

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RENAN ONGARATTO**

**MODELAGEM DE HIDROGRAMAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL SOB  
DIFERENTES INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE  
PATO BRANCO-PR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2018**

RENAN ONGARATTO

**MODELAGEM DE HIDROGRAMAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL SOB  
DIFERENTES INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE  
PATO BRANCO-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil pela Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus  
Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Cesar  
Lucas

PATO BRANCO

2018



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

# **MODELAGEM DE HIDROGRAMAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO - PR**

## **RENAN ONGARATTO**

No dia 18 de junho de 2018, às 16h30min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº09-TCC/2018.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Cesar Lucas (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. Henrique dos Santos Felipetto (PPGTP/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. Cesar Augusto M. Destro (DACOC/UTFPR-PB)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por todas as oportunidades, bênçãos e desafios que me fazem evoluir e me tornam uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus pais, Renato Adão Ongaratto e Miria Salete Castaman Ongaratto, pelo apoio e amor incondicional em todas as etapas da minha vida, sem eles essa realização não seria possível.

A todos amigos e familiares que de alguma forma ou outra me incentivaram e sempre acreditaram em mim.

Ao orientador Prof. Dr. Murilo Cesar Lucas, pela oportunidade e pelo auxílio na realização deste trabalho. Também aos professores Dr. Ney Lyzandro Tabalipa e Msc. Henrique dos Santos Felipetto pelo auxílio na obtenção de alguns dados fundamentais para a realização do estudo.

Aos professores membros da banca examinadora Dr. Cesar Augusto M. Destro e Msc. Henrique dos Santos Felipetto, pelos comentários, correções e contribuições para o enriquecimento desse trabalho.

À Fundação Araucária pela bolsa iniciação científica, que possibilitou a realização deste estudo. Bem como, à CAPES, pela bolsa recebida durante o Programa Ciências sem Fronteiras, onde o conhecimento adquirido foi fundamental para a realização deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a todos os professores do Departamento de Construção Civil de Pato Branco por todos os ensinamentos passados durante a formação acadêmica.

## RESUMO

ONGARATTO, Renan. **MODELAGEM DE HIDROGRAMAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO-PR.** 2018, 78 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – UTFPR. Pato Branco, 2018.

O intenso crescimento populacional em áreas urbanas afeta diretamente o ciclo hidrológico. O aumento de áreas impermeáveis modifica a capacidade de infiltração dos solos naturais e aumenta os níveis de escoamento superficial, gerando decorrentes eventos de inundações em áreas ribeirinhas. O progresso da urbanização associado a falta de planejamento urbano, onde os projetos de drenagem urbana, muitas vezes subdimensionados, não suportam as vazões máximas atingidas em precipitações intensas e causam inúmeros casos de alagamentos. Na área urbana do município de Pato Branco a ocorrência destes eventos tem se mostrado cada vez mais frequentes em períodos de chuvas intensas. Desse modo, a modelagem hidrológica se mostra como uma ferramenta essencial para gestão de recursos hídricos e previsão de impactos ambientais, sendo possível adotar medidas de prevenção. Nesse contexto, esse estudo tem como objetivo principal analisar por meio de simulação hidrológica as vazões de pico que atingem pontos susceptíveis a inundações na área urbana de Pato Branco, com dados de precipitações reais. Com uma imagem de satélite de alta resolução e curvas de níveis da área, o *software* ArcGIS 10.4.1 foi utilizado para a caracterização da bacia de estudo e sua hidrografia. Através do *software* HEC-HMS 4.2.1 foi realizada a simulação hidrológica com dados de chuvas reais obtidos de um pluviômetro do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). A transformação de chuva em escoamento superficial e a propagação do mesmo, foi realizada pelo método do SCS (Soil Conservation Service). Com os resultados das simulações, foi possível analisar que precipitações de baixa e média duração com volume precipitado acima de 50 mm, atingem vazões de pico que variam entre 45 e 50 m<sup>3</sup>/s nos pontos estudados. Estes eventos reais que foram simulados apresentaram sinais de inundações. Se medidas de prevenção não forem tomadas, essas inundações que vem ocorrendo no cenário atual, tendem a aumentar ainda mais em decorrência ao crescimento populacional destas áreas. Aconselha-se a continuação de estudos hidrológicos na área, assim como a implantação de um sistema de monitoramento hidrológico e calibração do modelo da bacia a partir dados observados, geração de mapas de inundação (simulação hidráulica); e então, estudar possíveis medidas de controle das inundações, considerando os prejuízos causados por estes eventos e estabelecendo uma relação de custo/benefício para aplicação dos métodos de controle.

**Palavras-chave:** inundações, alagamentos, hidrograma de cheia, modelagem hidrológica, HEC-HMS, sistemas de informação geográfica, ArcGIS.

## ABSTRACT

ONGARATTO, Renan. **MODELING OF SURFACE RUNOFF'S HYDROGRAPH UNDER DIFFERENT RAINFALL INTENSITIES IN THE CITY OF PATO BRANCO-PR.** 2018, 78 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – UTFPR. Pato Branco, 2018.

Population growth in urban areas directly affects the hydrological cycle. The increase of impermeable areas modifies the infiltration capacity of natural soils and increases the levels of surface runoff, resulting in flood events in riverside areas. The progress of urbanization associated with the lack of urban planning, where urban drainage projects, often undersized, do not support the maximum flows reached in intense rainfall and cause numerous flooding cases. In the urban area of the city of Pato Branco, the occurrence of these events has been happening more and more frequent in intense rains. In this way, hydrological modeling is shown as an essential tool for water resource management and prediction of impacts, being possible to adopt preventive measures. In this context, this study aims to analyze by hydrological simulation the project flows that reach points susceptible to floods in the urban area of Pato Branco, with real rainfall data. With high-resolution satellite images and curves levels of the area, the software ArcGIS 10.4.1 was used to characterize the basin and its hydrography. Through the HEC-HMS software, the hydrological simulation was performed with real rainfall data obtained from a CEMADEN rain gauge. The transformation of rain into superficial runoff and its propagation was obtained through the SCS method. With the results of the simulations, flood hydrographs, it was possible to analyze that low and medium duration rains with precipitations above 50 mm reach simulated peak flows, ranging from 45 to 50 m<sup>3</sup> / s at the points studied, and will show signs of flooding, as happened with the real rains chosen for the simulation. If prevention measures are not taken, these floods that are occurring in the current scenario, tend to increase even more as a result of the population growth of these areas. It is advised to continue hydrological studies in the area, as well as the implantation of a water system monitoring and calibration of the basin model from observed data; Generation of flood maps (hydraulic simulation); and then, study possible flood control measures, considering the damage caused by floods and establishing a cost/benefit ratio for the application of a flood control method.

**Key-words:** floods, flood hydrography, hydrological modeling, HEC-HMS, geographic information systems, ArcGIS.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Número de desastres naturais e seus respectivos impactos negativos (prejuízos econômicos e número de vítimas) ocorridos entre 2005 e 2014 no mundo. ....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2: Leitões naturais dos rios.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 3: Relação entre Precipitação e Escoamento Superficial .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 4: Estágios de um Hidrograma: ascensão, pico e recessão. ....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 5: Mapa de Localização da área de estudo, assim como, a localização dos exutórios de cada Bacia e o Pluviômetro da CEMADEN.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 6: Estimativa Populacional entre 1992-2017 em Pato Branco.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 7: Imagens de Satélite da área Urbana de Pato Branco.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 8: Homem usa bote para ajudar vizinhos em inundação no bairro Bonatto, evento de precipitação P_MD_01_11fev2017_GR.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 9: Alagamento em Pato Branco no evento de precipitação P_MD_02_04nov2017_GR.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 10: Alagamento em Pato Branco durante evento de precipitação P_MD_03_28dez2017_GR. ....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 11: Hidrograma Unitário Triangular do SCS. ....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 12: Mapa da área de estudo (Bairros Bonatto e Baixada), com a hidrografia e imagens de satélite de alta resolução. ....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 13: Mapa de Elevação com Hidrografia.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 14: Mapa de Declividade com Hidrografia.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 15: Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 16: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 01 (P_BD01_14mar2015) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 17: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 01 (P_BD01_14mar2015) no exutório da Bacia da Baixada.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 18: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 02 (P_BD02_29mai2016) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 19: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 02 (P_BD02_29mai2016) no exutório da Bacia da Baixada. ....</b>	<b>49</b>

<b>Figura 20: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 03 (P_BD03_11jan2017) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 21: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 03 (P_BD03_11jan2017) no exutório da Bacia da Baixada. ....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 22: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 01 (P_MD01_11fev2016) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto. ....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 23: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 01 (P_MD01_11fev2016) no exutório da Bacia da Baixada. ....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 24: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 02 (P_MD02_04nov2017) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto. ....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 25: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 02 (P_MD02_04nov2017) no exutório da Bacia da Baixada. ....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 26: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 03 (P_MD03_28dez2017) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto. ....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 27: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 03 (P_MD03_28dez2017) no exutório da Bacia da Baixada. ....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 28: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 01 (P_LD01_26jun2014) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto. ....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 29: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 01 (P_LD01_26jun2014) no exutório da Bacia da Baixada. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 30: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 02 (P_LD02_09dez2015) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 31: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 02 (P_LD02_09dez2015) no exutório da Bacia da Baixada. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 32: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 03 (P_LD03_21out2017) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 33: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 03 (P_LD03_21out2017) no exutório da Bacia da Baixada. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 34: Relação entra as vazões máximas do Bonatto e Baixada. ....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 35: Relação entre Precipitação efetiva (Pe) e Precipitação infiltrada (Pinf) na Sub-Bacia do Bonatto. ....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 36: Relação entre Precipitação efetiva (Pe) e Precipitação infiltrada (Pinf) – Baixada. ....</b>	<b>65</b>



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1: Coeficiente CN (Curve Number) para cada tipo de solo. ....</b>	<b>25</b>
<b>Quadro 2: Coeficientes CN (Curve Number) escolhidos para os tipos de solo da área de estudo. ....</b>	<b>39</b>
<b>Quadro 3: Parâmetros físicos das bacias estudadas. ....</b>	<b>43</b>
<b>Quadro 4: Área ocupada por cada tipo de solo, assim como a relação de cada área com a área total (A/At). ....</b>	<b>45</b>
<b>Quadro 5: Curve Number ponderado para cada Bacia. ....</b>	<b>46</b>
<b>Quadro 6: Tempo de Concentração para cada Bacia, calculado a partir da equação de George Ribeiro. ....</b>	<b>46</b>
<b>Quadro 7: Tempo de Pico para cada Bacia. ....</b>	<b>46</b>
<b>Quadro 8: Quadro de dados analisados de cada evento de precipitação de baixa (BD), média (MD) e longa (LD) duração. ....</b>	<b>61</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
3.1	OBJETIVO GERAL .....	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>15</b>
4.1	URBANIZAÇÃO .....	15
4.2	ALTERAÇÃO NO CICLO HIDROLÓGICO.....	15
4.3	INUNDAÇÕES .....	16
4.4	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	18
4.5	DRENAGEM URBANA.....	18
4.6	ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	19
4.7	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	20
4.7.1	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE).....	21
4.7.2	SENSORIAMENTO REMOTO.....	21
4.8	SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA .....	22
4.8.1	DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....	24
4.9	MODELAGEM MATEMÁTICA TIPO CHUVA-VAZÃO .....	24
4.9.1	HIDROGRAMA UNITÁRIO .....	27
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	29
5.2	PROCESSAMENTO DE DADOS GEOGRÁFICOS .....	30
5.2.1	PROCESSAMENTO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO ...	30
5.2.2	CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO.....	31
5.2.3	CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	32
5.3	MODELAGEM DE EVENTOS HIDROLÓGICOS – <i>HEC-HMS</i> .....	33
5.3.1	PRECIPITAÇÃO .....	34

5.3.2	MÉTODO CHUVA-VAZÃO .....	37
5.3.3	MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO DO SCS .....	39
<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
6.1	MODELAGEM DE TERRENO .....	42
6.1.1	MAPAS DE ELEVAÇÃO E DECLIVIDADE .....	43
6.1.2	MAPA DE USO DO SOLO .....	44
6.1.3	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO .....	46
6.2	SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA .....	46
6.2.1	CHUVAS DE BAIXA DURAÇÃO (BD) .....	47
6.2.2	CHUVAS DE MÉDIA DURAÇÃO .....	51
6.2.3	CHUVAS DE LONGA DURAÇÃO .....	56
<b>7</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>61</b>
7.1	ANÁLISE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO .....	61
7.2	ANÁLISE DOS HIDROGRAMAS .....	62
7.3	RELAÇÃO ENTRE AS VAZÕES DE PICO .....	63
7.4	RELAÇÃO ENTRE A CHUVA INFILTRADA E A CHUVA EFETIVA 64	
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>68</b>
	<b>ANEXOS – SERIES DE PRECIPITAÇÕES .....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a vida, por isso sempre foi conveniente que os seres humanos buscassem ocupar áreas marginais aos cursos d'água superficiais. Essas áreas marginais, além de facilitarem a construção de habitações por serem planas, também suprem a demanda de água para consumo e possibilitam o afastamento de efluentes e resíduos por meio do lançamento nos cursos d'água (TUCCI, 2005).

Inundações são eventos hidrológicos extremos causados pelo excesso de água sobre a superfície do terreno (WANDERS et al., 2014). O problema das inundações urbanas tem afetado muitas cidades e tem ocorrido com maior frequência nos últimos anos (menor período de retorno) (WU et al., 2017; HIRABAYASHI et al., 2013), por causa das precipitações intensas e, principalmente do crescente processo de urbanização (SULEIMAN e BARBASSA, 2005).

No ano de 2015, no continente Americano ocorreram 96 desastres naturais, 7 a mais que a média entre os anos de 2005-2014 (89 desastres), sendo que 41,7% dos desastres foram de origem hidrológica. Mais de 100 mil vítimas foram afetadas por 6 inundações entre Brasil, Guiana, Chile, Bolívia, Peru e Paraguai, representando 84.4% de todas as vítimas de desastres hidrológicos. Em uma escala global, o número total de mortos por desastres hidrológicos em 2015 foi de 4.449, e apesar de ser um número elevado teve uma redução de 35% em relação à média da década passada, que foi de 6.847 mortos. De todas as vítimas afetadas por desastres hidrológicos em 2015, 99.8% foram vítimas de inundações (GUHA-SAPIR, 2015).

No Brasil, os desastres hidrológicos, ocorrem com maior frequência na região Sul, que apresenta os maiores números de desastres hidrológicos do país, pois as chuvas ocorrem com maior frequência ao longo do ano, com uma sazonalidade menor em relação a outras regiões do país (CENAD et al., 2012). Somente no estado do Paraná, entre os anos de 2011 e 2015 foram registrados 963 desastres hidrológicos, sendo eles, 436 enxurradas, 200 alagamentos, 64 inundações e 263 chuvas intensas, representando 34% do total dos desastres naturais que ocorreram no estado durante o mesmo período (CEPDEC, 2015).

Nas últimas décadas, a maior parte dos países em desenvolvimento, apresentaram expansão urbana, acompanhada por uma infraestrutura precária de

drenagem pluvial, ocasionando problemas de inundações. As inundações ocorrem principalmente devido à rápida expansão urbana, acompanhada do baixo nível de conscientização da população, falta de planejamento, má utilização de medidas não estruturais e falha nos sistemas de controle de cheias, quando existentes. (CANHOLI, 2005). Sistemas de drenagem sobrecarregados, superfícies impermeáveis, remoção da vegetação de encostas íngremes e ocupação de áreas de várzea, são fatores antrópicos que contribuem fortemente para as inundações urbanas (EL KADI ABDERREZZAK et al., 2009).

Nesse contexto, a previsão (flood forecasting) e a predição (flood prediction) de inundações tem se tornado uma importante estratégia para criar sistemas de alerta (SENE, 2008). A previsão da magnitude e a duração de uma eventual inundação têm sido um tópico estimulante para os cientistas da Engenharia Hidrológica porque é essencial para tomada de ações de proteção civil e minimização de danos materiais (MASSARI et al., 2015). Modelos matemáticos hidrológico-hidráulicos (H-H) bidimensionais são ferramentas úteis para realizar simulação de previsão de inundações (BELLOS E TSAKIRIS, 2016). Os modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão são muito usados na modelagem H-H, por exemplo, o Water Assessment Tool (SWAT) (ARNOLD et al., 1998), HEC-HMS (SCHARFFENBERG e FLEMING, 2010) e o IPH II (Tucci et al., 1998). Há modelos chuva-vazão que simplificam mais os processos hidrológicos, por exemplo, o consagrado método Natural Resources Conservation Service (NRCS) (DINGMAN, 2015). Além disso, alguns pesquisadores têm combinado modelos dinâmicos de infiltração, como o descrito por Green-Ampt (1911), com o hidrograma unitário (MASSARI et al., 2015; BELLOS E TSAKIRIS, 2016).

Este trabalho é uma etapa inicial (fundamental) para futuros estudos de previsão de inundações urbanas na cidade de Pato Branco, Paraná, Brasil. A pergunta que norteou a presente pesquisa científica foi: Qual a influência da intensidade das chuvas sob o escoamento superficial em uma região de ocorrência de alagamentos, dentro da cidade de Pato Branco?

## 2 JUSTIFICATIVA

O Brasil sofre regularmente com problemas de inundações em diversas cidades, os quais causam prejuízos financeiros incalculáveis e inúmeras mortes (MENDES e MEDIONDO, 2007). Em 2015, 82 países sofreram com desastres hidrológicos, sendo que apenas 29 deles reportaram os danos causados, que chegaram a um total de 21,3 bilhões de dólares, sendo destes, mais de 99% devido às inundações (GUHA-SAPIR, 2015). O crescimento acelerado da população urbana, está diretamente ligado à ocorrência de desastres naturais. (HENDERSON, 2002).

Economicamente, as inundações podem trazer impactos financeiros de três maneiras: empresas situadas em áreas de inundações precisam fechar temporariamente durante os eventos de inundação; danos causados na infraestrutura econômica podem gerar uma redução de capital disponível para produção e, comumente geram interrupções temporárias de serviços como eletricidade e fechamento de estradas; atividades orientadas para investimentos (setor de construção civil) para ações de reconstrução e medidas adicionais de manutenção, começando mais vigorosamente após os períodos de cheias (HADDAD e TEIXEIRA, 2015).

O estudo de áreas com chance de inundação é útil pois auxilia na leitura e compreensão dos eventos hidrológicos e se mostra essencial para um bom planejamento urbano. Com o auxílio de *softwares*, é possível relacionar parâmetros como o uso do solo, relevo, precipitação, e interpretar a influência desses parâmetros, de forma simplificada, em áreas sujeitas às inundações (OLIVEIRA et al., 2010).

Poleto (2011), justifica os problemas de inundações relacionados ao crescimento desordenado das cidades, que abrange grande zonas de risco, como moradias em áreas ribeirinhas e a falta conscientização ambiental da população.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é simular o hidrograma de escoamento superficial, causado por eventos de precipitação, em locais suscetíveis à ocorrência inundações na cidade de Pato Branco – PR

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Classificar o uso e a ocupação do solo da área de estudo;
- Gerar mapas altimétricos de elevação e de declividade do terreno;
- Realizar a simulação de hidrogramas de escoamento superficial usando dados de chuvas reais.

## 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 4.1 URBANIZAÇÃO

O grande crescimento urbano, pode ser atribuído principalmente ao êxodo rural, que começou a desenvolver-se com maior intensidade nos países em desenvolvimento em meados da década de 70 (TUCCI, 2005).

Enquanto o processo de urbanização em países desenvolvidos ocorreu de forma mais cadenciada, nos países em desenvolvimento o aumento de áreas urbanas ocorre de forma mais acelerada e desorganizada. A falta de planejamento, juntamente com esse avanço acelerado gera uma população urbana, de cultura rural, na obrigação de adaptar-se à uma nova cultura social, política e governamental urbana de forma rápida (HENDERSON, 2002).

Uma das principais consequências da urbanização é a grande parcela de solo que é impermeabilizado, diminuindo a infiltração das águas pluviais e gerando mais água para o sistema de drenagem. (TUCCI, 2000; POLETO 2011).

### 4.2 ALTERAÇÃO NO CICLO HIDROLÓGICO

A água se torna renovável através do ciclo hidrológico, que segundo Silveira (2009), é o fenômeno global onde a água realiza um ciclo fechado entre a superfície terrestre e a atmosfera. Poleto (2011), destaca a importância dos processos físicos do ciclo hidrológico que de forma natural tornam a água renovável, além de movimentar a água ao redor do globo para suprir as necessidades dos seres vivos.

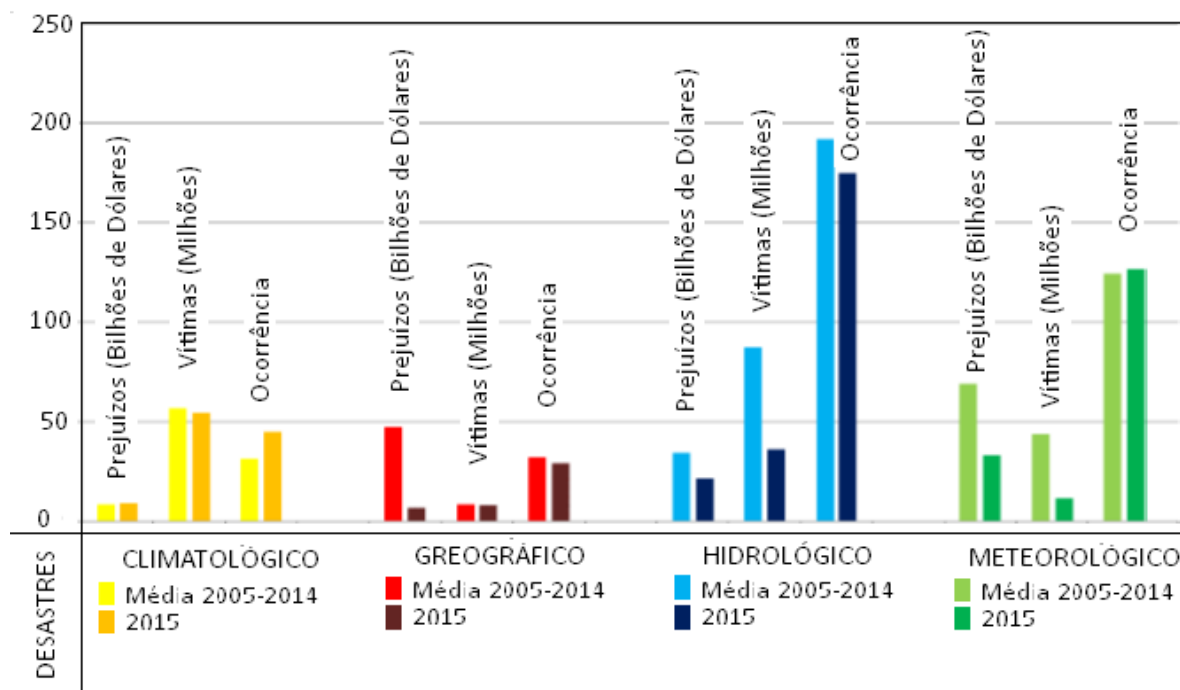
Em contrapartida, algumas alterações no meio ambiente fazem com que o ciclo não ocorra em sua operação natural, principalmente devido a parcela de água que deixa de infiltrar no solo devido a urbanização, e passa a escoar das superfícies pavimentadas para as galerias e destes para o canal principal de forma muito mais rápida (POLETO, 2011; TUCCI, 2005).



### 4.3 INUNDAÇÕES

Deve ser levado em consideração que as inundações são fenômenos naturais, o que significa que podem acontecer independente das ações humanas. Porém, as atividades relacionadas ao uso e ocupação do solo urbano têm agravado as consequências deste fenômeno (SULEIMAN e BARBASSA, 2005).

Estudos realizados por Guha-Sapir (2015) mostram que em 2015 ocorreram 175 desastres hidrológicos ao redor do mundo, isto é: 156 inundações pluviais e 19 deslizamentos de encostas. Estes dois tipos de desastres hidrológicos representam uma parcela de 46,5% em relação a todos os tipos de desastres naturais ocorridos em 2015. Entre 2005 e 2014), a proporção destes desastres hidrológicos foi maior, com uma média igual a 50,6% em relação a todos os tipos de desastres naturais ocorridos nesse período (Figura 1).



