79.20	7.00	49.00	70.00	3.33	85.19
2011*	42.40	4	2.56	77.00	4.80	23.04	60.00	2.50	74.91
2012	57.80	5	2.00	68.40	-3.80	14.44	50.00	2.00	66.17
2013	77.00	6	1.64	57.80	-14.40	207.36	40.00	1.67	58.18
2014	39.00	7	1.39	42.40	-29.80	888.04	30.00	1.43	50.36
2015*	35.20	8	1.21	39.00	-33.20	1102.24	20.00	1.25	42.06
2016*	79.20	9	1.07	35.20	-37.00	1369.00	10.00	1.11	31.80

TR	Precipitação (mm)
2	66.17
5	98.61
10	120.09
15	132.21
25	147.23
50	167.37
100	187.36

<i>Momentos da distribuição de Gumbel</i>	
ALFA	28.6247
BETA	55.6778
GAMA	1.1396

<i>Estatísticas da amostra</i>	
n	9
$P_{\text{média}}$	72.20
$\sum(P - P_{\text{média}})^2$	10771.60
σ	36.69



ANEXO IV – Resultado da modelagem hidráulica do trecho rio João Pinto

Perfil da Modelagem realizada no rio João Pinto