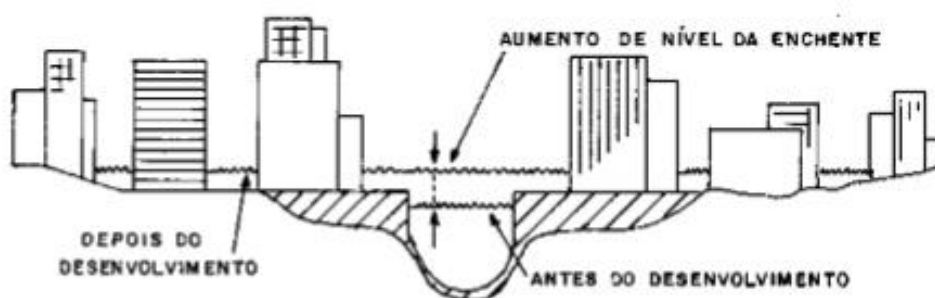
**Figura 1: Número de desastres naturais e seus respectivos impactos negativos (prejuízos econômicos e número de vítimas) ocorridos entre 2005 e 2014 no mundo.**

Fonte: Adaptado de GUHA-SAPIR, 2015.

Apesar das inundações apresentarem os maiores índices entre desastres naturais no Brasil, devido à falta de investimento em infraestrutura e planejamento, a maior parte das cidades atingidas por esses desastres não apresentam medidas de prevenção, sejam elas estruturais ou não-estruturais, (DE OLIVEIRA et al., 2010). O

Brasil, assim como outros países em desenvolvimento, possui dificuldades na implantação e aplicação de sistemas de drenagem pluvial eficientes (POLETO, 2011).

Como já foi citado, a substituição da cobertura natural por uma pavimentação impermeável reduz consideravelmente as taxas de infiltração do solo, aumentando o escoamento superficial e as vazões máximas, fazendo com que a água da chuva alcance os pontos mais baixos da bacia de forma mais rápida e intensa (TUCCI, 2005; FONTES e BARBASSA, 2003).



**Figura 3: Níveis de cheias pré e pós urbanização.**  
Fonte: TUCCI, 2005.

Os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor, onde os níveis de água se mantem a maior parte do tempo, e o leito maior, que são os níveis que o rio atinge em momentos de cheias. Deve-se observar que mesmo que um rio não venha a atingir seu leito maior por muito tempo, estas áreas não devem ser urbanizadas, pois outro grande responsável pelas cheias, além da impermeabilização do solo, é a urbanização indiscriminada de áreas de várzea nos leitos dos rios. (SULEIMAN e BARBASSA, 2005; TUCCI e GENZ 1995; PHILIPPI JR., 2005). Além de prejuízos financeiros, a ocorrência destas inundações afeta diretamente à saúde de famílias ribeirinhas (TUCCI, 2005).



**Figura 2: Leitos naturais dos rios**  
Fonte: TUCCI, 2005.

#### 4.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O planejamento do uso do solo deve ser realizado de modo que satisfaça os interesses e as necessidades humanas básicas à longo prazo, de uma maneira econômica e eficiente e psicologicamente satisfatórias. Cada vez mais áreas de terras, florestas e fazendas tem sido tomada pela expansão de subúrbios (SEWELL, 1978). Para Fontes e Barbassa. (2003), o principal fator no planejamento urbano, está ligado às ações relacionadas ao uso e ocupação do solo.

A obtenção, estudo e análise de mapas, fotos aéreas e outros documentos, é indispensável para a determinação das condições de ocupação territorial urbana e cobertura vegetal da área de estudo. As características geológicas e tipos de solo de uma região, são importantes na determinação da área de drenagem e cálculo da vazão de projeto (PAULO, 2012). Canholi (2005) destaca a necessidade de planejar ações preventivas e corretivas de planejamento urbano nos planos diretores das cidades e, quando possível, incorporá-los desde a fase inicial da urbanização.

#### 4.5 DRENAGEM URBANA

Os sistemas de drenagem são definidos pelo escoamento através da macrodrenagem e da microdrenagem. Segundo Tucci (2005), a microdrenagem é caracterizada pelo sistema de condutos pluviais e canais. Já a macrodrenagem envolve o escoamento na superfície natural do terreno.

Sistemas de drenagem urbana devem ser projetados para suportar períodos de cheias com um alcance entre 10 e 50 anos, dependendo das características da área urbana em questão, infraestrutura hídrica e ferroviária (SCHMITT et al., 2004).

Destaca-se a importância da elaboração de um plano de gestão de água e drenagem urbana através do plano diretor da cidade, que tem como objetivo principal o controle do escoamento superficial (PHILIPPI JR., 2005; CANHOLI, 2005).

Eventos hidrológicos são responsáveis pelos principais impactos sociais em uma sociedade que cresce de forma descontrolada, por isso, um bom planejamento é indispensável para que se atinja uma boa qualidade no abastecimento de água, saneamento de efluentes sanitários, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais. O problema relacionado à drenagem não diz respeito somente à fatores climatológicos

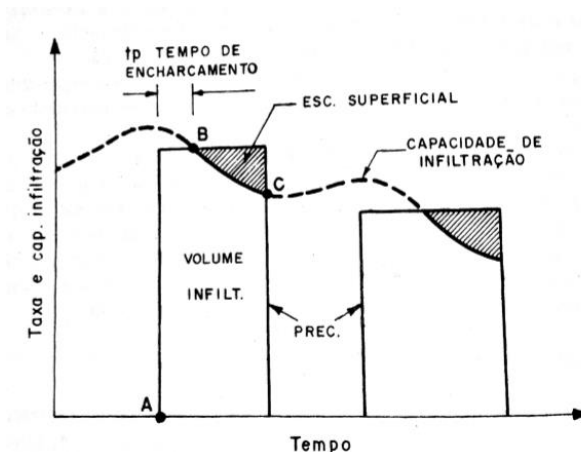
e de projetos, mas principalmente aos fatores habitacionais. Falhas no sistema de drenagem urbana podem causar problemas como inundações, que além de prejuízos financeiros podem transmitir doenças trazidas pela água, afetando diretamente a qualidade de vida da população. (PHILIPPI JR., 2005; TUCCI, 2005).

#### 4.6 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial (*runoff*), é caracterizado pela trajetória da parcela de água da chuva que escoar sobre a superfície. A velocidade com que essa água escoar até os pontos mais baixos da bacia, está diretamente ligado à permeabilidade do solo e declividade do terreno (PINTO, 1976; TUCCI, 2009).

Pinto (1976), explica que a ocorrência de escoamento superficial em uma bacia hidrográfica começa a acontecer quando a intensidade de precipitação ultrapassa a capacidade de infiltração do solo.

A figura apresentada por Silveira et al. (2009), relaciona o escoamento superficial à taxa e capacidade de infiltração em função do tempo:



**Figura 3: Relação entre Precipitação e Escoamento Superficial**  
**Fonte: SILVEIRA, 2009.**

O volume de água que deixa de infiltrar no solo após a urbanização, passa a escoar superficialmente pelas vias impermeabilizadas e condutos pluviais, aumentando consideravelmente a velocidade do escoamento e reduzindo o tempo de deslocamento do mesmo, com isso, as vazões máximas são maiores e seus picos no tempo ocorrem mais cedo. Além disso, quando mal dimensionado, os cursos d'água

que drenam as cidades podem não suportar o volume de escoamento gerado pelas chuvas (TUCCI, 2005; PHILIPPI JR., 2005).

Uma vez mensurado o volume de precipitação que vira escoamento superficial, essa água é propagada pela superfície até o exutório através da rede de macrodrenagem. O cálculo desta, pode ser realizado por alguns métodos como Clark, Nash, Onda Cinemática, entre outros métodos conceituais lineares e não lineares. Além de métodos baseados no hidrograma sintético, que são lineares. (TUCCI, 2005)

#### 4.7 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O sistema de informação geográfica, SIG, é um poderoso conjunto de ferramentas que tem como função a coleta, armazenamento, análise, transformação e exibição virtual de dados espaciais do mundo real, posicionando os mesmos em um sistema de coordenadas. A criação de um SIG, é uma operação complexa que envolve a obtenção de dados, processos de estruturação e verificações, auxiliando no planejamento, projeto, gerenciamento e tomada de decisões (BURROUGH, 1998; CÂMARA, 1999; WOLF et al. 2014).

Segundo Sewell (1978), devem ser levados em consideração, no mínimo, dois levantamentos base, uso físico e econômico da bacia em estudo. Como características físicas, deve ser levado em consideração os elementos topográficos do solo tais como, declividade, corpos d'água, regiões montanhosas, vales e obras da engenharia humana, obtidos a partir de mapas disponíveis, fotografias aéreas e levantamento pessoal.

Burrough (1998), ainda ressalta que a importância de informações detalhadas sobre a distribuição de solo e recursos em centros urbanos, através de um SIG, pois permite que engenheiros civis realizem análises detalhadas de terreno para o planejamento de rodovias e canais que cortam as cidades.

Dados geográficos podem ser encontrados em diferentes formas analógicas e digitais e devem estar definidos em um mesmo sistema de coordenadas propriamente definido. (BURROUGH, 1998; WOLF et al. 2014).

Destaca-se a importância na utilização de sistemas de informações geográficas na modelagem de recursos hídricos, pois os SIGs proporcionam uma visualização espacial de diversos parâmetros, permitindo ao usuário ter um bom

controle na entrada de dados e manipulação dos mesmos (CROSBIE, 1996; LEIPNIL et al., 1993; WALSH, 1993). Park e Hur (2011) desenvolveram um modelo hidrológico, utilizando o SIG para determinar os parâmetros da bacia hidrográfica analisada através de um modelo digital de elevação e mapas de uso e ocupação do solo.

#### 4.7.1 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

O uso de Modelos Digitais de Elevação é um dos principais produtos do geoprocessamento utilizadas na aplicação dos SIGs e são essenciais para estudos hidrológicos. MDEs, são representações da superfície terrestre através de células que contém informações das altitudes em cada ponto de uma determinada área (PAZ e COLLISCHONN, 2007).

A partir do MDE é possível caracterizar a rede de macrodrenagem dos taludes naturais da bacia, e com o auxílio de *softwares* são determinados alguns parâmetros como direções de fluxo, áreas de fluxo acumulado e então é possível gerar a hidrografia da região. A partir destes dados, é possível determinar um ponto de controle de vazão, e obter a área de drenagem que contribui para o mesmo (BUARQUE et al., 2008).

Na modelagem hidrológica, os MDE são utilizados principalmente na delimitação automática das bacias e geração da rede de drenagem, porém, a qualidade dos dados é fundamental e deve ser verificada a fim de evitarem erros conhecidos que possam comprometer os dados de estudo (CALLOW et al., 2007)

#### 4.7.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto teve grande evolução no decorrer das últimas décadas, principalmente relacionados a quantidade e resolução dos dados disponíveis. Imagens de satélite com alta resolução permitem uma classificação mais precisa em diversas aplicações, principalmente relacionadas ao uso e ocupação do solo (TADESSE et al., 2003).

#### 4.7.2.1 Classificação de Imagens

A classificação do solo pode ser realizada de forma não-supervisionada ou supervisionada. No primeiro, o algoritmo agrupa os dados da imagem de acordo com diversos parâmetros em um modelo iterativo até que uma parcela de pixels convirja para um valor constante ou após um número máximo de iterações terem sido realizadas. Já na classificação supervisionada, primeiramente são caracterizados os padrões de pixels e então a classificação acontece a partir dos pixels analisados (TADESSE et al., 2003).

Otukei e Blaschke (2010), compara três tipos de classificadores de imagem baseadas em pixels: *Decision trees classifier (DTs)*, *Support Vector Machines (SVMs)* e *Maximum likelihood classification (MLC)*. Os classificadores DT e SVM são classificadores não-paramétricos, e não requerem qualquer pressuposto estatístico a ser feito sobre a distribuição de dados. Já o algoritmo utilizado pela *Maximum likelihood classification (MLC)*, é um dos parâmetros mais conhecidos para classificação supervisionada, onde, vetores com parâmetros desconhecidos, são classificados na classe que possui a maior probabilidade de pertencer.

MLC é considerado o classificador de imagem mais utilizado na prática devido sua teoria sólida e sua natureza onipresente em processamento comercial de imagens por software (LU et al., 2010). Uma de suas principais vantagens é que o mesmo leva em consideração a variância-covariância entre as classes de distribuição (OTUKEI e BLASCHKE, 2010).

### 4.8 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Os modelos hidrológicos têm sido cada vez mais difundidos entre projetistas e pesquisadores, graças à popularização e bons resultados apresentados pelas técnicas. Os primeiros modelos hidrológicos foram desenvolvidos na década de 60 (CRAWFORD e LINSLEY, 1966).

Modelos hidrológicos simulam o ciclo hidrológico em bacias hidrográficas ou parte delas, na qual a água que precipita em qualquer ponto dentro da bacia converge para os pontos mais baixos da mesma. A modelagem tem por objetivo simplificar uma

realidade complexa, e através de algumas variáveis, antecipando a ocorrência de eventos hidrológicos e auxiliando no planejamento de recursos hídricos no futuro (VESTENA, 2008; KOBIYAMA, 1999).

Tucci (2005), classifica as características dos modelos de simulação hidrológica em dois módulos: o módulo da bacia, que calcula a vazão resultante, através da precipitação, que chega nos condutos naturais da bacia (macro drenagem), e o módulo de rios, canais, galerias e reservatórios, que simula o escoamento através de canais, galerias e detenções (micro drenagem).

O modelo bacia é obtido através de funções hidrológicas que determinam parâmetros de perdas iniciais, infiltração e propagação do escoamento superficial (TUCCI, 2005) Alguns destes modelos são IPH II (TUCCI et al., 1981) e SCS (SCS, 1975).

Entre os principais *softwares* de simulação hidrológica estão o Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América, e o modelo Storm Water Management Model (SWMM), desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA) que permitem simular vários processos do ciclo hidrológico. Ambos são modelos baseados fisicamente, e ambos são comumente utilizados na engenharia de recursos hídricos (SIQUEIRA, 2003).

A partir de um estudo comparativo entre os resultados obtidos na simulação entre os softwares HEC-HMS e SWNN, Souza et al. (2012) concluiu que a modelagem do escoamento superficial do HEC-HMS funciona melhor em bacias rurais, visto que possui uma maior quantidade de parâmetros envolvidos na simulação destas áreas. Já o SWNN, é mais adequado para modelação de sistema de drenagem em bacias urbanas.

Cabral (2016) destaca a utilização do programa HEC-HMS, pois além de ser reconhecido internacionalmente apresenta bons resultados na elaboração de modelos hidrológicos. Ainda destaca a importância da integração entre modelos hidrológicos e de um sistema de informações geográficas (SIG), sobretudo no mapeamento de áreas de inundação, tendo em vista o potencial e a precisão que é apresentado no uso destas ferramentas.

De Silva et al. (2013) comprova a eficiência do software *HEC-HMS* em um estudo de caso realizado em uma área que nunca havia sido estudada.



Outra vantagem do HMS é o fato de ser um *software* didático e de domínio público e, em consequência, muito aplicado e analisado em todo o mundo (CAMPOS, 2009). Graciosa (2010) também destaca a precisão do software no processo de transformação chuva-vazão em bacias urbanas e rurais. Realizar simulações hidrológicas é um fator fundamental na elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana. (TUCCI, 2005).

#### 4.8.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos reais podem ser obtidos através de radares meteorológicos e pluviômetros. Segundo Calvetti et al. (2003), apesar de radares meteorológicos apresentarem uma boa estimativa da taxa de precipitação, apresentam maiores incertezas em relação há uma rede de pluviômetros, devido as fontes de erro.

Segundo a CEMADEN (Centro Nacional De Monitoramento E Alertas De Desastres Naturais), os dados pluviométricos são relevantes variáveis de entrada em modelos hidrológicos e geodinâmicos utilizados para a previsão de vazão, dado essencial na análise de risco de inundações, enxurradas e deslizamentos de terra. Ambas as medições, com radar e pluviômetro, apresentam erros. Nos pluviômetros, as medições de precipitação são influenciadas pela ação de ventos, entre outras, que podem diminuir a coleta de água do equipamento (BENETI et al., 2002). Gonçalves et. al (2005) destaca que, quando existe a disponibilidade de dados de radares e também de pluviômetros, a calibração entre os dois apresenta resultados mais precisos do que os resultados individuais de cada um.

#### 4.9 MODELAGEM MATEMÁTICA TIPO CHUVA-VAZÃO

A transformação chuva-vazão é caracterizada principalmente por dois componentes: a determinação da precipitação efetiva (escoamento superficial) e a propagação deste escoamento até o ponto de controle da rede de macrodrenagem (TUCCI, 2005).

Campos (2009) destaca que para a obtenção das vazões de projeto seriam necessárias séries suficientemente longas de vazões nos pontos de estudo, porém

como na maioria das vezes tem-se apenas acesso a séries de precipitações pluviais, as mesmas precisam ser transformadas em chuva efetiva, que é a parte da chuva que escoar superficialmente.

Os modelos hidrológicos matemáticos mais utilizados são os que transformam as chuvas em vazões e demonstram de forma simplificada o comportamento do escoamento superficial. No contexto nacional, podem-se destacar os modelos de chuva-vazão IPH II – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e o SMAP – Soil Moisture Accounting Procedure (MOREIRA, 2005).

Para a transformação de chuva em escoamento superficial, o *software HEC-HMS* inclui alguns métodos de hidrogramas unitários, como o método de Clark, método da onda cinemática, método do SCS, e o método de Snyder (USACE, 2013).

O modelo mais utilizado pelos projetistas para a obtenção da chuva efetiva é o Método Curva-Número (CN), desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS, 1964). O coeficiente CN, quadro 1, considera a capacidade de infiltração e escoamento superficial a partir de alguns parâmetros como: tipo do solo e a cobertura do mesmo (PAULO, 2012; CABRAL, 2016; TUCCI, 2009).

**Quadro 1: Coeficiente CN (Curve Number) para cada tipo de solo.**

Utilização ou cobertura do solo		A	B	C	D
Zonas Cultivadas:	sem conservação do solo	72	81	88	91
	com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagem ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais:	cobertura ruim	45	66	77	83
	cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques e campos.	com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	com relva de 50% à 75% da área	49	69	79	84

**Quadro 1: Coeficiente CN (Curve Number) para cada tipo de solo.**

Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais					
Zonas residenciais					
lotes (m <sup>2</sup> )	% média impermeável				
< 500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	25	51	68	79	84
Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc.					
Arruamentos e estradas:					
	asfaltadas com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
	paralelepípedos	76	85	89	91
	terra	72	82	87	89

Fonte: (Soil Conservation Service, 1964)

O SCS (*Soil Conservation Service*) separa os grupos de solos em quatro, que variam de solos com grande capacidade de infiltração (areias) para solos argilosos com capacidade de infiltração extremamente baixa. Seguindo os parâmetros estabelecidos pelo SCS, Tucci (2009) identificou os tipos de solos que são comumente encontrados no relevo brasileiro, onde os solos são separados em:

**A:** Solos arenosos profundos com pouco silte e argila, alta infiltração e baixo escoamento superficial;

**B:** Solos arenosos com menores profundidades e menos permeáveis que o solo A, porém com permeabilidade acima da média;

**C:** Solo pouco profundo com quantidade considerável de argila, com capacidade de infiltração abaixo da média e escoamento superficial acima da média;

**D:** Solo pouco profundo, com argilas expansivas, com capacidade de infiltração muito baixa e alto escoamento superficial.

O método do SCS também leva em consideração as condições de umidade antecedente do solo (I, II, III) em que:

- Condição I: solos secos e precipitação acumulada em 5 dias é menor que 15 mm;
- Condição II: solos intermediários e precipitação acumulada em 5 dias está entre 15 e 40 mm;
- Condição III: solos úmidos e precipitação acumulada em 5 dias está entre ultrapassa os 40mm.

A aplicação de modelos chuva-vazão pode ser baseada em eventos ou contínua. O modelo baseado em evento é mais utilizado e estuda características da bacia como vazão de pico, escoamento superficial total e tempo de pico, usando condições iniciais para eventos individuais de chuva (XUEFENG e STEINMAN, 2009).

#### 4.9.1 HIDROGRAMA UNITÁRIO

O método do hidrograma unitário foi desenvolvido por Le Roy K. Sherman em 1932, e é fundamentado em função do escoamento superficial, e é um dos mais aplicados em simulações hidrológicas (PINTO, 1976; CAMPOS, 2009).

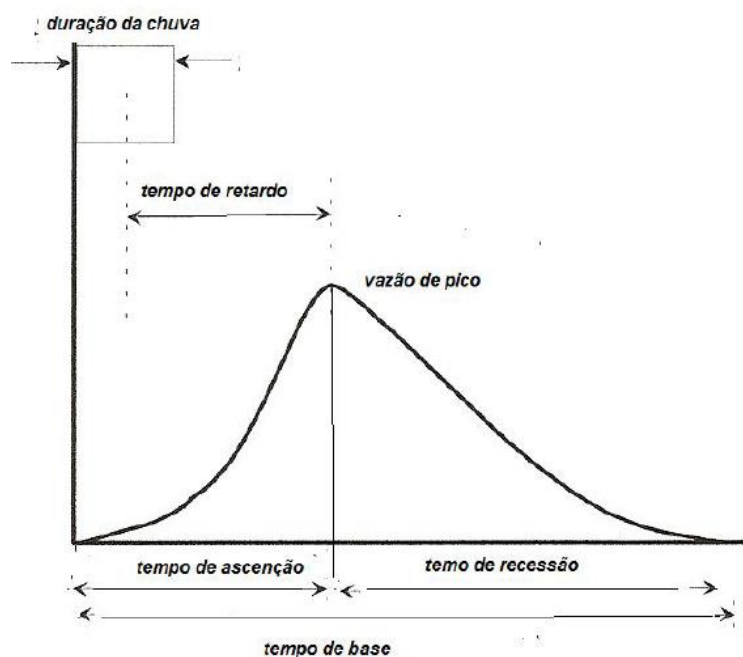
Hidrograma é a denominação dada ao gráfico, de uma vazão em função do tempo, resultante de uma precipitação unitária, e reflete um grupo de características como relevo, cobertura da bacia, obras de engenharia, tipo de solo, entre outros (TUCCI, 2009; CAMPOS, 2009)

Tucci (2009), separa o hidrograma em três estágios (ver figura 4): ascensão, região de pico e recessão.

Ascensão: relacionada à intensidade de precipitação e declividade do terreno;

Região de pico: próximo à vazão máxima, quando ocorre a mudança de inflexão, que é resultado do amortecimento da bacia ou diminuição da precipitação;

Recessão: onde somente o escoamento subterrâneo contribui para a vazão total, que passa à ocorre após o pico de vazão.



**Figura 4: Estágios de um Hidrograma: ascensão, pico e recessão.**  
**Fonte: CAMPOS, 2009.**

Campos (2009) ainda define que o tempo de ascensão é definido com o intervalo de tempo entre o início da chuva efetiva e o pico de vazão máxima no hidrograma. O tempo de recessão é o intervalo entre o instante da vazão máxima até o momento em que cessa o escoamento. E o tempo de base é a soma dos tempos de ascensão com o de recessão.

Portela (2000), distingue os hidrogramas unitários, entre os que utilizam fórmulas empíricas (Snyder), hidrogramas unitários adimensionais (SCS) e modelos de armazenamento de águas nas bacias (Clark). No estudo, o autor utiliza o modelo do SCS devido a sua grande aplicação na análise de cheias.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo é a bacia hidrográfica da Baixada, possui uma área de drenagem de 13,10 km<sup>2</sup> e abrange os bairros da Baixada e do Bonatto. Está localizada na região sudeste do município de Pato Branco, às margens da rodovia estadual PR-280. O rio que atravessa o município é o Rio Ligeiro, que possui trechos abertos e canalizados ao longo da área urbana.

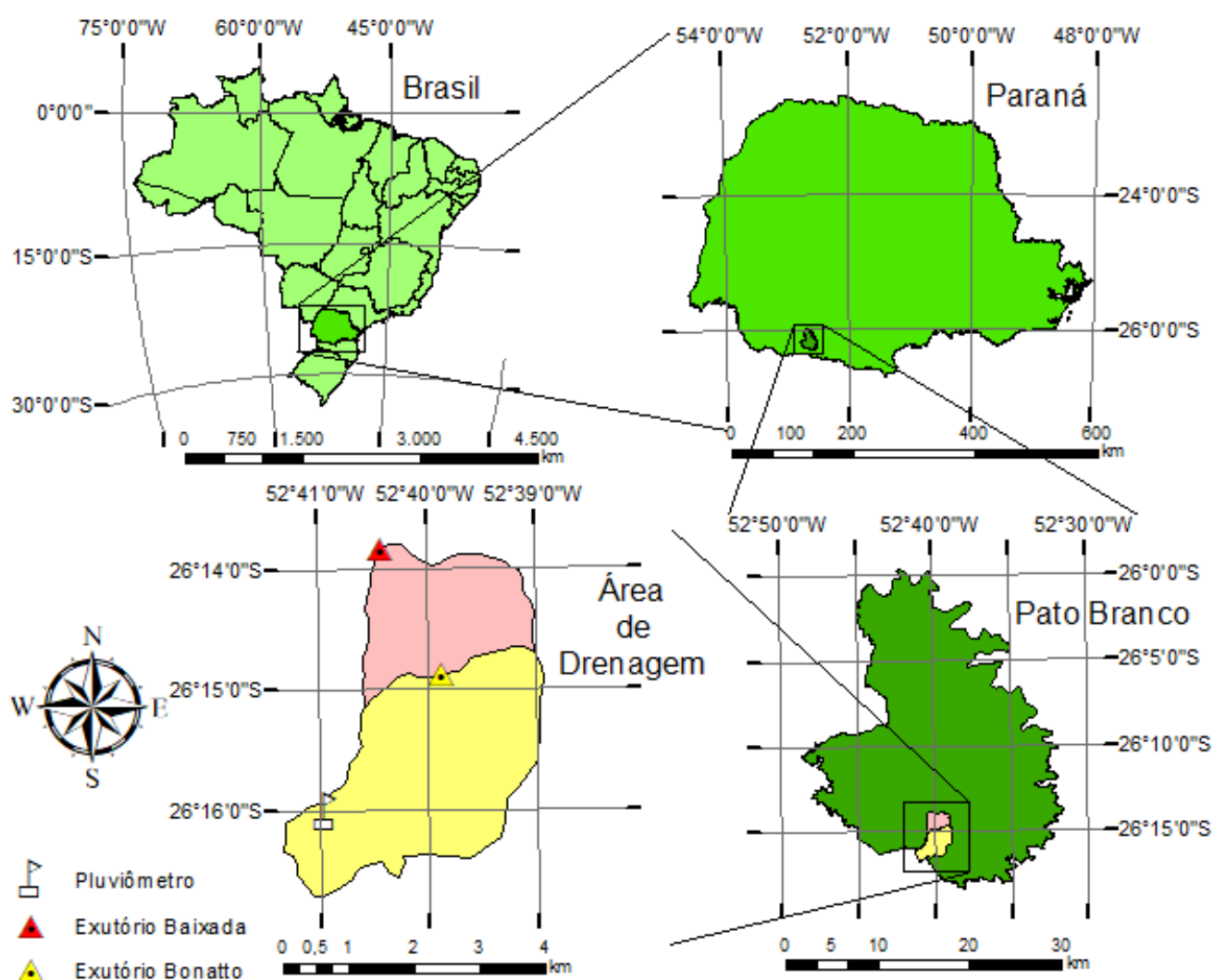
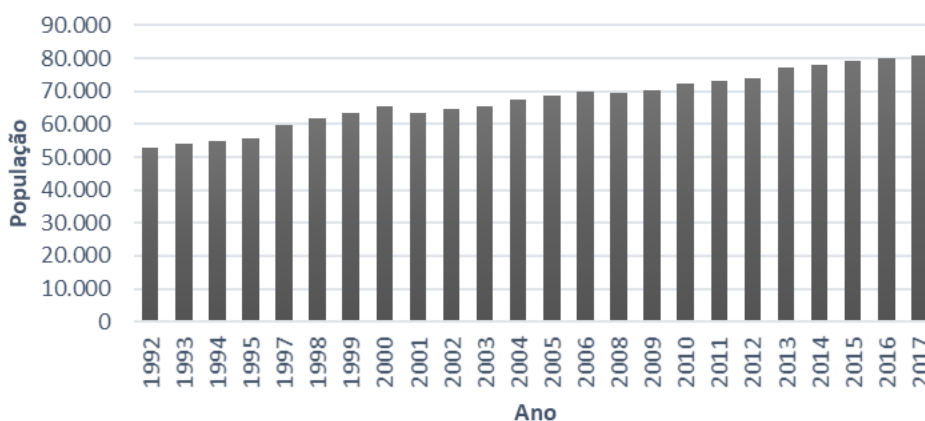


Figura 5: Mapa de Localização da área de estudo, assim como, a localização dos exutórios de cada Bacia e o Pluviômetro da CEMADEN.

Fonte: Autoria Própria

Para a simulação hidrológica, optou-se por dividir a bacia de estudo em duas: Sub-bacia Bonatto e Bacia Baixada, com áreas de 8,85km<sup>2</sup> e 13,10km<sup>2</sup>, respectivamente.

A partir dos dados fornecidos pelos censos demográficos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), foi possível elaborar um gráfico com as estimativas populacionais para cidade de Pato Branco – PR entre os anos de 1992 e 2017. Analisando os dados, percebe-se que o município teve um crescimento de 35% em 25 anos, sendo que, em 2010, 94% da população total do município residia em área urbana.



**Figura 6: Estimativa Populacional entre 1992-2017 em Pato Branco.**  
**Fonte: IBGE, 1992-2017.**

## 5.2 PROCESSAMENTO DE DADOS GEOGRÁFICOS

Com o auxílio do *software* ArcGIS, os mapas e imagens foram georreferenciados no mesmo sistema de coordenadas projetadas, SIRGAS\_2000\_UTM\_Zone\_22S, possibilitando a integração e análises dos mesmos.

### 5.2.1 PROCESSAMENTO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

As características geomorfológicas, como mapa de elevação e hidrografia da bacia foram obtidas através de um modelo digital de elevação (MDE), que foi gerado a partir de curvas de nível com equidistância de 1 em 1 metro, obtidas a partir da base de dados da prefeitura da cidade. O mapa encontra-se na seção de resultados, figura

13. A partir do MDE, foi possível gerar o mapa de declividade, onde os intervalos de declividade do solo foram caracterizados a partir da classificação qualitativa da EMBRAPA (2006). O mapa pode ser visto na seção de resultados, figura 14.

## 5.2.2 CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO

A o processo de classificação de uso e ocupação do solo foi realizado a partir de uma imagem de satélite do dia 22 de julho de 2016, obtida através do satélite *Pleiades-1A*, da empresa *Airbus Defence and Space*.

A imagem de satélite (figura 7), foi fornecida em arquivo *raster*, possuindo quatro bandas de cores: vermelho, verde, azul e infravermelho, e resolução horizontal de 2 m.

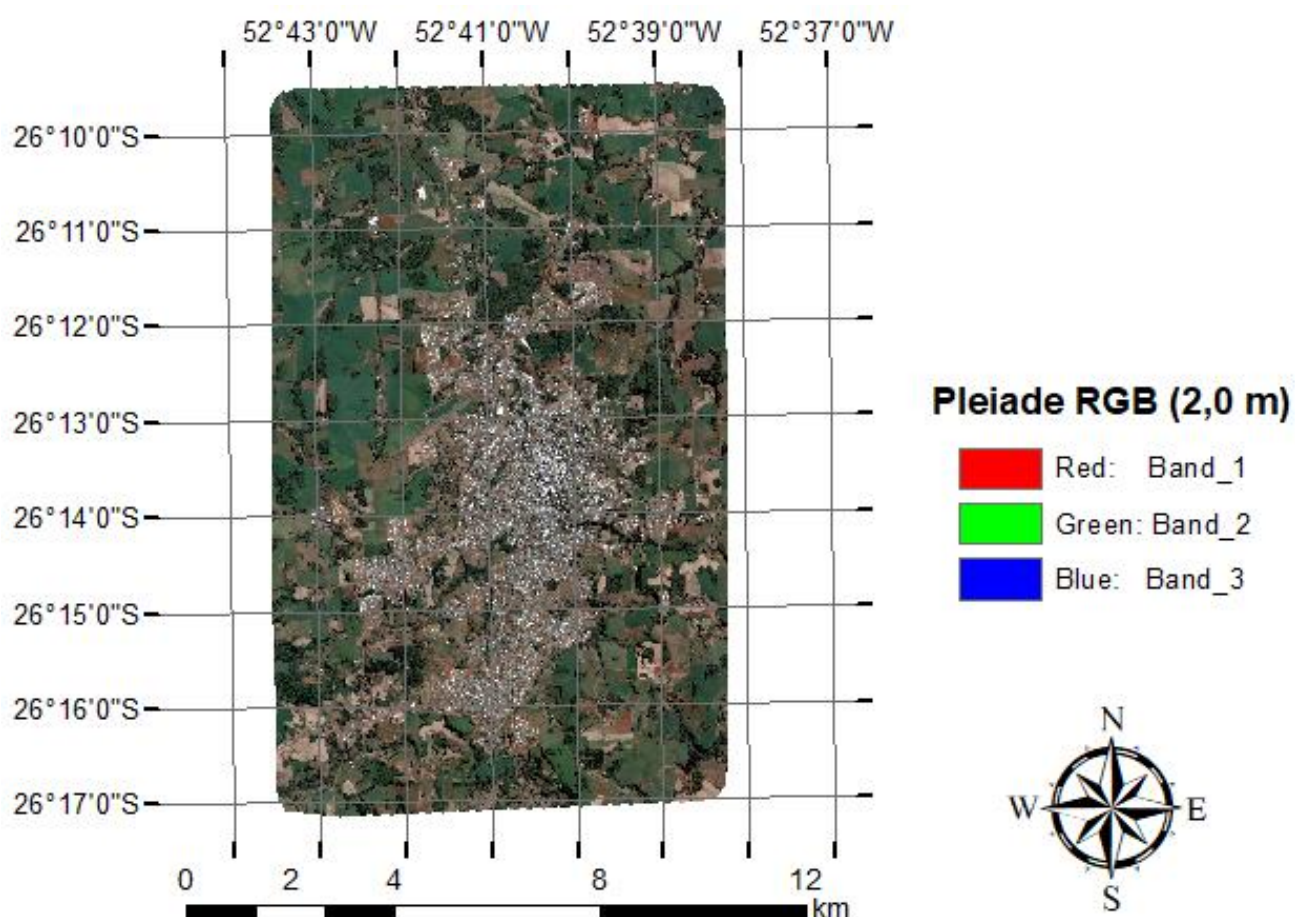


Figura 7: Imagens de Satélite da área Urbana de Pato Branco.  
Fonte: Departamento de Agrimensura da UTFPR-PB.



Para a classificação por regiões foi mantida a segmentação das imagens a partir de composições coloridas original, R1 G2 B3. O processo de segmentação de imagens exige a definição das bandas espectrais e dos limiares de similaridade e de área.

Para a classificação da imagem, utilizou-se o método supervisionado de máxima verossimilhança, *maximum likelihood classifier (MLC)*. Sua escolha se deu por ser um método de fácil aplicação, com grande disseminação e apresenta resultados satisfatórios.

Logo, com o auxílio do *software ArcGIS*, realizou-se a classificação do solo através da ferramenta de classificação supervisionada, onde o solo foi separado entre as seguintes classes de cobertura: vegetação (florestas), cultura/pastagem, solo exposto, corpos d'água e área urbana.

O resultado encontra-se no mapa de classificação do solo na seção de resultados, figura 12. As porcentagens de cada solo e suas respectivas áreas são parâmetros fundamentais no cálculo do CN ponderado da bacia, quadro 5. Além disso, a parcela coberta por mata na bacia é um dos parâmetros necessários para o cálculo do tempo de concentração, utilizando a equação (1), de George Ribeiro, no item 3.2.3.

### 5.2.3 CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Da Silveira (2005), realizou um estudo comparando resultados de 23 fórmulas que calculam o tempo de concentração em bacias rurais e urbanas, comparando dados reais com os dados simulados. O autor concluiu que a equação de George Ribeiro (G.R.) apresentou o melhor desempenho em termos de erro padrão em bacias urbanas por parte de uma fórmula rural. Numa área urbana de 6 a 600 ha, obteve um erro de 4% e erro-padrão de 26%, superando a equação de Carter. Para bacias rurais, a equação de G.R apresentou bons resultados entre 1 e 39 km<sup>2</sup>.

Para a área de estudo, a área urbana representa 18,2% da cobertura do solo, enquanto áreas com características rurais como vegetação e cultura/pastagem, somadas representam 47,8% da bacia. Ver quadro 4 na seção de resultados.

A equação de George Ribeiro foi utilizada para calcular o tempo de concentração ( $T_c$ ) porque a área de estudo respeita todas as condições para uso da equação, e possui características urbanas e rurais, sendo classificada como uma bacia peri-urbana. A equação de George Ribeiro é dada por:

$$Tc = 0,222 \cdot \frac{1}{(1,05 - 0,2p)} \cdot L \cdot S^{-0,04} \quad (1)$$

Onde:

p: fração da área coberta com vegetação, adimensional.

L: comprimento do talvegue (km)

S: Inclinação do talvegue (m/m);

Para determinação do comprimento do talvegue dos canais naturais (L), mediu-se a distância entre o ponto de controle da bacia e o ponto mais distante dos condutos naturais da mesma, através do *ArcGIS*.

A inclinação média do talude (S) foi obtida através do modelo digital de elevação criado para o terreno, permitindo a visualização das cotas topográficas da bacia. O valor de S foi calculado a partir da razão entre o desnível máximo, entre o ponto mais distante do talvegue e o ponto de controle, e o seu comprimento (L). Os parâmetros de comprimento do talvegue (L) e inclinação (S), podem ser visualizados no quadro 3, na seção de resultados.

A partir destes parâmetros, pôde-se calcular o tempo de concentração para cada bacia, a partir da equação (1). Os resultados estão no quadro 6, na seção de resultados.

### 5.3 MODELAGEM DE EVENTOS HIDROLÓGICOS – *HEC-HMS*

A modelagem hidrológica da área de estudo foi realizada com o auxílio do *software HEC-HMS*, que simula diversos eventos hidrológicos a partir de alguns dados de entrada como informações geográficas da bacia e precipitação.

A simulação hidrológica é criada combinando um modelo de bacia, um modelo meteorológico e um controle de especificações, que inclui início, término e intervalo da precipitação (USACE, 2013).

A partir das informações geográficas manejadas através do *software ArcGIS*, e dos eventos de chuvas obtidos através de pluviômetros de CEMADEN, Centro Nacional De Monitoramento e Alertas De Desastres Naturais, se estabelece o modelo

meteorológico de entrada de dados através de hietogramas de chuva, discretizado em 10 minutos.

Os modelos hidrológicos que calculam a chuva efetiva, ou escoamento superficial, requerem parâmetros agrupados ou distribuídos para caracterizar a bacia hidrográfica em questão, dividida em subáreas em função do relevo, parâmetros do solo e seu uso e ocupação (THIEKEN et al., 1999). Através dos dados obtidos, é possível realizar a simulação hidrológica e obter as vazões de pico para os pontos de controle susceptíveis à alagamento no município.

No presente trabalho será considerado apenas a macrodrenagem, ou seja, considerando que a água escoar até o exutório da bacia através da superfície da mesma, sem considerar o escoamento em condutos.

O método para separar a chuva efetiva da parcela que infiltração no solo, foi realizado pelo método SCS, *Curve Number*, visto no item 3.3.2. O parâmetro necessário para os cálculos desse método é o coeficiente CN, com valor ponderado para cada bacia, indicado na seção de resultados, quadro 5.

A propagação da chuva efetiva foi realizada pelo método do Hidrograma Unitário do SCS (1964). O parâmetro necessário para esse método é o tempo de concentração em cada bacia, visto no quadro 4. A escolha de tais métodos se justifica pela grande aplicação dos mesmos.

### 5.3.1 PRECIPITAÇÃO

As séries de dados de precipitação foram obtidos através de pluviômetros automáticos que compõem a Rede de Monitoramento do CEMADEN (Centro Nacional De Monitoramento E Alertas De Desastres Naturais). O banco de dados da CEMADEN, disponibiliza eventos de chuvas, para o município de Pato Branco, a partir do ano de 2014. Os pluviômetros transmitem os dados acumulados de chuva, em milímetros, a cada 10 minutos, sendo, então, processados e disponibilizados para a sociedade através do Mapa Interativo, acessível pelo website ([www.cemaden.gov.br/mapainterativo](http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo)).

Os dados deste estudo foram obtidos da estação Alvorada, código 411850102A, localizada na latitude  $-26,267^{\circ}$  e longitude  $-52,683^{\circ}$ . Sua localização pode ser vista na figura 5 – Mapa de localização.

Para a simulação hidrológica, as chuvas foram separadas em três grupos, de acordo com sua duração:

1. Precipitação de Baixa Duração (BD): duração de até 100 minutos.
2. Precipitação de Média Duração (MD): duração entre 100 e 450 minutos.
3. Precipitação de Longa Duração (LD): durações maiores que 450 minutos.

Por meio de uma análise dos dados pluviométricos fornecidos pela CEMADEN, foram escolhidos três eventos de chuvas para cada um dos grupos, simulando assim, 9 eventos diferentes. O critério para a escolha das chuvas foram: precipitações intensas que ultrapassem os 30mm em menos de 20 minutos; precipitações com distribuídas com um total precipitado a cima de 50mm e maiores precipitações absolutas. Os dados das precipitações analisadas encontram-se nos apêndices. Para o desenvolvimento da simulação hidrológica, criou-se uma legenda para cada evento de chuva, no seguinte modelo: P\_XD\_NA\_DDmmmAAAA\_GR, onde:

P: precipitação;

XD: classificação de acordo com a duração (BD, MD, LD);

NA: número do evento amostral (01, 02, 03);

DDmmmAAAA: data do evento (01jan2000);

GR: referente à equação (1) de George Ribeiro (G.R.), utilizada para o cálculo do tempo de concentração.

Diante disso, buscou-se através de notícias locais, eventos de precipitações que apresentaram problemas reais de inundações na cidade. Encontraram-se diversas notícias, porém as maiores inundações ocorreram nas precipitações de média duração analisadas. As figuras 9, 10 e 11, são fotos de alguns dos eventos que foram simulados.



**Figura 8: Homem usa bote para ajudar vizinhos em inundaç o no bairro Bonatto, evento de precipita o P\_MD\_01\_11fev2017\_GR.  
Fonte: NEWS, 2016.**



**Figura 9: Alagamento em Pato Branco no evento de precipita o P\_MD\_02\_04nov2017\_GR.  
Fonte: SUDOESTE, 2017.**



**Figura 10: Alagamento em Pato Branco durante evento de precipitação  
P\_MD\_03\_28dez2017\_GR.  
Fonte: MINUTTA, 2017**

### 5.3.2 MÉTODO CHUVA-VAZÃO

O escoamento superficial (chuva efetiva) será estimado por meio da aplicação do método SCS, que se baseia em um balanço hídrico (Equação 2).

$$Pe = P - Ia - F \quad (2)$$

Onde,  $Ia$  (abstração inicial [mm]) e  $F$  (retenção de água no solo [mm]). A abstração inicial consiste principalmente em interceptação pela vegetação ou interceptação em depressões superficiais. Uma das premissas do método é que a proporção entre a retenção de água e o potencial de retenção de água é igual a proporção entre escoamento superficial e o escoamento superficial potencial (USDA, 1986; YU, 1998).

$$\frac{Pe}{P - Ia} = \frac{F}{S} \quad (3)$$

$$I_a = \lambda S \quad (4)$$

Onde, S (potencial máximo de retenção [mm]) e  $\lambda$  (taxa de retenção inicial [adimensional]), igual a 0,2 (USDA, 2004). A combinação das Equações 2, 3 e 4, resulta na estimativa do escoamento superficial (Equação 5).

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (5)$$

Por sua vez, S é dependente de fatores do solo e da cobertura vegetal, relacionado ao parâmetro CN (Equação 6) (HAWKINS, 1993).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

A variabilidade do CN está relacionada à intensidade e duração das chuvas, características e condições do solo, densidade vegetal (cobertura), estágio do desenvolvimento (USDA, 2004). O CN reúne as principais características de produção de escoamento de uma bacia hidrográfica (tipo, uso e grupo hidrológico do solo e Condição de Umidade Antecedente - CUA) (MISHRA; SINGH; SINGH, 2018). As CUA's são divididas em três classes: I condição seca, II umidade ideal, III condição molhada, quase saturados (SARTORI; LOBARDI NETO; GENOVEZ, 2005).

Segundo o estudo realizado por Tabalipa e Fiori (2012), o município de Pato Branco possui predominância de solos latossolo, que são solos com capacidade de infiltração baixa e alto escoamento superficial.

Segundo a classificação do SCS (1964), solos com essas características se enquadram no grupo D. Neste trabalho considerou-se a condição II, geralmente adotada por projetistas e pesquisadores nas simulações. Sendo assim, os valores de CN para os tipos de solo da bacia foram obtidos a partir do quadro 1.

Assim, foram determinadas as 5 classes de cobertura presentes na bacia de estudo (quadro 2).

**Quadro 2: Coeficientes CN (Curve Number) escolhidos para os tipos de solo da área de estudo.**

Tipo do solo	CN
Vegetação (Floresta)	77
Cultura/ Pastagem	89
Solo Exposto	83.
Corpos D'água	98
Área Urbana	92

**Fonte: Autoria Própria**

Com a porcentagens de cobertura de cada tipo de solo, quadro 4, e os valores de CN escolhidos para cada tipo de solo, quadro 2, calculou-se o valor de CN ponderado para cada bacia, a partir da equação (7):

$$\overline{CN} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \cdot CN_i}{\sum A_i} \quad (7)$$

### 5.3.3 MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO DO SCS

Em 1957, o *Soil Conservation Service* (SCS), apresentou o método do hidrograma unitário triangular para transformar a precipitação efetiva em escoamento volumétrico (vazão). O método do hidrograma unitário no SCS, cria uma relação linear entre as vazões de cada hidrograma de cheia (convolução), seguindo os princípios básicos de proporcionalidade e superposição. As vazões são discretizadas em intervalos de tempo, e sua aplicação pode ser realizada para chuvas de qualquer duração e distribuição temporal.

Para a simulação da propagação da chuva pelo método do hidrograma unitário do SCS, primeiramente, é necessário obter o tempo de concentração para cada bacia, que foi calculado com a equação 1, e pode ser encontrado na seção de resultados, quadro 6, e leva em consideração o comprimento do talvegue, sua declividade média e área coberta por vegetação fechada.



Para simulação no HEC-HEMS, utiliza-se o tempo de retardo, que ode ser calculado considerando uma proporção de 60% do tempo de concentração (USDA, 2004).

$$T_l = 0,6T_c \quad (8)$$

A partir do tempo de retardo ( $T_l$ ), quadro 7, área das bacias ( $A$ ), quadro 4, e as precipitações efetivas ( $Pe$ ), simuladas a partir de precipitações reais, tem-se os parâmetros de entradas da para o cálculo das vazões de pico através da equação 9 (USDA, 2004).

$$Q_p = \frac{0,208 \cdot Pe \cdot A}{T_p} \quad (9)$$

Onde:

$Q_p$ : vazão de pico ( $m^3/s$ );

$Pe$ : precipitação efetiva (mm);

$A$ : área ( $km^2$ );

$T_p$ : tempo de pico (h).

O esquema de um hidrograma unitário e suas variáveis, está representado na figura 12.

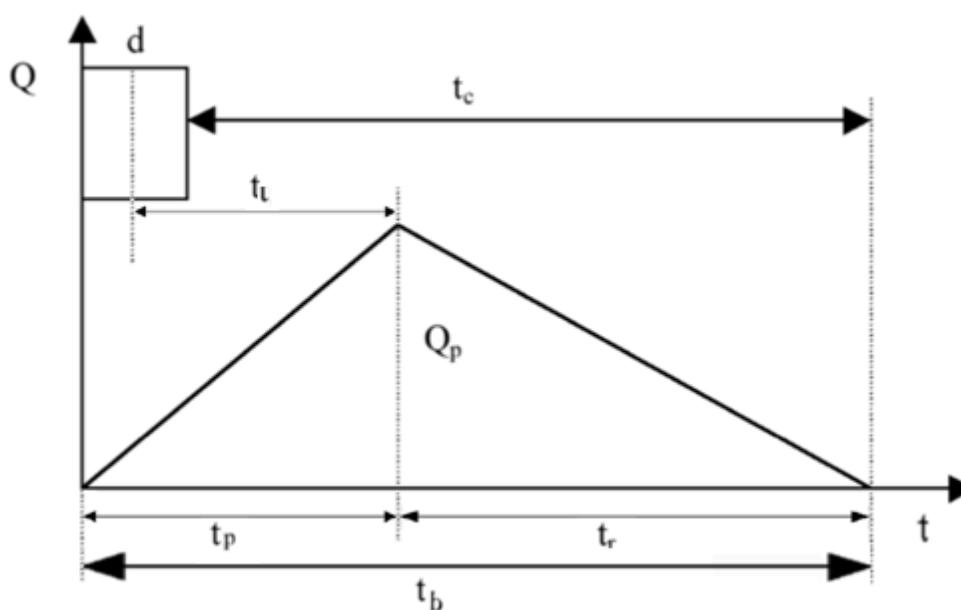


Figura 11: Hidrograma Unitário Triangular do SCS.  
Fonte: Adaptado de TUCCI, 2003.

Onde,  $d$  é a duração da precipitação [minutos];  $Q_p$  é vazão de pico [ $m^3/s$ ];  $t_l$  é o tempo de pico a partir do centro de massa da precipitação [minutos];  $t_p$  é o tempo de pico a partir do início da precipitação [minutos];  $t_c$  é o tempo de concentração [minutos], intervalo que a gota de água precipitada no ponto mais distante da bacia lava para deslocar-se até o ponto de controle;  $t_b$  é o tempo de base [minutos], intervalo entre o início da precipitação e o final do escoamento superficial;  $t_r$  é o tempo de recessão [minutos], intervalo entre a vazão de pico e o final do escoamento.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 MODELAGEM DE TERRENO

Os mapas foram gerados a partir da metodologia do item 4.2 (Processamento de dados geográficos) com o auxílio do *software* ArcGIS 10.4.1. A figura 13 mostra a imagem área da área de estudo e a sua hidrografia.

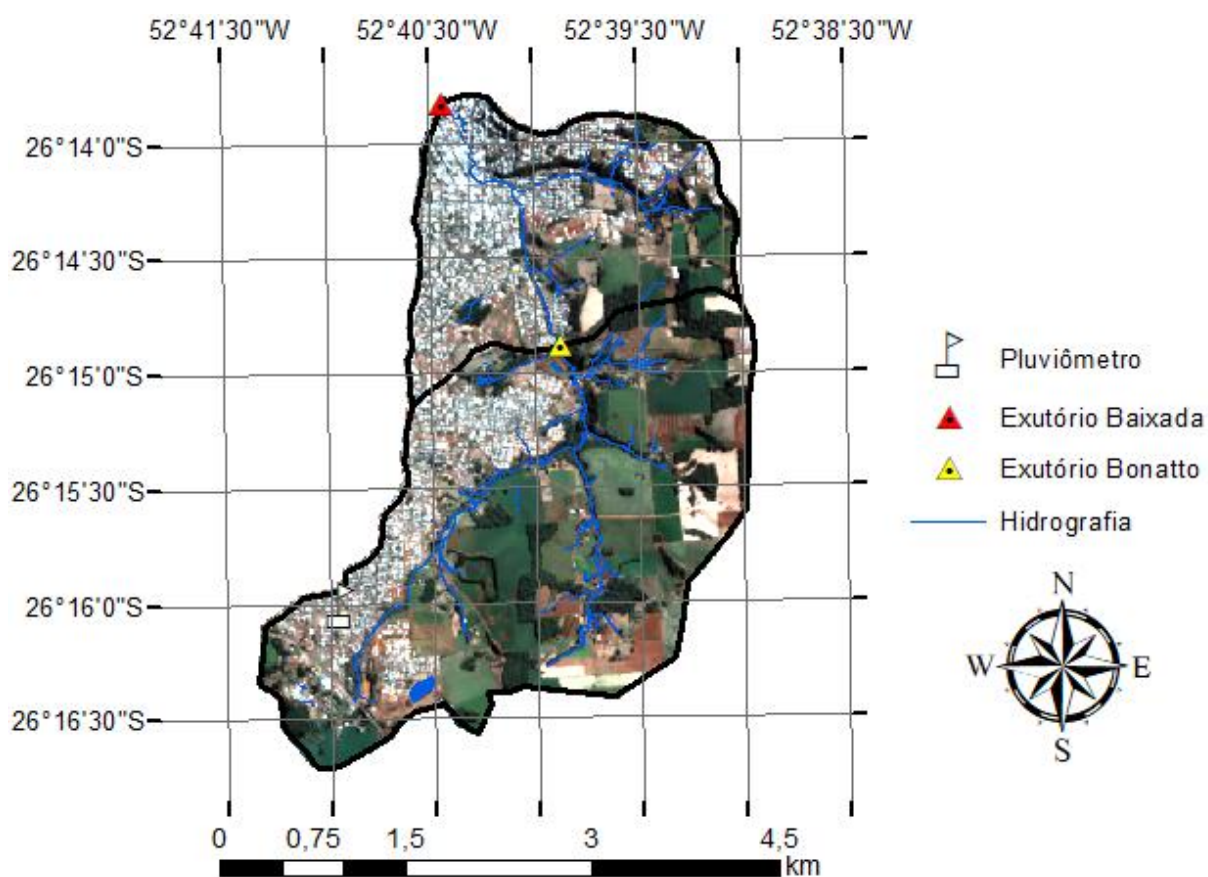


Figura 12: Mapa da área de estudo (Bairros Bonatto e Baixada), com a hidrografia e imagens de satélite de alta resolução.

### 6.1.1 MAPAS DE ELEVAÇÃO E DECLIVIDADE

A partir do modelo de elevação (figura 14), pode-se obter alguns parâmetros físicos do talvegue principal (quadro 3), que são parâmetros importantes para o cálculo do tempo de concentração de cada bacia.

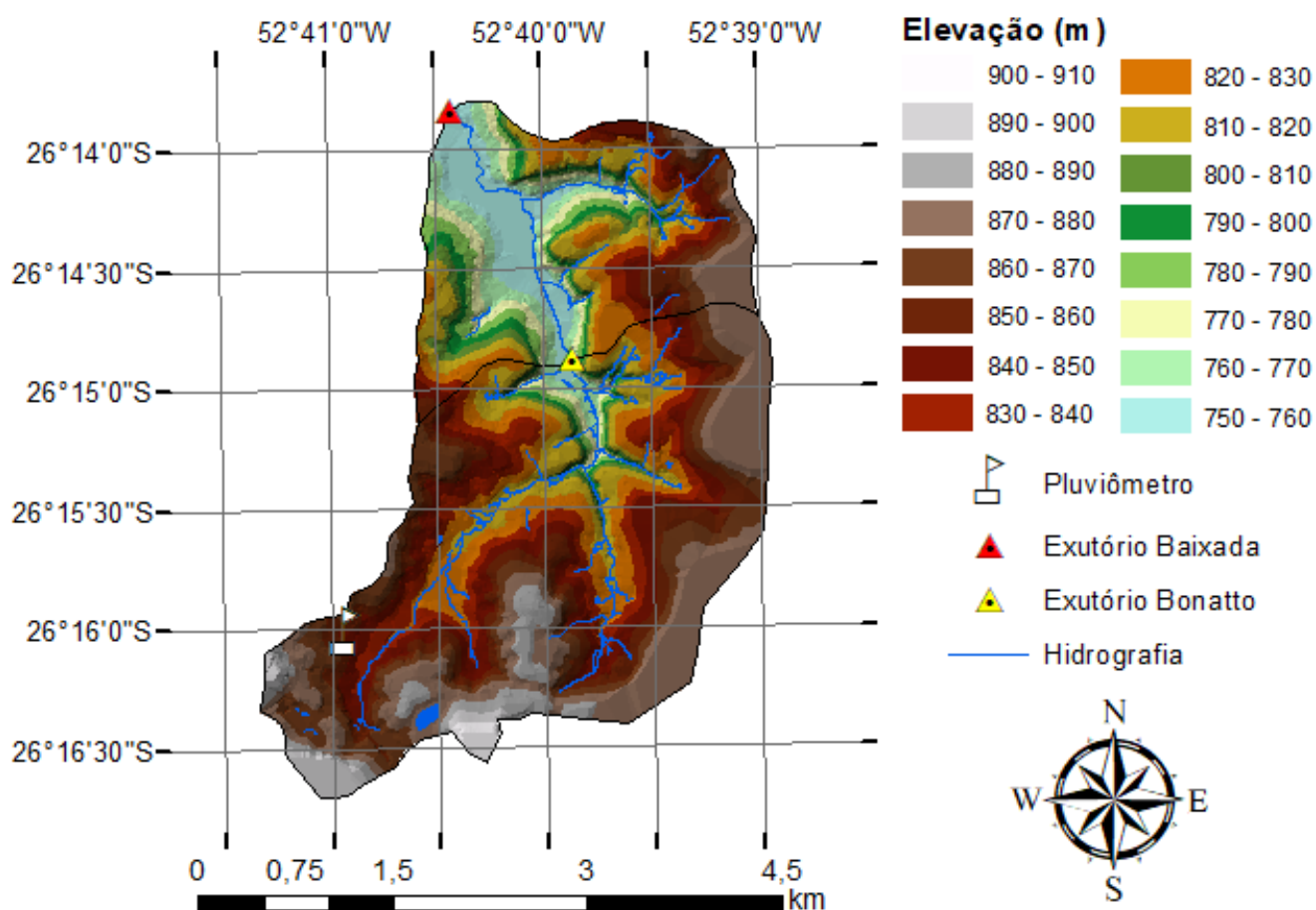


Figura 13: Mapa de Elevação com Hidrografia.

Fonte: Autoria Própria

Quadro 3: Parâmetros físicos das bacias estudadas.

Dados	Sub-bacia BONATTO	Bacia BAIXADA
Comprimento talvegue (L) [km]	4,84	7,33
Elevação inicial [m]	895	895
Elevação final [m]	755	745
Inclinação talvegue (S) [m/m]	0,0289	0,0205

Fonte: Autoria Própria

Com o MDE, também foi possível gerar o mapa de declividade do terreno (figura 15), com as declividades classificadas em porcentagem de acordo com a EMBRAPA (2006).

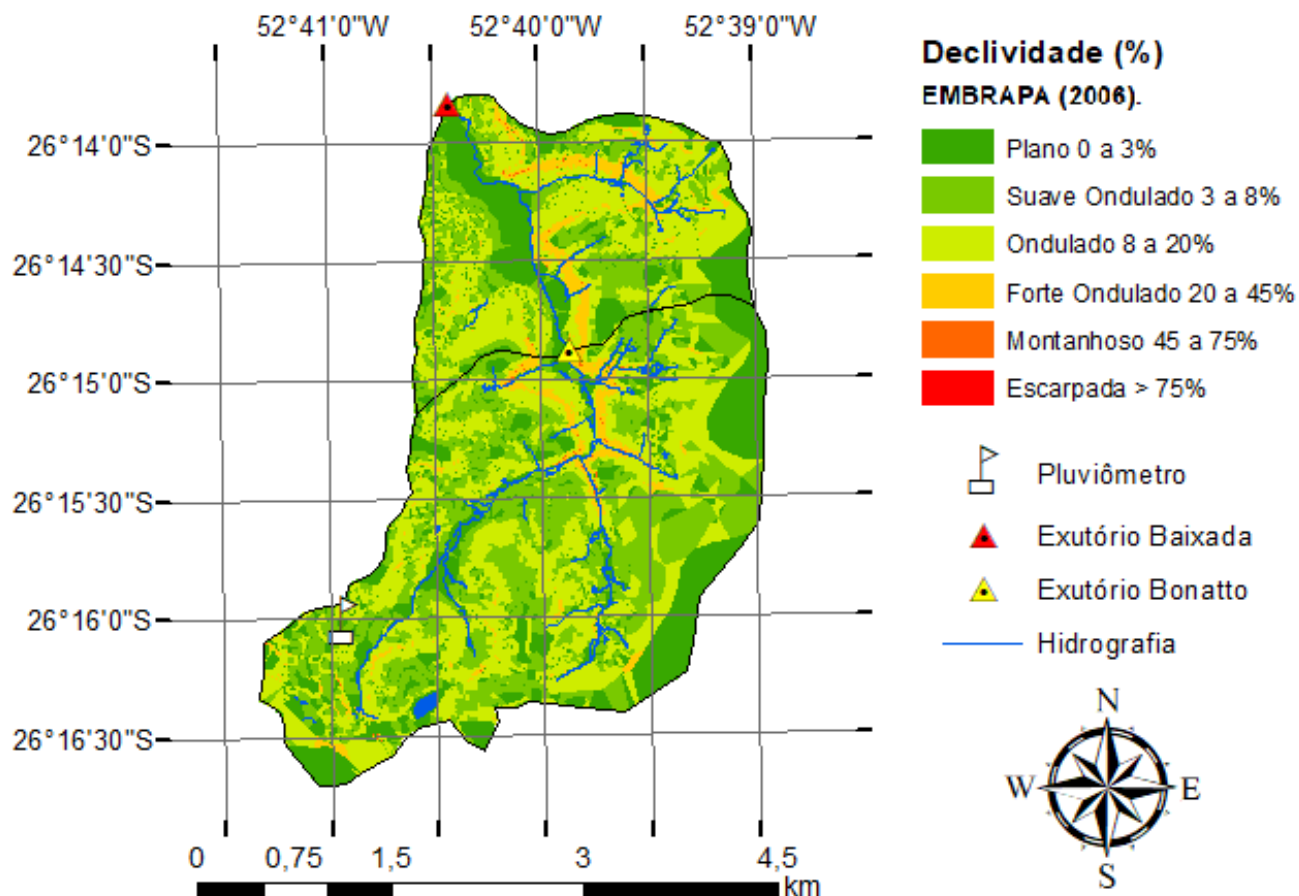
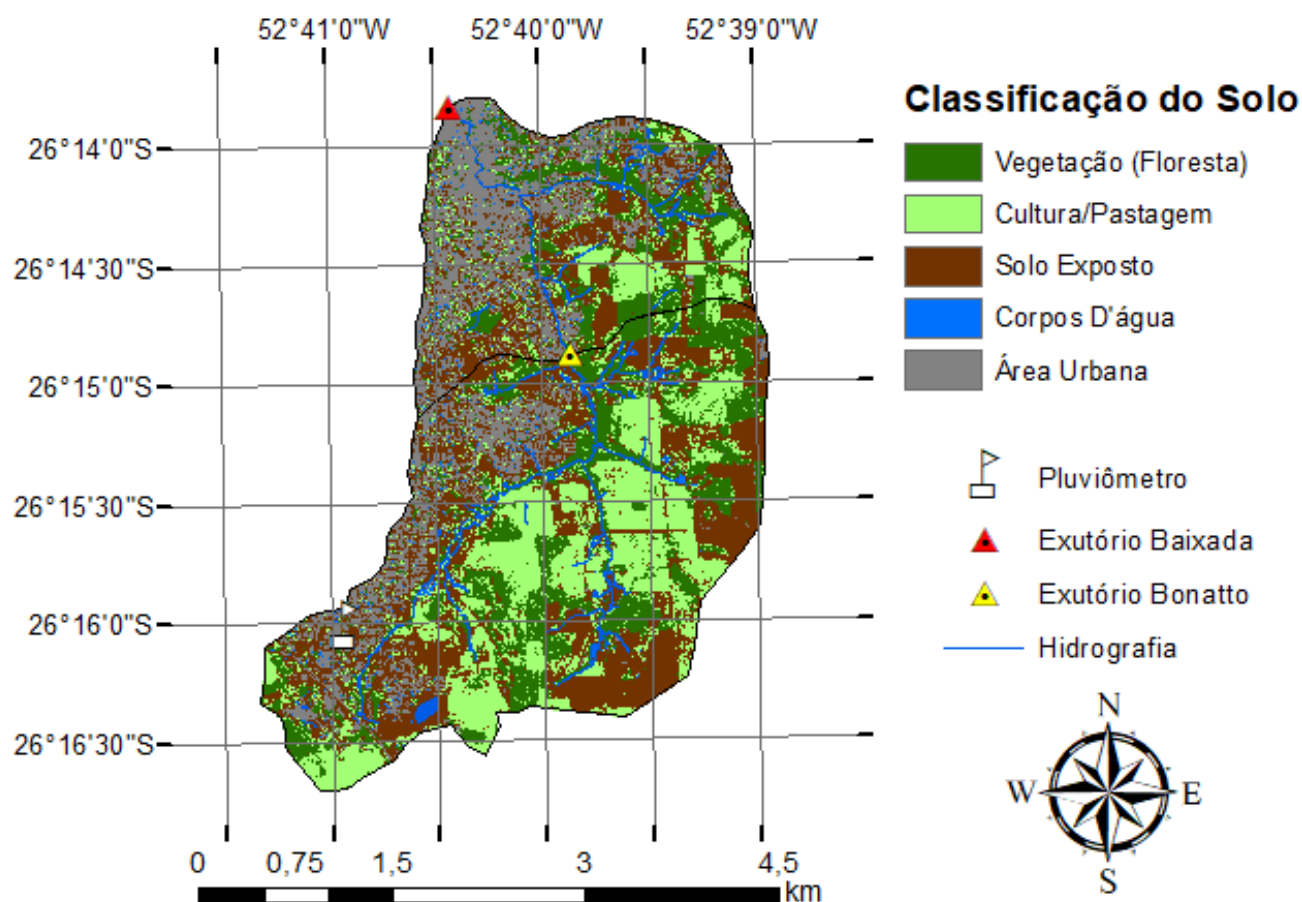


Figura 14: Mapa de Declividade com Hidrografia.  
Fonte: Autoria Própria

### 6.1.2 MAPA DE USO DO SOLO

Após selecionar os padrões de imagem, mostrado na seção de materiais e métodos, gerou-se o mapa do uso do solo, tendo sua classificação separada em: vegetação, cultura/pastagem, solo exposto, corpos d'água e área urbana, visto na figura 16.



**Figura 15: Mapa de Uso e Ocupação do Solo**  
 Fonte: Autoria Própria

A partir da classificação do solo, obteve-se a parcela de área que cada tipo de solo ocupa, assim como a relação entre a área de cada tipo de solo e a área total da bacia ( $A/At$ ).

**Quadro 4: Área ocupada por cada tipo de solo, assim como a relação de cada área com a área total ( $A/At$ ).**

Uso do solo	Sub-bacia Bonatto		Bacia Baixada	
	A(km <sup>2</sup> )	A/AT (%)	A(km <sup>2</sup> )	A/AT (%)
Vegetação (Floresta)	2,02	22,9	2,93	22,3
Cultura/ Pastagem	2,69	30,4	3,35	25,5
Solo Exposto	3,07	34,7	4,26	32,5
Corpos D'água	0,10	1,2	0,19	1,4
Área Urbana	0,96	10,8	2,38	18,2
Área Total	8,85	100	13,10	100

Fonte: Autoria Própria

Com os valores de CN (quadro 2) e áreas (quadro 4) de cada tipo de solo, pode-se calcular o coeficiente CN ponderado para cada bacia, a partir da equação 7.

**Quadro 5: Curve Number ponderado para cada Bacia.**

	Sub-Bacia Bonatto	Bacia Baixada
CN	84,60	85,04

Fonte: Autoria Própria

### 6.1.3 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Para a estimativa do tempo de concentração, utilizou-se a equação 1 de George Ribeiro (G.R.), que considera parâmetros como: comprimento (L) e declividade (S) do talvegue (quadro 3); e porcentagem de área da bacia com vegetação (quadro 4).

**Quadro 6: Tempo de Concentração para cada Bacia, calculado a partir da equação de George Ribeiro.**

	Sub-bacia Bonatto	Bacia Baixada
Tc (hr)	1,2	1,1
Tc (min)	73,9	113,5

Fonte: Autoria Própria

O tempo de retardo (quadro 7), foi calculado a partir da relação apresentada na equação 8, utilizando o tempo de concentração calculado para cada bacia (quadro 6).

**Quadro 7: Tempo de Pico para cada Bacia.**

Dados	Sub-bacia Bonatto	Bacia Baixada
Tl (min)	44,3	68,1

Fonte: Autoria Própria

## 6.2 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Como parte fundamental do trabalho, a simulação hidrológica, foi realizada para diferentes tipos de precipitações reais, afim de se comparar as vazões de picos nos exutórios da Sub-Bacia Bonatto e Bacia Baixada (ver Figura 5 - Mapa de localização). As precipitações foram separadas em três grupos de acordo com sua

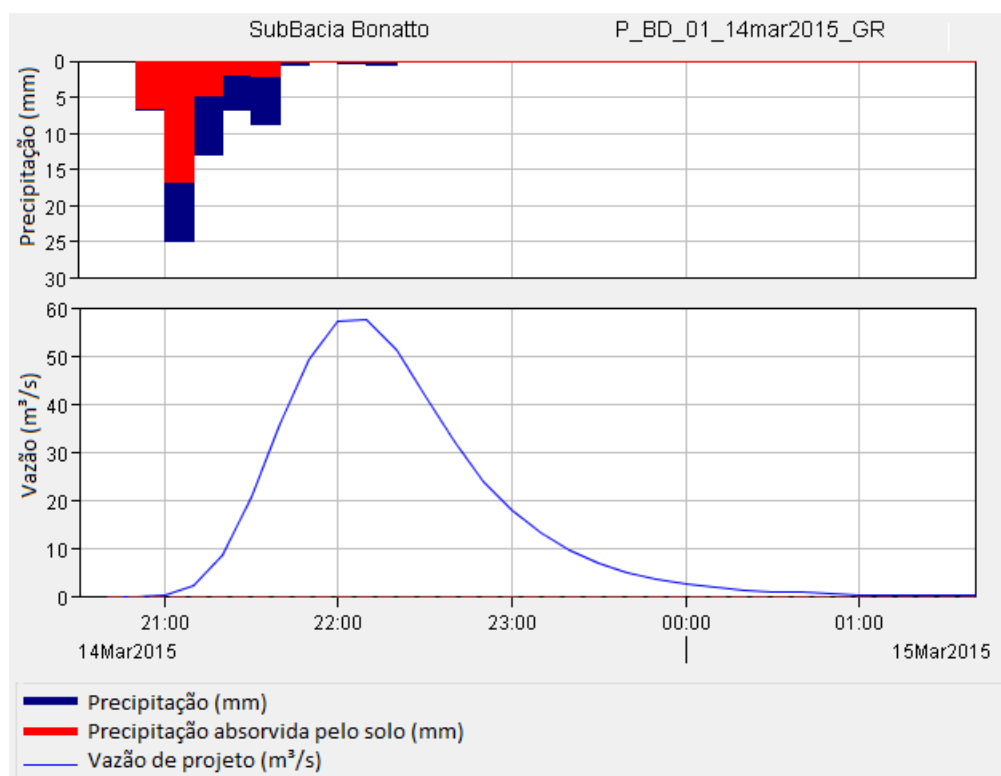
duração, ver seção 4.3.1 – Precipitação. Abaixo serão apresentados os hidrogramas gerados com o auxílio do *software* HEC-HMS 4.2.1, para os eventos simulados.

### 6.2.1 CHUVAS DE BAIXA DURAÇÃO (BD)

- **P\_BD\_01\_14mar2015**

O primeiro evento de baixa duração analisado, ocorreu no dia 14 de março de 2015, onde durante 1h40min precipitaram 62,34 mm e o pico de precipitação foi de 25,11 mm, acumulados em um período de 10 minutos.

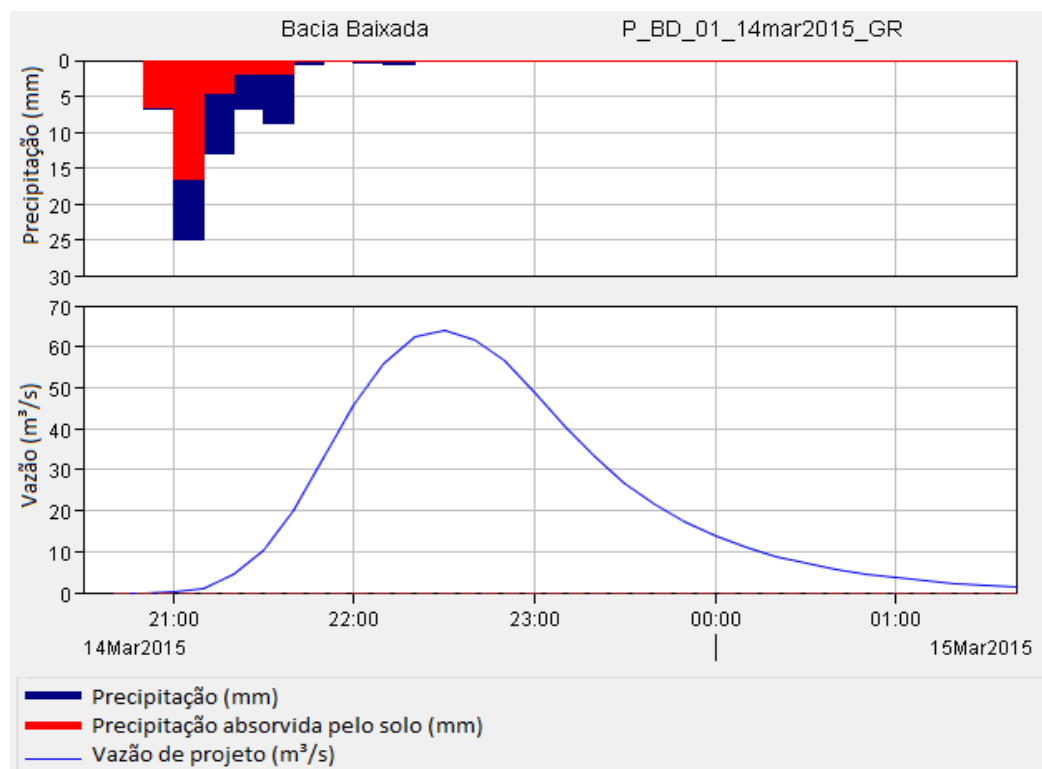
Para a Sub-Bacia Bonatto, do total precipitado (62,34 mm), 32,26 mm infiltraram e 30,08 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 57,60 m<sup>3</sup>/s, ocorrendo 1h após a precipitação máxima. Já para a Bacia Baixada, do total precipitado (62,34 mm), 31,60 mm infiltraram e 30,74 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 63,80 m<sup>3</sup>/s, e ocorreu há 1h20min da precipitação máxima.



**Figura 16: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 01 (P\_BD01\_14mar2015) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.**

Fonte: Autoria Própria



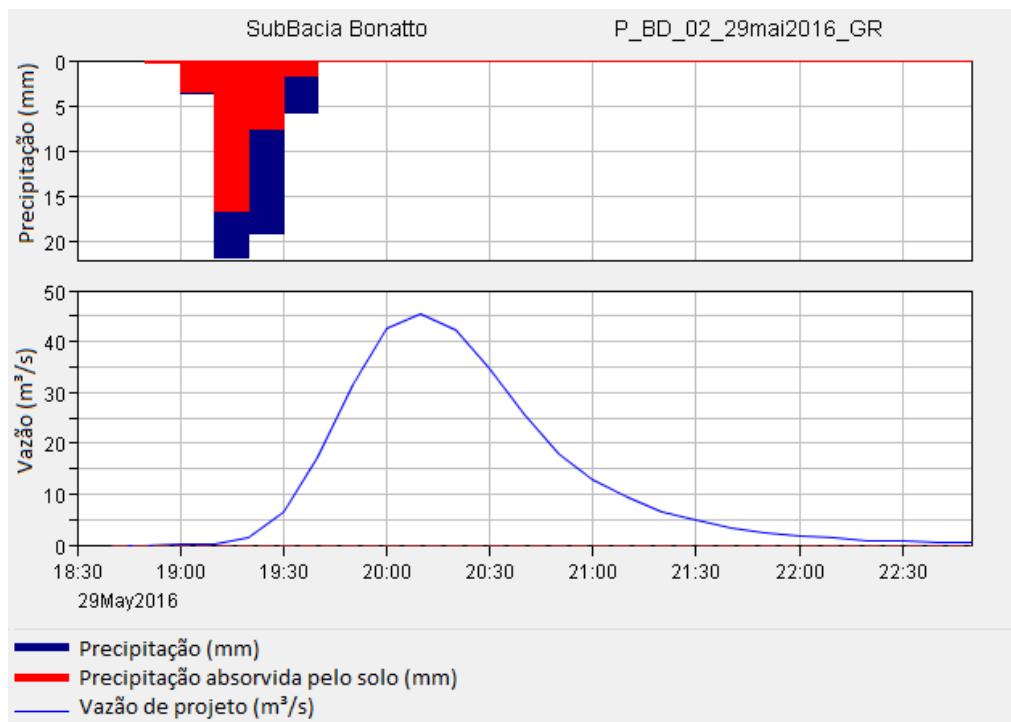


**Figura 17: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 01 (P\_BD01\_14mar2015) no exutório da Baía da Baixada.**  
**Fonte: Autoria Própria**

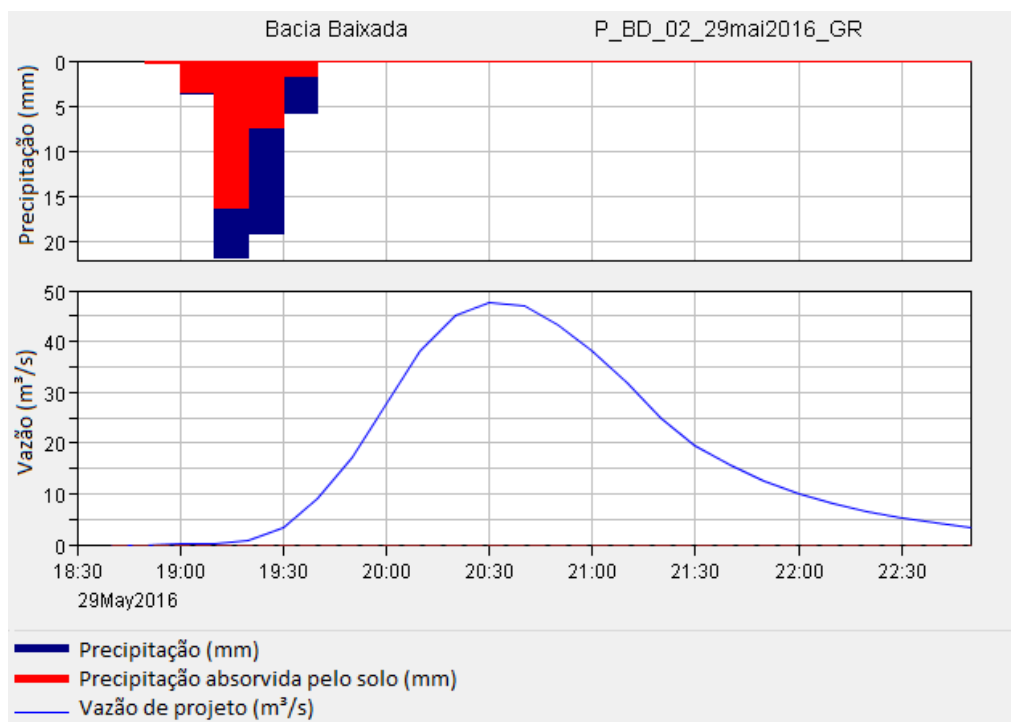
- **P\_BD\_02\_12maio2016**

O segundo evento de baixa duração analisado ocorreu no dia 29 de maio de 2016, onde durante 50 minutos precipitaram 50,54 mm, sendo que, 40,79 mm destes precipitaram em apenas 20 minutos.

Para a Sub-Bacia Bonatto, do total precipitado (50,54 mm), 29,51 mm infiltraram e 21,03 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 45,50 m<sup>3</sup>/s, 50 minutos após a precipitação máxima. Enquanto que para a Baía Baixada, do total precipitado (50,54 mm), 28,96 mm infiltraram e 21,58 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 47,60 m<sup>3</sup>/s e ocorreu 1h10min após a precipitação máxima.



**Figura 18: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 02 (P\_BD02\_29mai2016) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.**  
**Fonte: Autoria Própria**

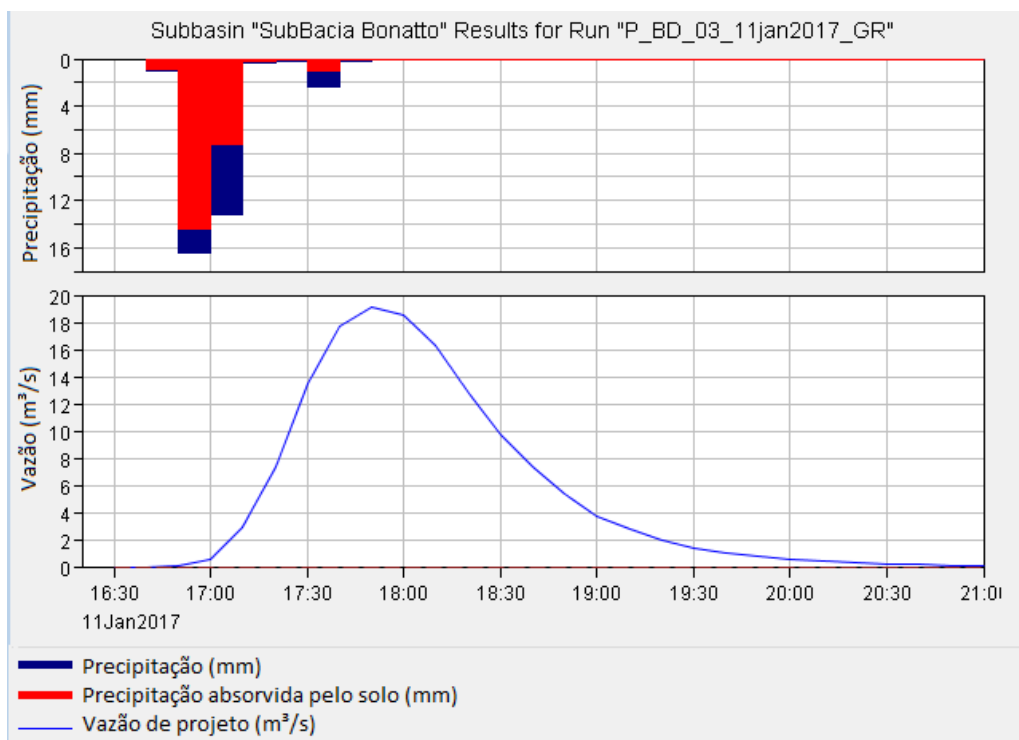


**Figura 19: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 02 (P\_BD02\_29mai2016) no exutório da Bacia da Baixada.**  
**Fonte: Autoria Própria**

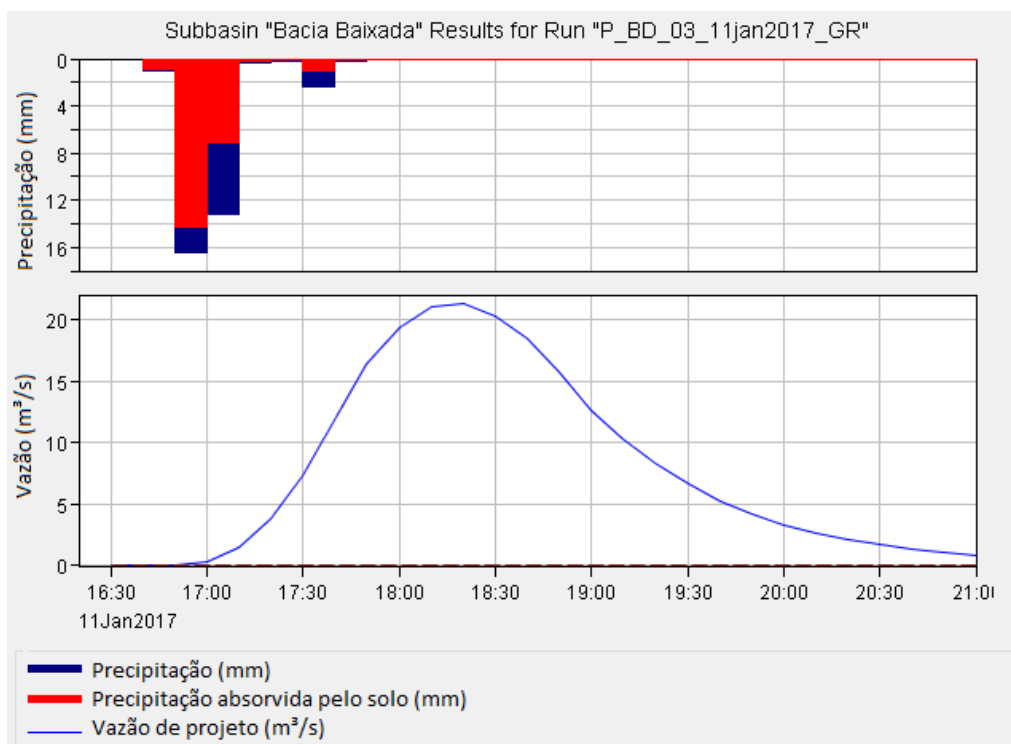
- **P\_BD\_03\_11jan2017**

Já o terceiro evento de baixa duração, ocorreu no dia 11 de janeiro de 2017, onde, em 70 minutos precipitaram 33,80 mm, sendo que destes, 29,67 mm precipitaram em 20 minutos.

Para a Sub-Bacia Bonatto, do total precipitado (33,80 mm), 24,02 mm infiltraram e apenas 9,78 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico atingiu o valor de 19,10 m<sup>3</sup>/s, 50 minutos após a precipitação máxima. Enquanto que para a Bacia Baixada, do total precipitado (33,80 mm), 23,67 mm infiltraram e apenas 10,13 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 21,30 m<sup>3</sup>/s, 1h10min após a precipitação máxima.



**Figura 20: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 03 (P\_BD03\_11jan2017) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.**  
**Fonte: Autoria Própria**



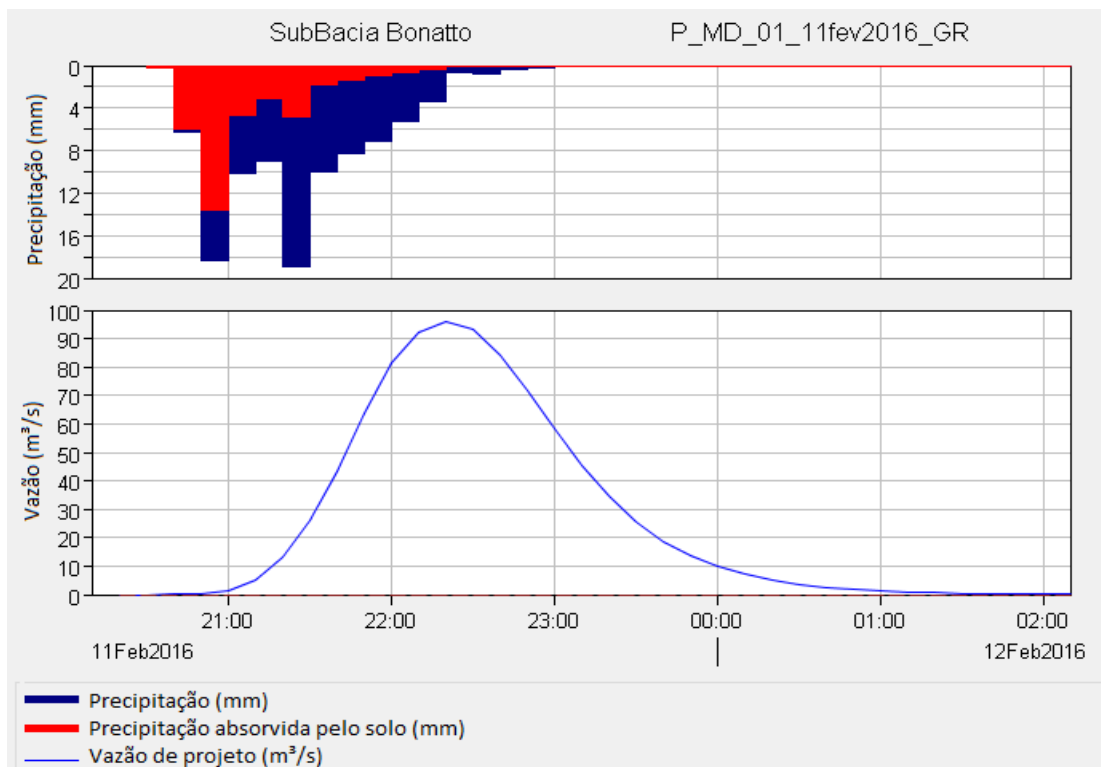
**Figura 21: Hidrograma para Precipitação de Baixa Duração 03 (P\_BD03\_11Jan2017) no exutório da Baia da Baixada.**  
**Fonte: Autoria Própria**

## 6.2.2 CHUVAS DE MÉDIA DURAÇÃO

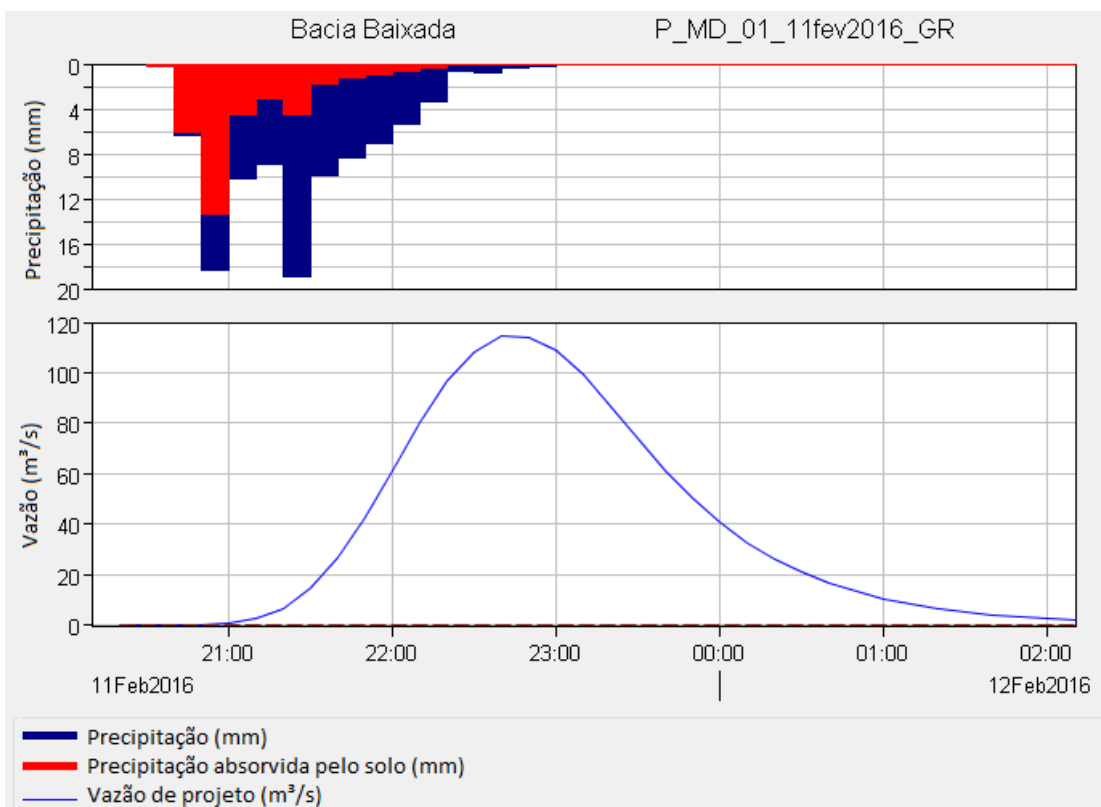
- **P\_MD\_01\_11fev2017**

O primeiro evento de média duração analisado ocorreu no dia 11 de fevereiro de 2016, onde durante 2h30min precipitaram 98,87 mm, sendo que destes, 80,94 mm choveram em 1h10min, com um pico de 18,93 mm, precipitado em 10 minutos.

Para a Sub-Bacia Bonatto, do total precipitado (98,87 mm), 37,76 mm infiltraram e 61,11 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 96,10 m<sup>3</sup>/s, 50 minutos após a precipitação máxima. Já para a Baia Baixada, do total precipitado (98,87 mm), 36,85 mm infiltraram e 62,02 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 114,50 m<sup>3</sup>/s, 1h10min após a precipitação máxima.



**Figura 22: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 01 (P\_MD01\_11fev2016) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.**  
 Fonte: Autoria Própria

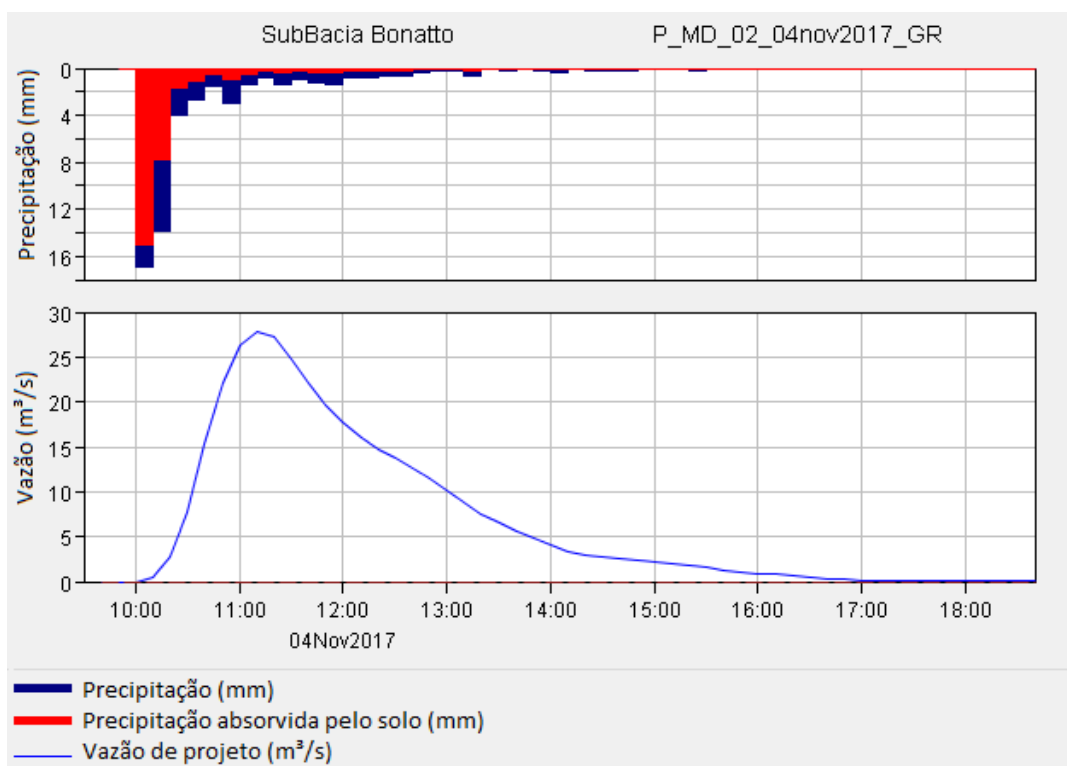


**Figura 23: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 01 (P\_MD01\_11fev2016) no exutório da Bacia da Baixada.**  
 Fonte: Autoria Própria

- **P\_MD\_02\_04nov2017**

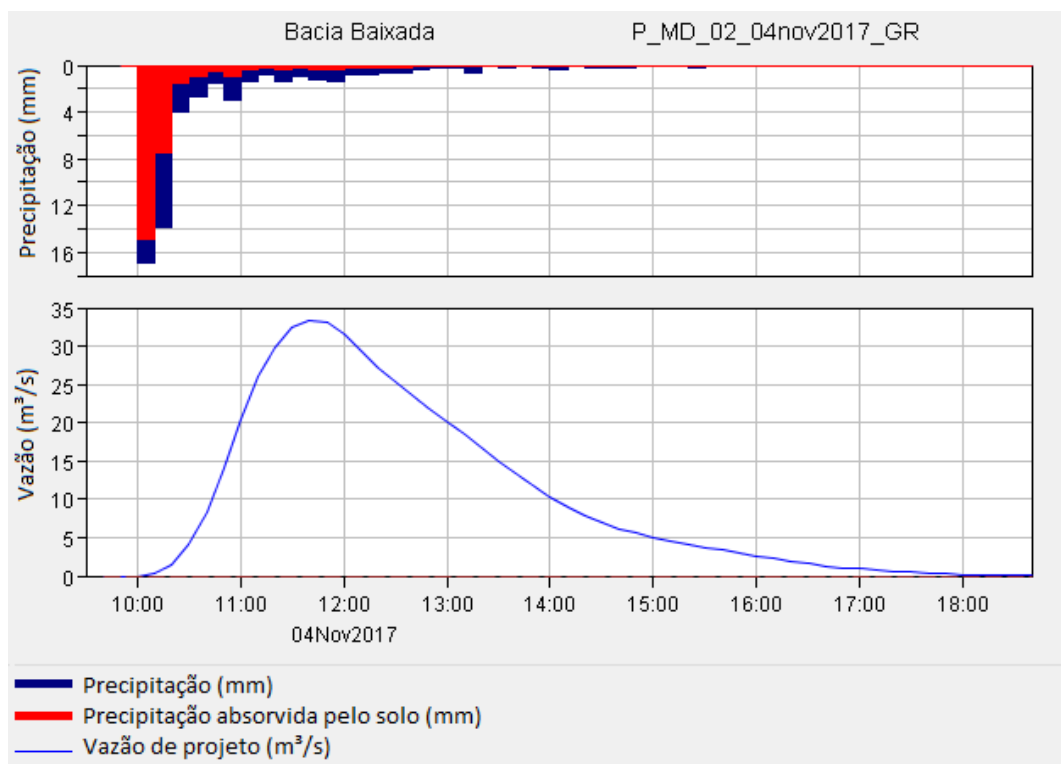
O segundo evento de média duração que foi analisado, ocorreu no dia 04 de novembro de 2017. Durante 6h30min, precipitaram 54,84 mm, sendo que, 30,81 mm choveram logo nos primeiros 20 minutos de chuva.

Para a Sub-Bacia Bonatto, do total precipitado (54,84 mm), 30,59 mm infiltraram e 24,25 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 27,80 m<sup>3</sup>/s, 60 minutos após a precipitação máxima. Enquanto que para a Bacia Baixada, do total precipitado (54,88 mm), 30,00 mm infiltraram e 24,84 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 33,40 m<sup>3</sup>/s, 1h30min após a precipitação máxima.



**Figura 24: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 02 (P\_MD02\_04nov2017) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.**

Fonte: Autoria Própria

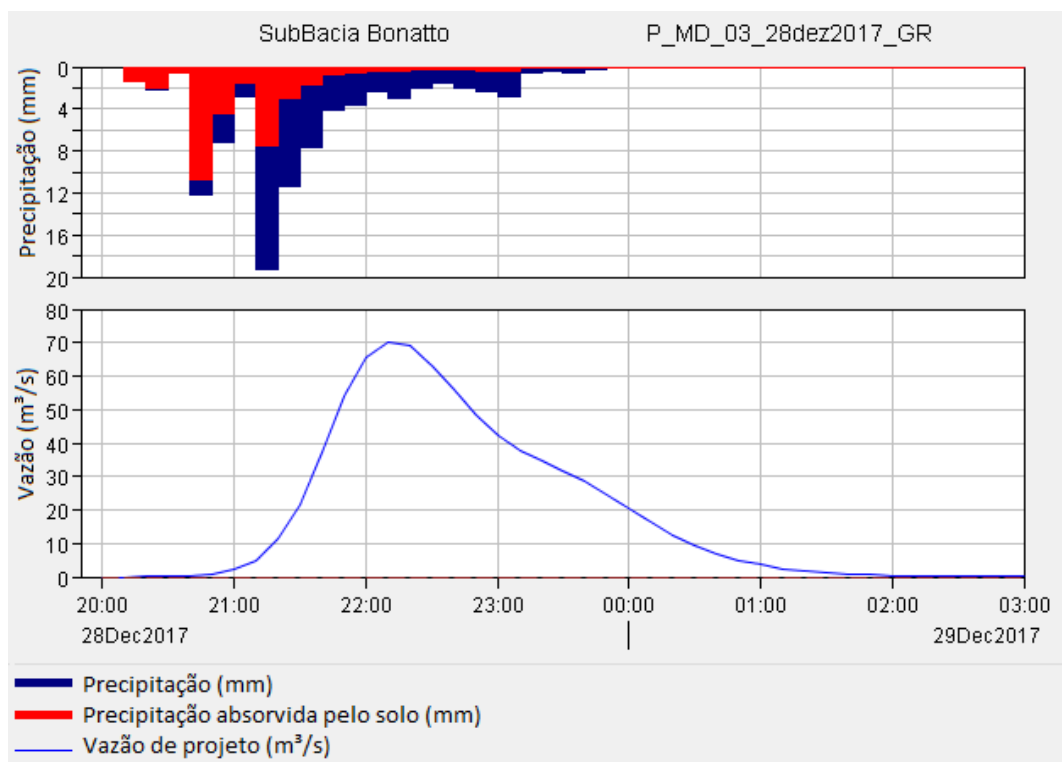


**Figura 25: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 02 (P\_MD02\_04nov2017) no exutório da Bacia da Baixada.**  
**Fonte: Autoria Própria**

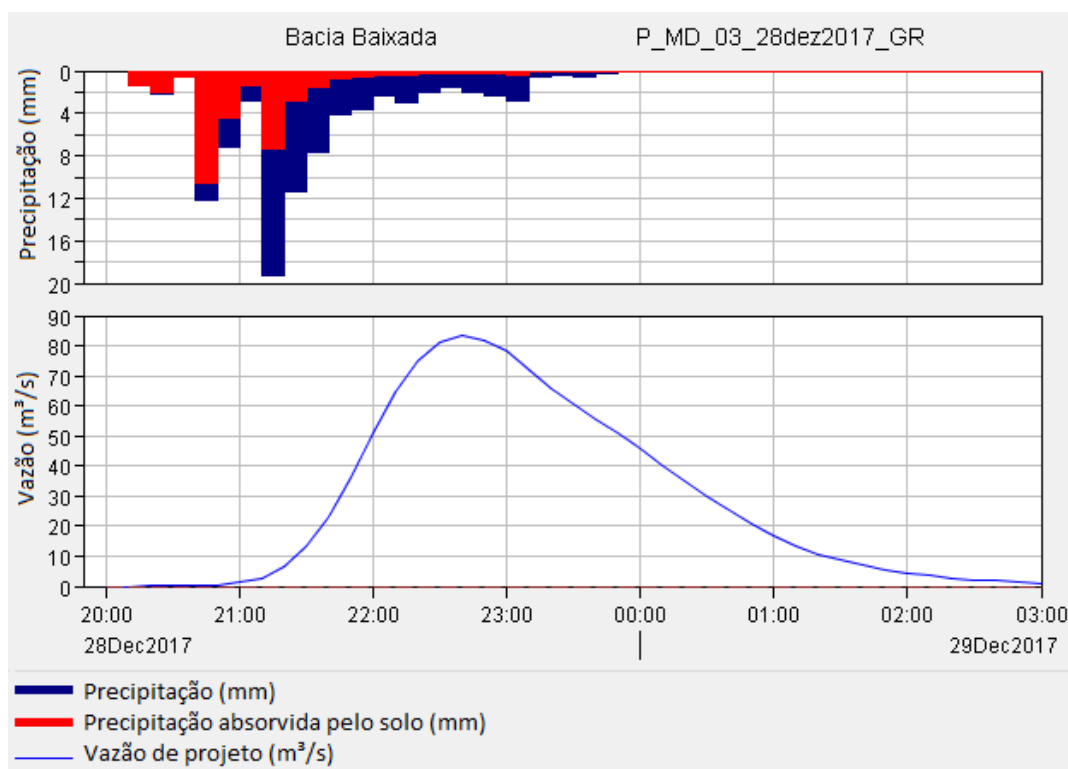
- **P\_MD\_03\_28dez2017**

O terceiro evento de média duração analisado ocorreu no dia 28 de dezembro de 2017. Durante 3h40min, precipitaram 90,07 mm, com uma precipitação máxima de 19,34 mm, acumulada em 10 minutos.

Para a Sub-Bacia Bonatto, do total precipitado (90,07 mm), 36,73 mm infiltraram e 53,34 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 70,30 m<sup>3</sup>/s, 50 minutos após a precipitação máxima. Para a Bacia Baixada, do total precipitado (90,07 mm), 35,86 mm infiltraram e 54,21 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 83,20 m<sup>3</sup>/s, 1h20min após a precipitação máxima.



**Figura 26: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 03 (P\_MD03\_28dez2017) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.**  
**Fonte: Autoria Própria**



**Figura 27: Hidrograma para Precipitação de Média Duração 03 (P\_MD03\_28dez2017) no exutório da Bacia da Baixada.**  
**Fonte: Autoria Própria**

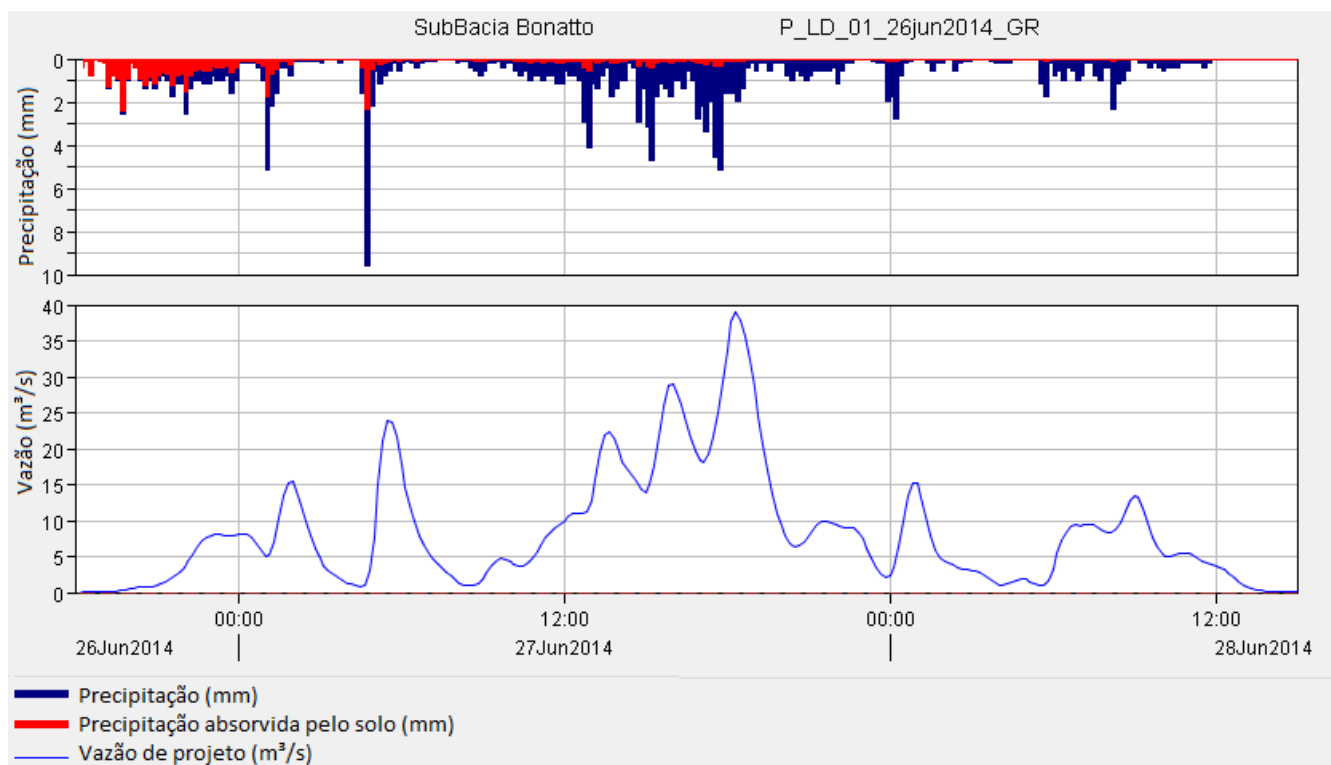


### 6.2.3 CHUVAS DE LONGA DURAÇÃO

- **P\_LD\_01\_26jun2014**

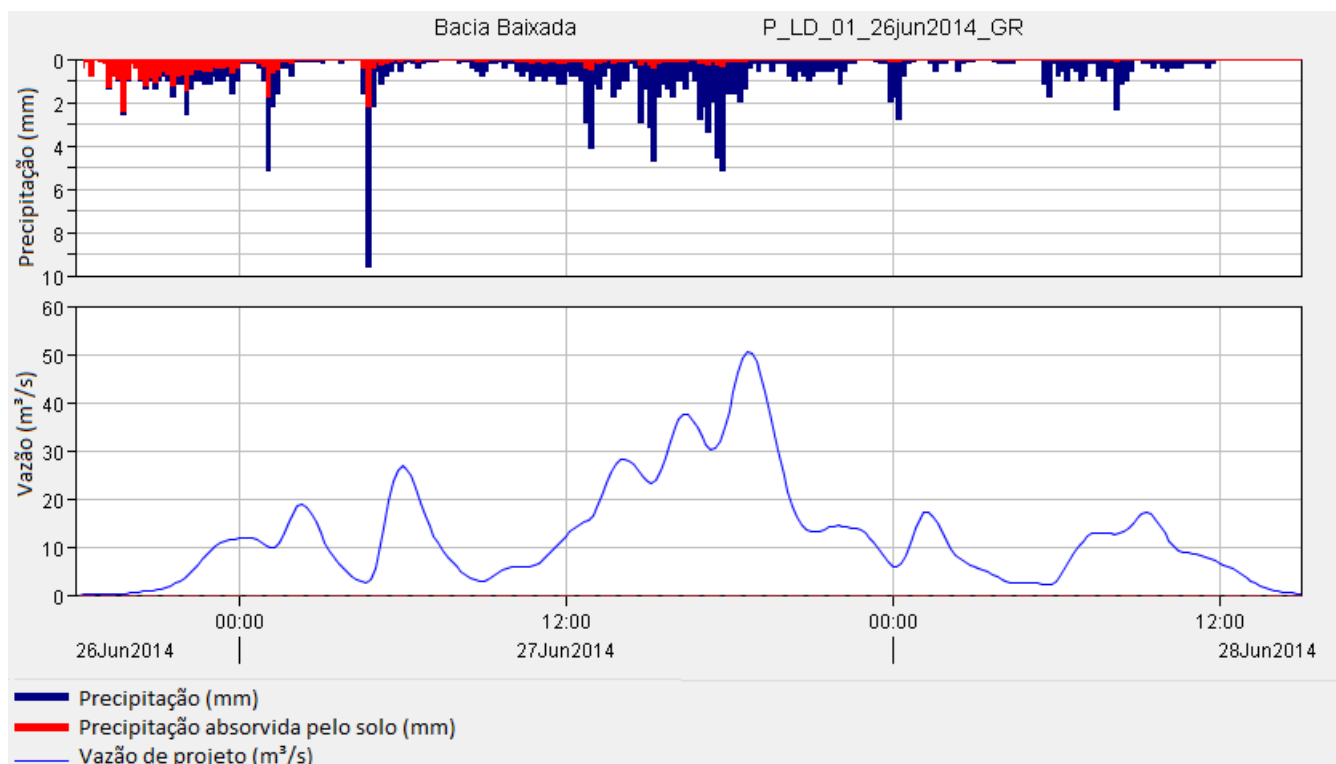
O primeiro evento de longa duração analisado ocorreu entre os dias 26 e 28 de junho de 2014. Durante 41h50min precipitaram 196,45 mm de forma distribuída. A precipitação máxima foi de apenas 9,56 mm, acumulada em 10 minutos.

Para a Sub-Bacia Bonatto, do total precipitado (196,45 mm), 44,01 mm infiltraram e 152,44 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 39,00 m<sup>3</sup>/s, 13h30min minutos após a precipitação máxima, porém, neste caso, a vazão de pico ocorre pelo acúmulo de chuvas ao longo do tempo, onde a chuva para de infiltrar, visto que o solo já está praticamente saturado, então, a água passa a escoar superficialmente. Para a Bacia Baixada, do total precipitado (196,45 mm), 42,77 mm infiltraram e 153,68 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 50,50 m<sup>3</sup>/s, 13h50min minutos após a precipitação máxima, e assim como na Sub-Bacia Bonatto, decorrente a alta taxa de umidade atingida pelo solo.



**Figura 28: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 01 (P\_LD01\_26jun2014) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.**

Fonte: Autoria Própria



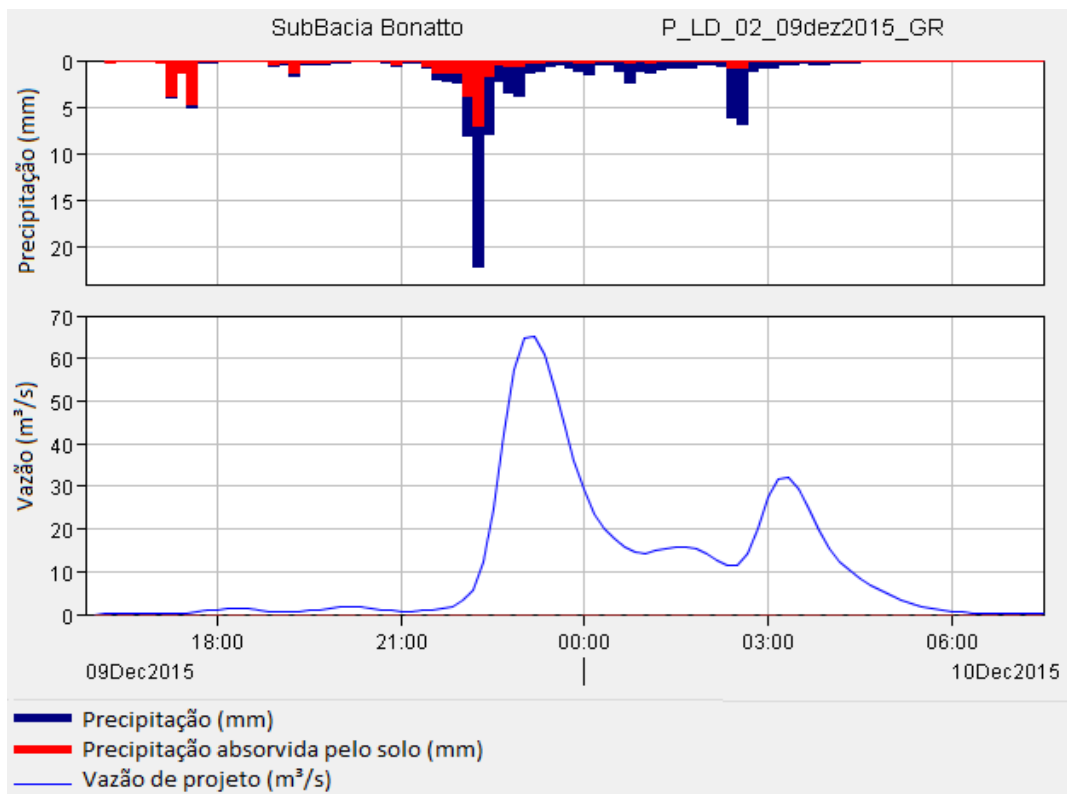
**Figura 29: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 01 (P\_LD01\_26jun2014) no exutório da Baía da Baixada.**

Fonte: Autoria Própria

- **P\_LD\_02\_02dez2015**

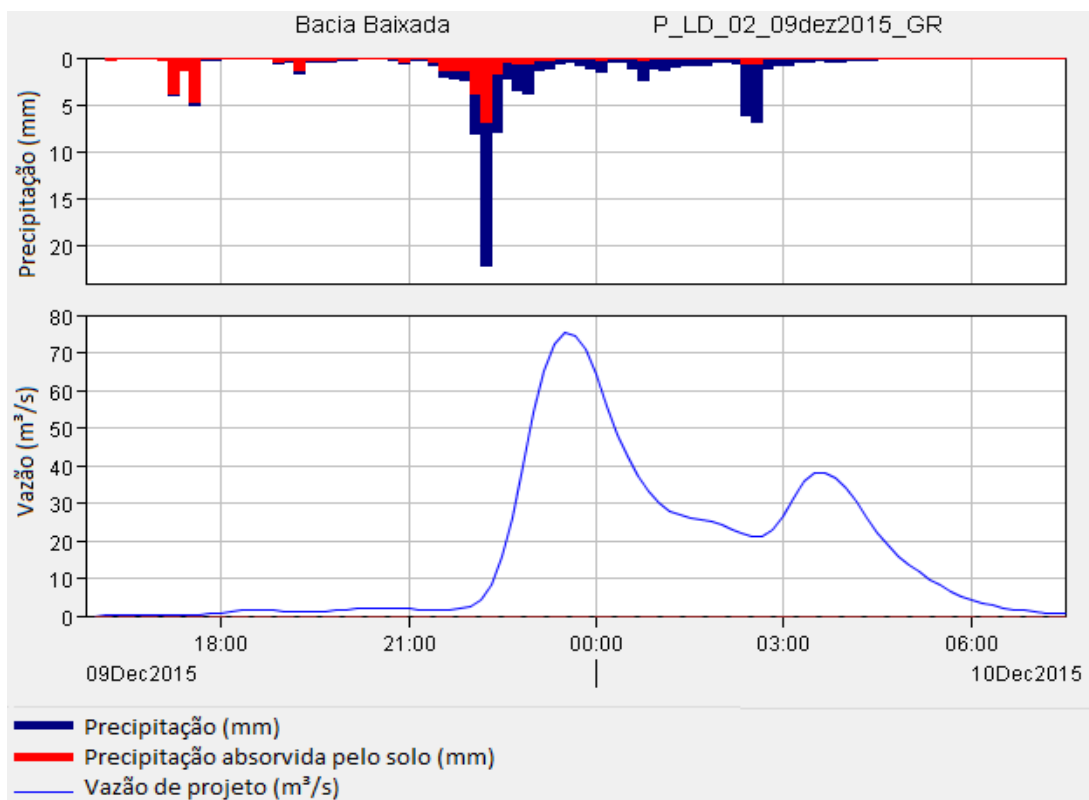
O segundo evento de longa duração analisado ocorreu entre os dias 09 e 10 de dezembro de 2015. Durante 12h40min, precipitaram 108,93 mm, com uma precipitação máxima de 22,10 mm acumulada em 10 minutos.

Para a Sub-Bacia Bonatto, do total precipitado (108,93 mm), 38,79 mm infiltraram e 70,14 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 65,20 m<sup>3</sup>/s, 50min minutos após a precipitação máxima. Para a Baía Baixada, do total precipitado (108,93 mm), 37,83 mm infiltraram e 71,10 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 75,50 m<sup>3</sup>/s e ocorreu 1h10min minutos após a precipitação máxima.



**Figura 30: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 02 (P\_LD02\_09dez2015) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.**

Fonte: Autoria Própria



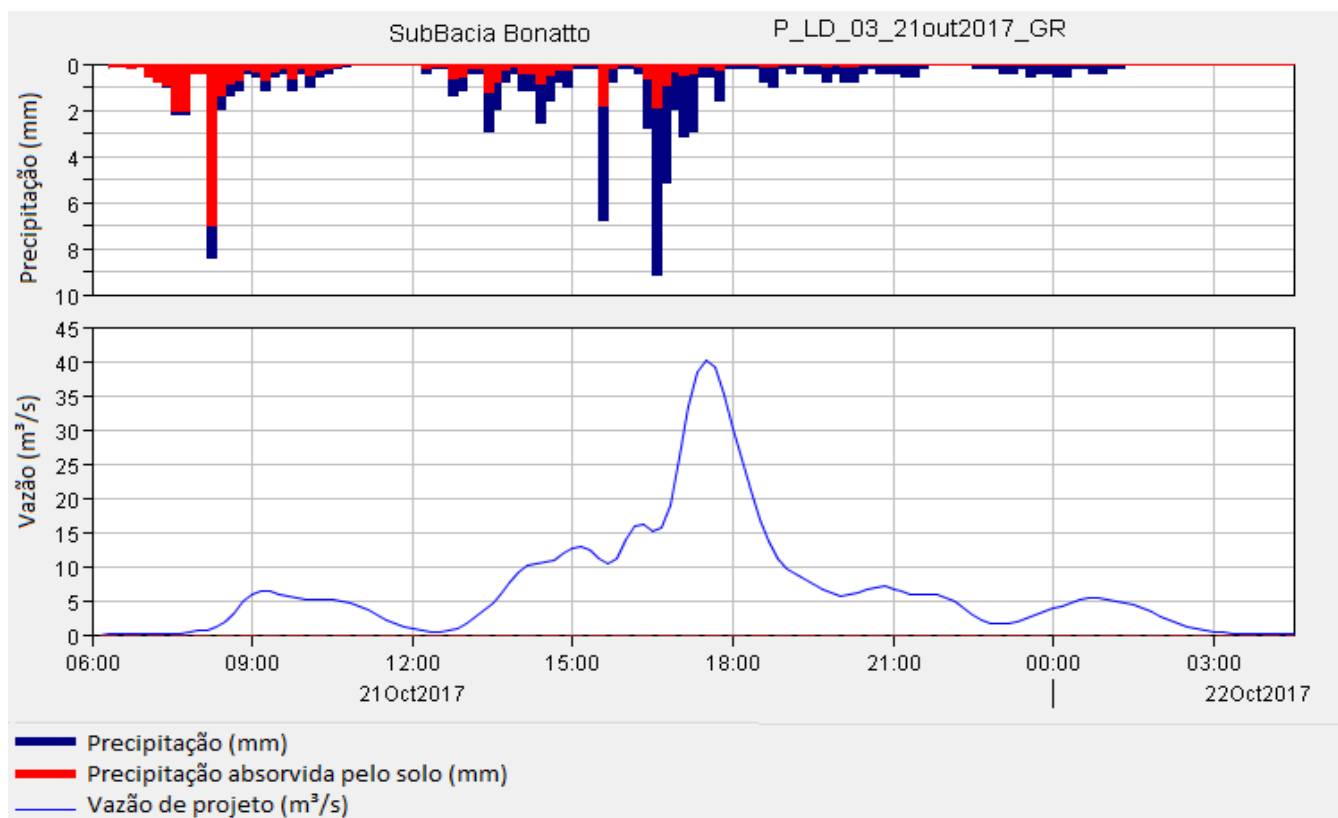
**Figura 31: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 02 (P\_LD02\_09dez2015) no exutório da Bacia da Baixada.**

Fonte: Autoria Própria

- **P\_LD\_03\_21out2017**

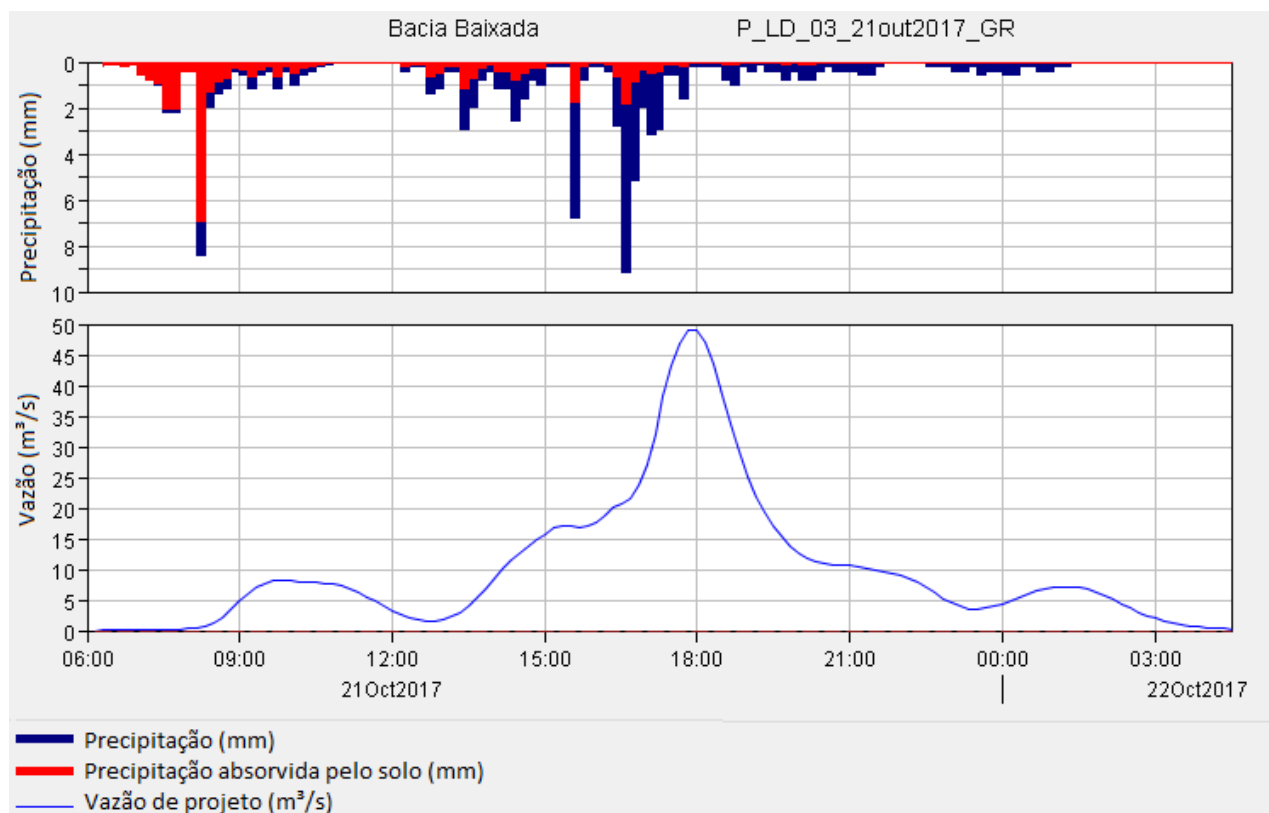
O terceiro evento de longa duração analisado ocorreu entre os dias 21 e 22 de outubro de 2017. Durante 19h20min, precipitaram 99,06 mm, com uma precipitação bem distribuída e uma máxima de 9,14 mm acumulados em 10 minutos.

Para a Sub-Bacia Bonatto, do total precipitado (99,06 mm), 37,78 mm infiltraram e 61,28 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 40,10 m<sup>3</sup>/s, 50min minutos após a precipitação máxima. Já para a Bacia Baixada, do total precipitado (99,06 mm), 36,87 mm infiltraram e 62,19 mm escoaram superficialmente. A vazão de pico foi de 48,90 m<sup>3</sup>/s e ocorreu 1h20min minutos após a precipitação máxima.



**Figura 32: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 03 (P\_LD03\_21out2017) no exutório da Sub-Bacia do Bonatto.**

Fonte: Autoria Própria



**Figura 33: Hidrograma para Precipitação de Longa Duração 03 (P\_LD03\_21out2017) no exutório da Bacia da Baixada.**  
Fonte: Autoria Própria

## 7 DISCUSSÕES

A partir dos resultados obtidos em cada simulação, criou-se uma tabela relacionando algumas características que foram analisadas em cada evento de uma forma resumida, que serão discutidos nas análises das chuvas.

**Quadro 8: Quadro de dados analisados de cada evento de precipitação de baixa (BD), média (MD) e longa (LD) duração.**

		Td (min)	P <sub>total</sub> (mm)	Bacia	P <sub>inf</sub> (mm)	P <sub>e</sub> (mm)	Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>p</sub> (min)	Rel. Q <sub>máx</sub> (%)	Rel. P <sub>inf</sub> /P <sub>e</sub> (%)
BD	01	100	62,34	Bonatto	32,26	30,08	57,6	60	90	1,1
				Baixada	31,6	30,74	63,8	80		1,0
	02	50	50,54	Bonatto	29,51	21,03	45,5	50	96	1,4
				Baixada	28,96	21,58	47,6	70		1,3
	03	70	33,8	Bonatto	24,02	9,78	19,1	50	90	2,5
				Baixada	23,67	10,13	21,3	70		2,3
MD	01	150	98,87	Bonatto	37,76	61,11	96,1	50	84	0,6
				Baixada	36,85	62,02	114,5	70		0,6
	02	390	54,84	Bonatto	30,59	24,25	27,8	60	83	1,3
				Baixada	30	24,84	33,4	90		1,2
	03	220	90,07	Bonatto	36,73	53,34	70,3	50	84	0,7
				Baixada	35,86	54,21	83,2	80		0,7
LD	01	2510	196,45	Bonatto	44,01	152,44	39	810	77	0,3
				Baixada	42,77	153,68	50,5	830		0,3
	02	760	108,93	Bonatto	38,79	70,14	65,2	50	86	0,6
				Baixada	37,83	71,1	75,5	70		0,5
	03	1160	99,06	Bonatto	37,78	61,28	40,1	50	82	0,6
				Baixada	36,87	62,19	48,9	80		0,6

Fonte: Autoria Própria

### 7.1 ANÁLISE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

O foco desse trabalho não é o de aprofundar as técnicas de análises estatísticas, porém, para uma análise precisa dos resultados, seria necessário a aplicação de um parâmetro estatístico como o coeficiente Kappa, que pode ser quantificado após construir uma matriz de confusão, sendo um índice (varia de 0 à 1)

que retrata a concordância dos dados, obtendo-se, assim, um grau de confiabilidade e precisão dos dados classificados (PRINA e TRENTIN, 2015).

A partir de uma análise visual, constatou-se alguns erros como alguns pontos azuis (corpos d'água) em áreas urbanas que não representavam realmente corpos d'água, mas sim algumas sombras. Este erro ocorre devido a alguns padrões de imagem dos açudes que se assemelham ao espectro de imagem da sombra em algumas áreas urbanas.

Os corpos d'água representam apenas 1,4% da área total (ver quadro 4), tendo pouca interferência nos resultados obtidos nas simulações. Como medida para a correção do erro para os corpos d'água, adotou-se um coeficiente de infiltração, CN, para superfícies impermeáveis, com um valor de 98, escolhido em função da segurança. Uma das grandes dificuldades encontrada na literatura para esse tipo de aplicação, e a dificuldade na diferenciação de rodovias com padrões de solo exposto.

## 7.2 ANÁLISE DOS HIDROGRAMAS

Os hidrogramas apresentaram resultados esperados em relação ao seu comportamento. Para a Sub-Bacia do Bonatto, os hidrogramas tem uma largura menor que os hidrogramas simulados para a Bacia da Baixada, isso ocorre devido ao tempo de concentração do Bonatto ser menor que o da Baixada, logo, o volume de água escoado chega com uma maior velocidade até o exutório do Bonatto e depois se propaga até o exutório da Baixada de forma mais lenta.

Os dados de cada evento foram separados e analisados. Notou-se alguns padrões que se repetem mesmo com eventos distintos. Ver classificação das chuvas no item 4.3.1 – Precipitação.

As precipitações BD02, BD03, MD01 e LD02, apresentaram os mesmos tempos de pico, que são 50 e 70 minutos, para a Sub-Bacia do Bonatto e Bacia da Baixada, respectivamente. As precipitações MD03 e LD03, tiveram uma pequena diferença, sendo que seu tempo de pico foi de 50 e 80 minutos, para a Sub-Bacia do Bonatto e Bacia da Baixada.

A precipitação BD01, teve os tempos de pico igual à 60 e 80 minutos, enquanto a precipitação MD02 teve 60 e 90 minutos, para a Sub-Bacia do Bonatto e Bacia da Baixada.

Já a precipitação LD01, teve uma duração de 41h50m de uma chuva bem distribuída, onde a vazão máxima não foi reflexo de uma precipitação de pico, mas sim, devido ao aumento da umidade do solo, devido ao grande volume precipitado ao longo do tempo, diminuindo a capacidade de infiltração do solo e aumentando o volume de escoamento superficial.

### 7.3 RELAÇÃO ENTRE AS VAZÕES DE PICO

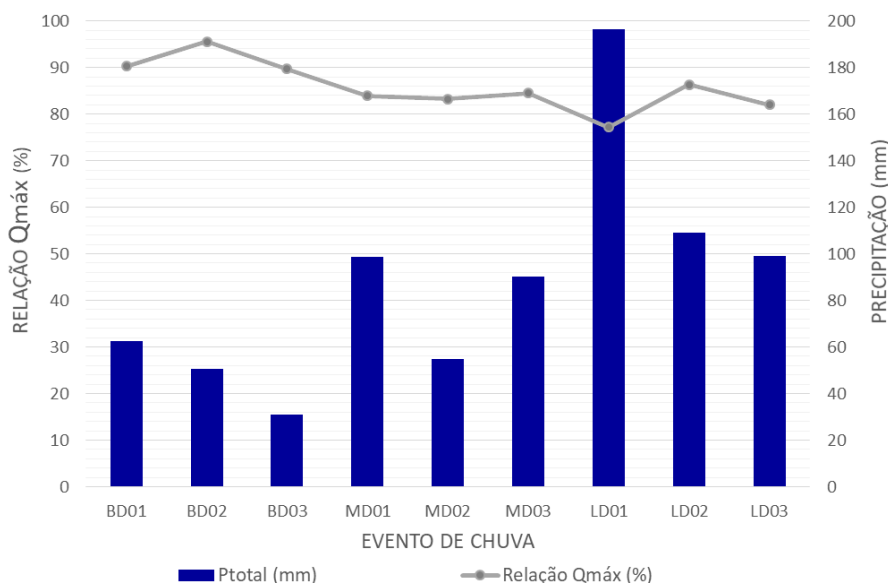
Outro ponto analisado foi a relação entre as vazões de pico da Sub-Bacia do Bonatto e da Bacia da Baixada, onde a Sub-Bacia do Bonatto representa em área total, 67,50% da Bacia Baixada.

Observou-se também que a relação entre vazão máxima é mais elevada para chuvas menores durações, em que a Sub-Bacia do Bonatto chegou a atingir 96% da vazão de pico da Bacia da Baixada. Para as chuvas de média duração, as relações ficaram entre 83 e 84% e tiveram resultados muito semelhantes, mesmo com eventos de chuvas bem distintos. Já para as chuvas de longa duração, o resultado foi semelhante com os de média duração, exceto pela LD01, onde teve o solo quase saturado e em consequência disso, a relação entre as vazões foi a menor entre todos os eventos analisados.

No gráfico apresentado na figura 36, a precipitação total de cada evento é representada pelas colunas azuis com sua medida em milímetros à direita do gráfico. Já a linha que relaciona as vazões máximas, é a relação em porcentagem da vazão que chega no exutório da Sub-Bacia Bonatto em relação a vazão que chega no exutório da Bacia Baixada. A equação 10 relaciona as vazões, e seus resultados são apresentados à esquerda do gráfico da figura 36.

$$\text{Relação } Q_{\text{máx}} = \frac{Q_{\text{máx Bonatto}}}{Q_{\text{máx Baixada}}} \times 100\% \quad (10)$$





**Figura 34: Relação entre as vazões máximas do Bonatto e Baixada.**  
**Fonte: Autoria Própria**

#### 7.4 RELAÇÃO ENTRE A CHUVA INFILTRADA E A CHUVA EFETIVA

Por meio das simulações, encontrou-se uma relação entre a parcela de chuva que infiltra e a parcela que escoa superficialmente na área de estudo.

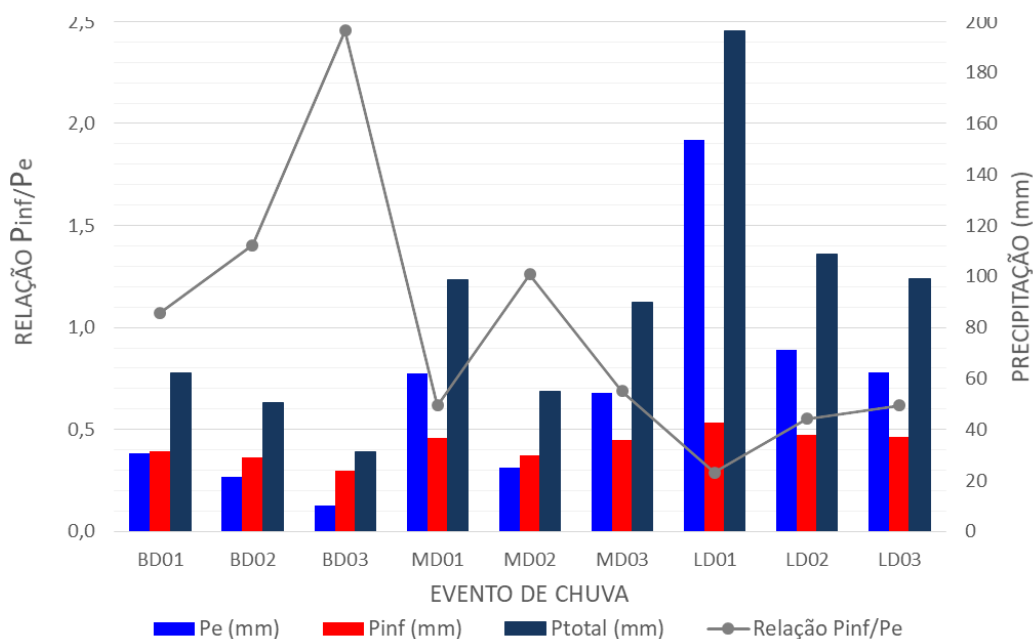
Para chuvas com volume precipitado menor de 30 mm, o valor que infiltra é aproximadamente 3 vezes maior que a precipitação que escoa. Para chuvas com volume precipitado de aproximadamente 50 mm, o valor que infiltra continua sendo maior que o que escoa, porém, o volume escoado passa a aumentar em uma proporção relativamente maior que a parcela que infiltra. Já as chuvas com aproximadamente 60 mm, atingem um equilíbrio, onde aproximadamente metade da precipitação total infiltra e a outra metade escoa. O escoamento superficial continua aumentando inversamente proporcional a parcela de chuva que infiltra.

Para chuvas com volume precipitado entre 90 mm e 110 mm, a parcela que infiltrou ficou entre 36 e 39 mm, enquanto a chuva efetiva ficou entre 54 e 71 mm, respectivamente. Para o evento de maior precipitação, 196 mm, 43 mm infiltraram e o restante escoou superficialmente.

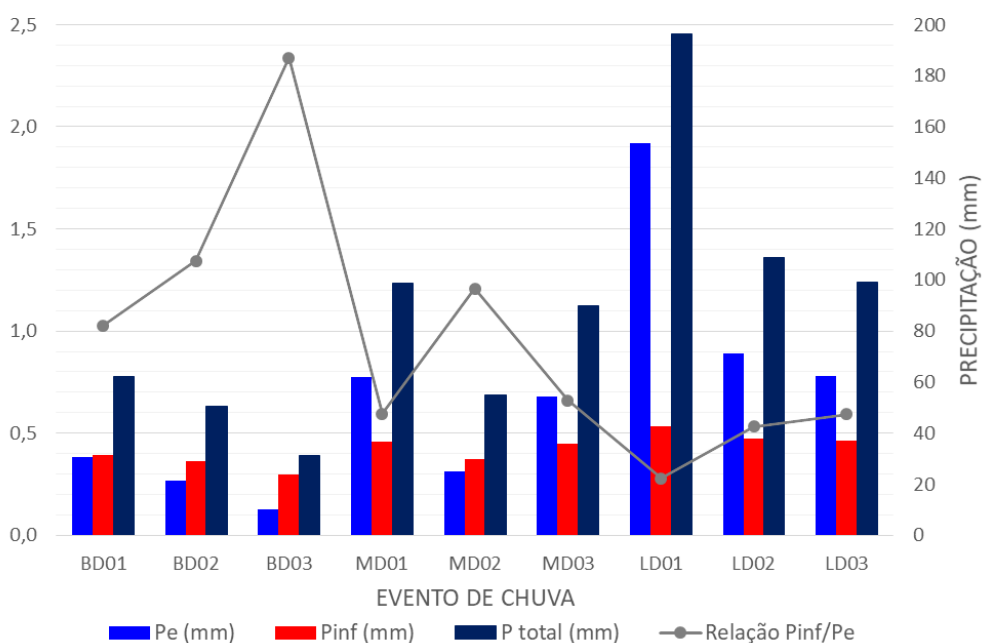
Nas figuras a seguir, 37 e 38, foi feita uma relação entre a precipitação infiltrada ( $P_{inf}$ ) [mm], com a precipitação efetiva (escoamento superficial) ( $P_e$ ) [mm].  $P_{total}$  [mm] representa o volume total precipitado no evento analisado. Os valores precipitados estão à direita do gráfico.

A linha de relação  $P_{inf}/P_e$ , equação 11, relaciona em quantas vezes a parcela de precipitação que infiltra difere da parcela que escoamento superficial, dependendo do volume precipitado.

$$\text{Relação } P_{inf}/P_e = \frac{\text{Precipitação Infiltrada}}{\text{Precipitação Efetiva}} \quad (11)$$



**Figura 35: Relação entre Precipitação efetiva (Pe) e Precipitação infiltrada (Pinf) na Sub-Bacia do Bonatto.**  
Fonte: Autoria Própria



**Figura 36: Relação entre Precipitação efetiva (Pe) e Precipitação infiltrada (Pinf) – Baixada**  
Fonte: Autoria Própria

## 8 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O município de Pato Branco vem apresentando diversos eventos de inundações e alagamentos nos últimos anos, deste modo, a simulação hidrológica é uma etapa fundamental para a previsão de futuros eventos de inundações decorrentes de chuvas intensas.

Neste estudo, propôs-se analisar as vazões máximas geradas para a bacia hidrográfica da Baixada e do Bonatto, sob diferentes intensidades de precipitações. Pelo fato de não haver dados reais de vazão medidos no exutório, esse trabalho possui um caráter comparativo entre as diferentes precipitações analisadas, com objetivo de estimar o comportamento hidrológico da bacia aos eventos simulados e poder compará-los com eventos futuros.

Para a simulação das vazões, utilizou-se o método do SCS, que é de fácil uso e tem uma ampla aplicação por pesquisadores. A falta de dados reais da região foi suprida através de valores sugeridos na literatura para a aplicação do método.

Nas simulações, foi considerada apenas a macrodrenagem, desconsiderando-se o escoamento da água em galerias (microdrenagem), o que diminuiria o tempo de pico. As condições de umidade do solo foram consideradas iguais para todas as simulações. A medida que as características físicas da bacia (área, uso do solo, comprimento e declividade do talvegue) têm seus valores simplificados para a simulação, tornam os resultados mais imprecisos, uma vez que menos elementos constituem a simulação.

Ainda que a falta de dados observados não tenha permitido uma simulação exata, os hidrogramas gerados foram considerados satisfatórios. As simulações executadas com diferentes intensidades e duração de precipitação, demonstram que o modelo representa de forma coerente os hidrogramas, com volumes de escoamento superficial proporcionais aos eventos estudados.

Os eventos que se mostraram mais problemáticos são precipitações intensas com baixa duração, ou então, precipitações mais longas, com picos de precipitação intensa em pequenos intervalos de tempo.. Eventos com picos elevados geram um grande volume de escoamento superficial que atinge os exutórios das bacias de forma muito rápida, causando inundações. A partir dos eventos simulados com precipitações reais, percebe-se que quando as precipitações geram volumes de escoamento

superficial superiores à 25 m<sup>3</sup>/s, podem ocorrer pontos de alagamentos. Logo, precipitações de baixa e média duração, que tiverem volumes precipitados à cima de 50 mm, podem gerar alguma inundação.

Pode-se concluir que, embora o trabalho tenha um caráter comparativo, o método utilizado na elaboração do estudo é uma ferramenta útil na caracterização de locais com potenciais de inundações e alagamentos, visto que o mesmo também pode ser desenvolvido em outros centros urbanos que apresentem problemas relacionados à desastres hidrológicos, ou que busquem ações preventivas através de um planejamento a longo prazo.

Pela área de estudo ser uma região que apresenta decorrentes eventos de inundações, é necessária uma continuidade de estudos mais detalhados para que se possa avaliar medidas de controle sobre o impacto das inundações. Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Implantação de um sistema de monitoramento hidrológico na bacia;
- Calibração do modelo hidrológico através de dados observados;
- Elaborar mapas de inundação através de simulação hidráulica;
- Elaborar estudos que abordem a adoção de medidas de controle de inundações e seus impactos para a região;
- Avaliar prejuízos causados pelas inundações, estabelecendo-se uma relação custo/benefício para a aplicação dos métodos de controle de enchentes.
- Análise multicritério no processo de decisão para os métodos de controle de enchentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENETI, Cesar; CALVETTI, Leonardo; PEREIRA FILHO, Augusto José. Estimativa da Precipitação por Radar e Pluviômetros na Região Metropolitana de Curitiba-Resultados Preliminares. In: **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz do Iguaçu-PR. 2002.

BUARQUE, Diogo Costa; PAZ, A. R.; COLLISCHONN, Walter. Extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas a partir do MNT para utilização em modelos hidrológicos. **II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, 2008.

BURROUGH, Peter A. **Principles of geographical information systems**. Oxford, UK: Oxford University Press, c1998. 333 p.

CABRAL, Samuellson Lopes et al. INTEGRAÇÃO DO SIG, HEC/HMS E HEC/RAS NO MAPEAMENTO DE ÁREA DE INUNDAÇÃO URBANA: APLICAÇÃO À BACIA DO RIO GRANJEIRO-CE. **Geociências (São Paulo)**, v. 35, n. 1, p. 90-101, 2016.

CALLOW, John Nikolaus; VAN NIEL, Kimberly P.; BOGGS, Guy S. How does modifying a DEM to reflect known hydrology affect subsequent terrain analysis?. **Journal of hydrology**, v. 332, n. 1-2, p. 30-39, 2007.

CALVETTI, Leonardo; BENETI, Cesar; PEREIRA FILHO, Augusto José. Integração do radar meteorológico Doppler do SIMEPAR e uma rede de pluviômetros para a estimativa da precipitação. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 11, p. 1137-1144, 2003.

CÂMARA, G. **Introdução ao geoprocessamento**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 1999.

CAMPOS, José Nilson B. **Lições em modelos e simulação hidrológica**. Fortaleza: ASTEF/Expressão Gráfica, v. 1, p. 166, 2009.

CANHOLI, Aluísio. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos, 2005.

CEMADEN, **Pluviômetros Automáticos**. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/pluviometros-automatico/>>

CENAD, Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2011. **Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres**. Brasília, 2012.

CEPDEC. **Relatório Anual: Ações Desenvolvidas em 2015**. Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil. Curitiba, Paraná, 2015.

CRAWFORD, M.; LINSLEY. **Digital simulation in hydrology stanford watershed model IV**. 1966. 210 f. Thesis (MA)- Department of Civil Engineer, Stanford. 1966.

CROSBIE, Peter. Object-oriented design of GIS: a new approach to environmental modeling. **GIS and environmental modeling: Progress and research issues**, p. 383-386, 1996.

DA SILVEIRA, André Luiz Lopes. **Desempenho de formulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais**. 2005.

DE OLIVEIRA, Guilherme Garcia de; SALDANHA, Dejanira Luderitz; GUASSELLI, Laurindo Antonio. **Espacialização e análise das inundações na bacia hidrográfica do Rio Caí/RS**. *Geociências (São Paulo)*, v. 29, n. 3, p. 413-421, 2010.

DE SILVA, M. M. G. T.; WEERAKOON, S. B.; HERATH, Srikantha. Modeling of event and continuous flow hydrographs with HEC–HMS: case study in the Kelani River Basin, Sri Lanka. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 19, n. 4, p. 800-806, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

FONTES, Andréa Regina Martins; BARBASSA, Ademir Paceli. Diagnóstico e prognóstico da ocupação e impermeabilização urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre-RS**, v. 8, n. 2, p. 137-147, 2003.

GONÇALVES, F. M.; BARROS, MTL; PALOS, J. C. **Utilização de Radar Meteorológico em Hidrologia**. São Paulo, v. 116, 2005.

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de seguro para risco hidrológico com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundação**. 2010. 191 f. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2010.

GUHA-SAPIR, Debarati et al. Annual disaster statistical review 2015: the numbers and trends. **Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)**, 2015. Disponível em: < [https://www.cred.be/sites/default/files/ADSR\\_2015.pdf](https://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2015.pdf) >.

HADDAD, Eduardo Amaral; TEIXEIRA, Eliane. Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil. **Habitat International**, v. 45, p. 106-113, 2015.

HAWKINS, R.H. Asymptotic determination of runoff Curve Numbers from data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. V. 119, n.2, p.334-345, 1993.

HENDERSON, Vernon. Urbanization in Developing Countries. **The World Bank Research Observer**, v. 17, n. 1, p. 89-112, 2002.

LEIPNIK, Mark R.; KEMP, Karen K.; LOAICIGA, Hugo A. Implementation of GIS for water resources planning and management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 119, n. 2, p. 184-205, 1993.

LU, Dengsheng; HETRICK, Scott; MORAN, Emilio. Land cover classification in a complex urban-rural landscape with QuickBird imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 76, n. 10, p. 1159-1168, 2010.

MINUTTA (Pato Branco). **Chuva causa alagamentos em Pato Branco**. 2017. Disponível em: < <http://www.minutta.com.br/noticias/chuva-desta-quinta-feira-causa-alagamentos-em-pato-branco> >.

MOREIRA, Itamar Adilson. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná. 2005.

NEWS, Massa. Chuvas causam alagamentos em diversas regiões de Pato Branco. 2016. Disponível em: < <https://massanews.com/noticias/plantao/chuvas-causam-alagamentos-em-diversas-regioes-de-pato-branco.html> >.

OTUKEI, John Richard; BLASCHKE, Thomas. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 12, p. S27-S31, 2010.

PARK, Jin Hyeog; HUR, Young Teck. Development and application of GIS based K-DRUM for flood runoff simulation using radar rainfall. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 6, n. 3, p. 209-219, 2012.

PAULO, S. **Manual de Drenagem e manejo de águas pluviais**: aspectos tecnológicos, diretrizes para projetos, ed. SMdDU (SMDU), São Paulo, p. 128, 2012.

PAZ, Adriano Rolim; COLLISCHONN, Walter. River reach length and slope estimates for large-scale hydrological models based on a relatively high-resolution digital elevation model. **Journal of Hydrology**, v. 343, n. 3-4, p. 127-139, 2007.

PHILIPPI JR., Arlindo. **Saneamento, saúde e ambiente**: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, 2005. 842 p. (Coleção ambiental; 2).

PINTO, Nelson L. de Souza et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, c1976. 278 p.

POLETO, Cristiano. SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica. **Revista Thema**, v. 8, n. 1, jun. 2011.

PORTELA, M.; MARQUES, Pedro; CARVALHO, F. F. Hietogramas de projecto para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário do Soil Conservation Service (SCS). In: **Actas do 5º Congresso da Água**, Lisboa, Portugal. 2000

PRINA, Bruno Zucuni; TRENTIN, Romario. GMC: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS®. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 17, p. 131-139, 2015.

SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, Francisco, GENOVEZ, Abel Maia. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, 19-29, 2005.

SCHMITT, Theo G.; THOMAS, Martin; ETTRICH, Norman. Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. **Journal of Hydrology**, v. 299, n. 3, p. 300-311, 2004.

SCS, **Urban hydrology for Small Watersheds**. Washington. U.S. Dept. Agr. Technical Release n.55, 1975.

SCS, Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: **National Engineering Handbook**. Section 4 – Hydrology. Chapter 10. Hydraulic Engineer. 30 p., 1964.

SEWELL, Granville H.. **Administração e controle da qualidade ambiental**. São Paulo: EPU: USP: CETESB, c1978. 295 p.

SILVEIRA, André L.L. in TUCCI, Carlos E. M. et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, RS: UFRGS-Faculdade de Agronomia, 2009. 943 p. (Coleção ABRH de recursos hídricos; v. 4).

SILVEIRA, André L.L.; LOUZADA, José A.; BELTRAME, Lawson F. in TUCCI, Carlos E. M. et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, RS: UFRGS-Faculdade de Agronomia, 2009. 943 p. (Coleção ABRH de recursos hídricos; v. 4).

SIQUEIRA, E.Q. **Complexity and Uncertainty in Hydrological Modeling for Urban Areas of Varying Database Quality**. 2003. 117f. Tese (Doutorado), University of Guelph, Canada. 2003.

SOUZA, Rávila Marques; CRISPIM, Diogo Coelho; FORMIGA, Klebber. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial–caso de estudo bacia do Córrego Samambaia. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 5, n. 2, 2012.

SUDOESTE, Diário. **Chuva forte provoca alagamentos em Pato Branco**. 2017. Disponível em: < <https://www.diariodosudoeste.com.br/noticia/chuva-forte-provoca-alagamentos-em-pato-branco> >



SULEIMAN, H.C.E, BARBASSA, A.P. Mapeamento preliminar de áreas urbanas de inundação. **Ciências & Engenharia**. V.15, p.51-58, 2005.

TABALIPA, Ney Lyzandro; FIORI, Alberto Pio. Caracterização dos solos da bacia do Rio Ligeiro (PR) na estabilidade de taludes. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 11-26, 2012.

TADESSE, W.; COLEMAN, T. L.; TSEGAYE, T. D. Improvement of land use and land cover classification of an urban area using image segmentation from Landsat ETM+ data. In: **Proceedings of the 30th international symposium on remote sensing of the environment**. 2003. p. 10-14.

THIEKEN, Annegret H. et al. Scaling input data by GIS for hydrological modelling. **Hydrological processes**, v. 13, n. 4, p. 611-630, 1999.

TUCCI, C. E. M.; ORDONEZ, J. S.; SIMÕES LOPES, M. Modelo Matemático Precipitação-Vazão IPH II Alguns Resultados. **Anais IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH. Fortaleza, 1981.

TUCCI, Carlos E. M. in TUCCI, Carlos E. M. et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, RS: UFRGS-Faculdade de Agronomia, 2009. 943 p. (Coleção ABRH de recursos hídricos; v. 4).

TUCCI, Carlos EM. **Gestão de Inundações Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank. Edição em arquivo digital. Unesco, 2005.

TUCCI, Carlos EM. Parâmetros do Hidrograma Unitário para bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre–RS, v. 8, n. 2, p. 195-199, 2003.

TUCCI, Carlos EM; GENZ, Fernando. **Controle do impacto da urbanização**. Tucci, CEM, Porto, RL, Barros, MT, p. 277-347, 1995.

USACE, **Hydrologic modeling system HEC-HMS: User's manual**. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2013.

USDA - United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service - Part 630 Hydrology - **National Engineering Handbook** - Chapter 10 - Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, 2004

USDA - United States Department of Agriculture. Urban hydrology for small watersheds. Technical release, n. 55 (TR-55). Washington, DC: **USDA Natural Resources Conservation Service**, 1986.

WALSH, Michael R. Toward spatial decision support systems in water resources. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 119, n. 2, p. 158-169, 1993.

WOLF, Paul R.; DEWITT, Bon A.; WILKINSON, Benjamin E. (Autor). Elements of photogrammetry with applications in GIS. 4. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2014. 676 p.

YU, B. Theoretical justification of SCS method for runoff estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 124, n. 6, p.306-310, 1998.

## ANEXOS – SERIES DE PRECIPITAÇÕES

### P\_BD\_01\_14mar2015

Data e hora	Valor medido (mm)	Data e hora	Valor medido (mm)
14/03/2015 21:00	6,79	14/03/2015 21:50	0,59
14/03/2015 21:10	25,11	14/03/2015 22:00	0,20
14/03/2015 21:20	13,01	14/03/2015 22:10	0,39
14/03/2015 21:30	6,70	14/03/2015 22:20	0,59
14/03/2015 21:40	8,76	14/03/2015 22:30	0,20

### P\_BD\_02\_12maio2016

Data e hora	Valor medido (mm)	Data e hora	Valor medido (mm)
2016-05-29 19:00:00.0	0,20	2016-05-29 19:30	19,13
2016-05-29 19:10:00.0	3,70	2016-05-29 19:40	5,85
2016-05-29 19:20:00.0	21,66		

### P\_BD\_03\_11jan2017

Data e hora	Valor medido (mm)	Data e hora	Valor medido (mm)
11/01/2017 16:50	0,98	19/01/2017 17:40	0,2
11/01/2017 17:00	16,46	19/01/2017 17:50	2,36
11/01/2017 17:10	13,21	19/01/2017 18:00	0,2
11/01/2017 17:20	0,39		

### P\_MD\_01\_11fev2017

Data e hora	Valor medido (mm)	Data e hora	Valor medido (mm)
11/02/2016 20:40	0,2	11/02/2016 22:00	7,1
11/02/2016 20:50	6,33	11/02/2016 22:10	5,31
11/02/2016 21:00	18,3	11/02/2016 22:20	3,35
11/02/2016 21:10	10,17	11/02/2016 22:30	0,59
11/02/2016 21:20	8,93	11/02/2016 22:40	0,79
11/02/2016 21:30	18,93	11/02/2016 22:50	0,39
11/02/2016 21:40	9,96	11/02/2016 23:00	0,2
11/02/2016 21:50	8,32		

**P\_MD\_02\_04nov2017**

Data e hora	Valor medido (mm)	Data e hora	Valor medido (mm)
04/11/2017 10:10	16,95	04/11/2017 12:20	0,79
04/11/2017 10:20	13,86	04/11/2017 12:30	0,59
04/11/2017 10:30	3,94	04/11/2017 12:40	0,59
04/11/2017 10:40	2,75	04/11/2017 12:50	0,39
04/11/2017 10:50	1,57	04/11/2017 13:00	0,2
04/11/2017 11:00	2,95	04/11/2017 13:10	0,2
04/11/2017 11:10	1,37	04/11/2017 13:20	0,59
04/11/2017 11:20	0,79	04/11/2017 13:40	0,2
04/11/2017 11:30	1,37	04/11/2017 14:00	0,2
04/11/2017 11:40	0,98	04/11/2017 14:10	0,42
04/11/2017 11:50	1,18	04/11/2017 14:30	0,2
04/11/2017 12:00	1,37	04/11/2017 14:40	0,2
04/11/2017 12:10	0,79	04/11/2017 15:30	0,2

**P\_MD\_03\_28dez2017**

Data e hora	Valor medido (mm)	Data e hora	Valor medido (mm)
28/12/2017 20:20	1,38	28/12/2017 22:10	2,36
28/12/2017 20:30	2,17	28/12/2017 22:20	2,95
28/12/2017 20:40	0,59	28/12/2017 22:30	1,97
28/12/2017 20:50	12,25	28/12/2017 22:40	1,57
28/12/2017 21:00	7,1	28/12/2017 22:50	1,97
28/12/2017 21:10	2,76	28/12/2017 23:00	2,36
28/12/2017 21:20	19,34	28/12/2017 23:10	2,76
28/12/2017 21:30	11,38	28/12/2017 23:20	0,59
28/12/2017 21:40	7,7	28/12/2017 23:30	0,39
28/12/2017 21:50	4,14	28/12/2017 23:40	0,59
28/12/2017 22:00	3,55	28/12/2017 23:50	0,2

**P\_LD\_01\_26jun2014**

Data e hora	Valor medido (mm)	Data e hora	Valor medido (mm)
26/06/2014 18:10	0,393	27/06/2014 15:10	3,152
26/06/2014 18:20	0,420	27/06/2014 15:20	4,725
26/06/2014 18:40	0,785	27/06/2014 15:30	1,768
26/06/2014 19:10	0,200	27/06/2014 15:40	1,178
26/06/2014 19:20	1,379	27/06/2014 15:50	1,374
26/06/2014 19:30	0,785	27/06/2014 16:00	1,768
26/06/2014 19:40	0,982	27/06/2014 16:10	0,982
26/06/2014 19:50	2,560	27/06/2014 16:20	0,982
26/06/2014 20:00	0,982	27/06/2014 16:30	1,374

26/06/2014 20:10	0,200	27/06/2014 16:40	0,589
26/06/2014 20:20	0,420	27/06/2014 16:50	0,982
26/06/2014 20:30	0,982	27/06/2014 17:00	2,757
26/06/2014 20:40	1,375	27/06/2014 17:10	2,163
26/06/2014 20:50	0,982	27/06/2014 17:20	3,348
26/06/2014 21:00	1,375	27/06/2014 17:30	1,967
26/06/2014 21:10	0,982	27/06/2014 17:40	4,527
26/06/2014 21:20	0,785	27/06/2014 17:50	5,116
26/06/2014 21:30	0,982	27/06/2014 18:00	1,571
26/06/2014 21:40	1,769	27/06/2014 18:10	1,571
26/06/2014 21:50	1,178	27/06/2014 18:20	1,572
26/06/2014 22:00	1,178	27/06/2014 18:30	1,965
26/06/2014 22:10	2,558	27/06/2014 18:40	1,375
26/06/2014 22:20	1,375	27/06/2014 18:50	0,393
26/06/2014 22:30	0,982	27/06/2014 19:00	0,200
26/06/2014 22:40	0,982	27/06/2014 19:10	0,589
26/06/2014 22:50	1,179	27/06/2014 19:20	0,200
26/06/2014 23:00	1,178	27/06/2014 19:30	0,200
26/06/2014 23:10	0,785	27/06/2014 19:40	0,589
26/06/2014 23:20	0,982	27/06/2014 19:50	0,200
26/06/2014 23:30	0,982	27/06/2014 20:00	0,200
26/06/2014 23:40	0,785	27/06/2014 20:20	0,786
26/06/2014 23:50	1,572	27/06/2014 20:30	0,982
27/06/2014 00:00	0,982	27/06/2014 20:40	0,589
27/06/2014 00:10	0,200	27/06/2014 20:50	0,785
27/06/2014 00:20	0,200	27/06/2014 21:00	0,982
27/06/2014 00:50	0,420	27/06/2014 21:10	0,785
27/06/2014 01:00	0,982	27/06/2014 21:20	0,589
27/06/2014 01:10	5,117	27/06/2014 21:30	0,589
27/06/2014 01:20	2,166	27/06/2014 21:40	0,589
27/06/2014 01:30	1,573	27/06/2014 21:50	0,589
27/06/2014 01:40	0,393	27/06/2014 22:00	0,393
27/06/2014 01:50	0,420	27/06/2014 22:10	1,178
27/06/2014 02:00	0,785	27/06/2014 22:20	0,589
27/06/2014 03:10	0,200	27/06/2014 22:40	0,200
27/06/2014 03:50	0,200	27/06/2014 23:50	0,200
27/06/2014 04:40	1,571	28/06/2014 00:00	1,970
27/06/2014 04:50	9,563	28/06/2014 00:10	1,768
27/06/2014 05:00	2,163	28/06/2014 00:20	2,758
27/06/2014 05:10	0,589	28/06/2014 00:30	0,785
27/06/2014 05:20	1,178	28/06/2014 01:30	0,200
27/06/2014 05:30	0,785	28/06/2014 01:40	0,589
27/06/2014 05:40	0,589	28/06/2014 01:50	0,200
27/06/2014 05:50	0,200	28/06/2014 02:00	0,200
27/06/2014 06:00	0,589	28/06/2014 02:30	0,589
27/06/2014 06:10	0,200	28/06/2014 02:40	0,200

27/06/2014 06:30	0,200	28/06/2014 04:00	0,200
27/06/2014 06:40	0,420	28/06/2014 04:10	0,200
27/06/2014 08:10	0,200	28/06/2014 04:20	0,200
27/06/2014 08:40	0,393	28/06/2014 04:30	0,200
27/06/2014 08:50	0,589	28/06/2014 05:40	1,178
27/06/2014 09:00	0,785	28/06/2014 05:50	1,769
27/06/2014 09:10	0,589	28/06/2014 06:00	0,200
27/06/2014 09:20	0,200	28/06/2014 06:10	0,785
27/06/2014 09:30	0,200	28/06/2014 06:20	0,589
27/06/2014 09:50	0,420	28/06/2014 06:30	0,982
27/06/2014 10:00	0,200	28/06/2014 06:40	0,393
27/06/2014 10:10	0,200	28/06/2014 06:50	0,589
27/06/2014 10:20	0,589	28/06/2014 07:00	0,982
27/06/2014 10:30	0,785	28/06/2014 07:10	0,785
27/06/2014 10:40	0,589	28/06/2014 07:20	0,200
27/06/2014 10:50	0,982	28/06/2014 07:30	0,200
27/06/2014 11:00	0,785	28/06/2014 07:40	0,786
27/06/2014 11:10	0,785	28/06/2014 07:50	0,982
27/06/2014 11:20	0,982	28/06/2014 08:00	0,393
27/06/2014 11:30	0,785	28/06/2014 08:10	0,420
27/06/2014 11:40	0,785	28/06/2014 08:20	2,361
27/06/2014 11:50	1,179	28/06/2014 08:30	1,178
27/06/2014 12:00	1,178	28/06/2014 08:40	0,982
27/06/2014 12:10	0,589	28/06/2014 08:50	0,589
27/06/2014 12:20	0,785	28/06/2014 09:20	0,200
27/06/2014 12:30	0,785	28/06/2014 09:30	0,200
27/06/2014 12:40	0,982	28/06/2014 09:40	0,420
27/06/2014 12:50	2,954	28/06/2014 09:50	0,200
27/06/2014 13:00	4,135	28/06/2014 10:00	0,393
27/06/2014 13:10	1,178	28/06/2014 10:10	0,589
27/06/2014 13:20	1,374	28/06/2014 10:20	0,393
27/06/2014 13:30	0,786	28/06/2014 10:30	0,420
27/06/2014 13:40	0,393	28/06/2014 10:40	0,393
27/06/2014 13:50	1,768	28/06/2014 10:50	0,200
27/06/2014 14:00	1,374	28/06/2014 11:00	0,200
27/06/2014 14:10	0,982	28/06/2014 11:10	0,200
27/06/2014 14:20	0,982	28/06/2014 11:20	0,200
27/06/2014 14:40	0,420	28/06/2014 11:30	0,200
27/06/2014 14:50	2,953	28/06/2014 11:40	0,420
27/06/2014 15:00	1,375	28/06/2014 11:50	0,200

**P\_LD\_02\_02dez2015**

Data e hora	Valor medido (mm)	Data e hora	Valor medido (mm)
04/12/2015 16:00	0,79	09/12/2015 23:00	3,74

04/12/2015 16:10	0,79	09/12/2015 23:10	1,38
04/12/2015 16:20	0,59	09/12/2015 23:20	1,18
04/12/2015 16:30	0,39	09/12/2015 23:30	0,59
04/12/2015 16:40	0,2	09/12/2015 23:40	0,39
05/12/2015 13:00	0,2	09/12/2015 23:50	0,79
06/12/2015 16:20	2,95	10/12/2015 00:00	1,18
06/12/2015 16:30	0,59	10/12/2015 00:10	1,57
09/12/2015 16:00	0,59	10/12/2015 00:20	0,39
09/12/2015 16:20	0,2	10/12/2015 00:30	0,39
09/12/2015 17:20	3,96	10/12/2015 00:40	1,18
09/12/2015 17:30	1,4	10/12/2015 00:50	2,36
09/12/2015 17:40	5,13	10/12/2015 01:00	1,18
09/12/2015 18:00	0,2	10/12/2015 01:10	1,37
09/12/2015 19:00	0,59	10/12/2015 01:20	0,98
09/12/2015 19:10	0,39	10/12/2015 01:30	0,79
09/12/2015 19:20	1,77	10/12/2015 01:40	0,79
09/12/2015 19:30	0,42	10/12/2015 01:50	0,79
09/12/2015 19:40	0,39	10/12/2015 02:00	0,39
09/12/2015 19:50	0,42	10/12/2015 02:10	0,39
09/12/2015 20:00	0,2	10/12/2015 02:20	0,59
09/12/2015 20:10	0,2	10/12/2015 02:30	6,11
09/12/2015 21:00	0,59	10/12/2015 02:40	6,91
09/12/2015 21:10	0,2	10/12/2015 02:50	1,18
09/12/2015 21:20	0,2	10/12/2015 03:00	0,79
09/12/2015 21:30	0,79	10/12/2015 03:10	0,79
09/12/2015 21:40	1,97	10/12/2015 03:20	0,39
09/12/2015 21:50	2,16	10/12/2015 03:30	0,39
09/12/2015 22:00	2,36	10/12/2015 03:40	0,2
09/12/2015 22:10	8,12	10/12/2015 03:50	0,39
09/12/2015 22:20	22,1	10/12/2015 04:00	0,39
09/12/2015 22:30	7,92	10/12/2015 04:20	0,2
09/12/2015 22:40	2,16	10/12/2015 04:30	0,2
09/12/2015 22:50	3,54		

### P\_LD\_03\_21out2017

Data e hora	Valor medido (mm)	Data e hora	Valor medido (mm)
21/10/2017 06:10	0,2	21/10/2017 16:30	2,76
21/10/2017 06:30	0,2	21/10/2017 16:40	9,14
21/10/2017 06:50	0,2	21/10/2017 16:50	5,12
21/10/2017 07:10	0,59	21/10/2017 17:00	1,97
21/10/2017 07:20	0,79	21/10/2017 17:10	3,15
21/10/2017 07:30	0,98	21/10/2017 17:20	2,95
21/10/2017 07:40	2,16	21/10/2017 17:30	0,59
21/10/2017 07:50	2,16	21/10/2017 17:40	0,59

21/10/2017 08:00	0,39	21/10/2017 17:50	1,57
21/10/2017 08:10	0,42	21/10/2017 18:00	0,2
21/10/2017 08:20	8,38	21/10/2017 18:10	0,2
21/10/2017 08:30	1,97	21/10/2017 18:30	0,2
21/10/2017 08:40	1,37	21/10/2017 18:40	0,79
21/10/2017 08:50	1,18	21/10/2017 18:50	0,98
21/10/2017 09:00	0,39	21/10/2017 19:00	0,2
21/10/2017 09:10	0,59	21/10/2017 19:10	0,39
21/10/2017 09:20	1,18	21/10/2017 19:30	0,39
21/10/2017 09:30	0,59	21/10/2017 19:40	0,39
21/10/2017 09:40	0,39	21/10/2017 19:50	0,79
21/10/2017 09:50	1,18	21/10/2017 20:00	0,39
21/10/2017 10:00	0,39	21/10/2017 20:10	0,79
21/10/2017 10:10	0,98	21/10/2017 20:20	0,79
21/10/2017 10:20	0,59	21/10/2017 20:30	0,39
21/10/2017 10:30	0,39	21/10/2017 20:50	0,42
21/10/2017 12:20	0,39	21/10/2017 21:00	0,39
21/10/2017 12:50	1,37	21/10/2017 21:10	0,39
21/10/2017 13:00	1,18	21/10/2017 21:20	0,59
21/10/2017 13:10	0,42	21/10/2017 21:30	0,59
21/10/2017 13:20	0,39	21/10/2017 21:40	0,2
21/10/2017 13:30	2,95	21/10/2017 22:40	0,2
21/10/2017 13:40	1,96	21/10/2017 22:50	0,2
21/10/2017 13:50	0,79	21/10/2017 23:00	0,2
21/10/2017 14:00	0,39	21/10/2017 23:10	0,39
21/10/2017 14:10	1,18	21/10/2017 23:20	0,39
21/10/2017 14:20	1,18	21/10/2017 23:30	0,2
21/10/2017 14:30	2,56	21/10/2017 23:40	0,59
21/10/2017 14:40	1,57	21/10/2017 23:50	0,39
21/10/2017 14:50	0,79	22/10/2017 00:00	0,39
21/10/2017 15:00	0,98	22/10/2017 00:10	0,59
21/10/2017 15:30	0,2	22/10/2017 00:20	0,59
21/10/2017 15:40	6,77	22/10/2017 00:40	0,2
21/10/2017 15:50	0,79	22/10/2017 00:50	0,42
21/10/2017 16:00	0,2	22/10/2017 01:00	0,39
21/10/2017 16:10	0,2	22/10/2017 01:20	0,2
21/10/2017 16:20	0,39		