



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PEDRO OLIVEIRA DA SILVA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DO RIO TEJIPIÓ POR OCASIÃO DE CHUVAS  
INTENSAS LEVANDO EM CONTA O EFEITO DE MARÉS**

Recife  
2019

PEDRO OLIVEIRA DA SILVA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DO RIO TEJIPIÓ POR OCASIÃO DE CHUVAS  
INTENSAS LEVANDO EM CONTA O EFEITO DE MARÉS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil

**Área de concentração:** Engenharia de Recursos Hídricos

**Orientador:** Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

Recife

2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

- S586m Silva, Pedro Oliveira da.  
Modelagem hidrológica do rio Tejipió por ocasião de chuvas intensas levando em conta o efeito de marés / Pedro Oliveira da Silva. - 2019.  
232 folhas, il., tab., abr. e sigl.
- Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral.
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.  
Inclui Referências, Apêndices e Anexos.
1. Engenharia Civil. 2. Gestão das águas pluviais. 3. Inundação urbana. 4. Modelagem computacional. 5. Rio Tejipió. I. Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira (Orientador).  
II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-324



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DO RIO TEJIPIÓ POR OCASIÃO DE  
CHUVAS INTENSAS LEVANDO EM CONTA O EFEITO DE MARÉS**

defendida por

Pedro Oliveira da Silva

Considera o candidato APROVADO

Recife, 30 de janeiro de 2019

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral - UFPE  
(orientador)

---

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro – UFRPE  
(examinador externo)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simone Rosa da Silva – UPE  
(examinadora externa)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sylvana Melo dos Santos – UFPE  
(examinadora interna)

---

Prof. Dr. José Almir Cirilo – UFPE  
(examinador interno)

Dedico este trabalho aos meus pais Inácia Oliveira da Silva (*in memoriam*) e Agenor Ribeiro da Silva (*in memoriam*).

A minha esposa Maria Tereza Maia Galdino Oliveira.

Meus filhos Pedro Henrique Maia Oliveira e Olga Tereza Maia Oliveira.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço, “in memoriam” aos meus pais, Ignácia Oliveira da Silva e Agenor Ribeiro da Silva, pela concepção e pela dedicação e esforços em nossa formação moral para nos tornarmos seres humanos melhores.

A minha querida esposa Maria Tereza Maia e meus filhos queridos, Pedro Henrique e Olga Tereza, pelo apoio nesta etapa de formação, procurando sempre incentivar e ajudar no que foi possível.

Ao Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral pela orientação neste projeto, paciência com as minhas dificuldades para chegar até este momento, procurando sempre me incentivar para complementação de cada etapa.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação pelo incentivo e apoio dedicado desde o mestrado, como o procurando sempre dando uma palavra de incentivo e passando suas experiências e problemas encontrados em seu curso de mestrado e doutorado.

Aos vários colegas de sala de aula que em conjunto buscamos sempre nos ajudar no desenvolvimento de estudos e trabalhos, sempre disponíveis pelo apoio nos modelos utilizados. Aos colegas do Grupo de Drenagem Urbana em nossas reuniões semanais sempre trocando ideias e se ajudando.

A Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana – Emlurb, pelo apoio no desenvolvimento das atividades de campo, e disponibilizando dados referentes aos rios, riachos, canais e redes de microdrenagem cadastrados bem como outros dados dos arquivos da autarquia.

A Secretaria de Recursos Hídricos pelo fornecimento de dados espaciais de alta resolução da Região Metropolitana do Recife, como MDEs e MDTs.

A todos que de alguma forma contribuíram para a chegada desse momento.

## RESUMO

A cidade do Recife e municípios vizinhos, desde meados do século XX, vêm sofrendo um processo de urbanização sem controle e sem planejamento, com consequências diretas no ciclo hidrológico devido ao aumento da impermeabilização do solo e conseqüente aumento de escoamento superficial. Esse processo tem contribuído diretamente no aumento de eventos de cheias de rios e respectivos aumento dos níveis das mesmas, e levando a inundações e alagamentos de logradouros. Nesse contexto a bacia do rio Tejipió, que ocupa cerca de 30% do território do Recife, se insere nesse cenário e tem registrado diversas inundações e alagamentos na bacia, mais precisamente na cidade do Recife, com frequência de pelo menos duas vezes ao ano, trazendo caos em alguns logradouros, deixando-os intransitáveis por horas, e complicando ainda mais as condições sanitárias de parte da população que reside nas margens ou próximas a elas. Nesse sentido essa tese apresenta simulações hidrodinâmicas da bacia, delimitando regiões inundáveis a partir de eventos de chuvas intensas com a influência dos movimentos das marés bem como simulações para cenários futuros, onde se prevê o aumento do nível médio dos oceanos. Para isso a bacia foi caracterizada com dados geográficos de alta resolução espacial, como Modelo Digital do Terreno (MDT) obtido a partir de imagens aerofotogramétricas geradas por sensor laser dentro do projeto Pernambuco 3D. Esses dados processados no ambiente SIG e com o auxílio de ferramentas de modelagem como o SWMM, para obtenção de vazões por trechos dos rios e riachos da bacia de estudo, e do HEC-RAS para a análise hidrodinâmica desses corpos d'água, possibilitaram a delimitação dessas regiões. Os resultados apresentados pelas simulações corroboraram com as inundações observadas pelos eventos de chuvas intensas e indicaram situações preocupantes quanto a cenários futuros, como exemplo destaca-se que, para o cenário com um aumento do NMM em 82 cm, obteve-se uma região inundada de 9,08 km<sup>2</sup>, representando cerca de 17,54 % da região de planície da bacia hidrográfica. A modelagem da bacia possibilitará tomada de decisões sobre projetos e obras na bacia do Tejipió, objetivando apresentar soluções, inclusive as decorrentes do aumento do nível médio do mar, como prevê estudos do IPCC, e auxiliar também no planejamento urbano.

Palavras-chave: Gestão das águas pluviais. Inundação urbana. Modelagem computacional. Rio Tejipió.

## ABSTRACT

The city of Recife and its nearby towns, since the middle of the twentieth century are suffering a process of urbanization without control nor a previous planning, with direct consequences to the hydrological cycle due to the increasement of the soil waterproofing and a consequent growth in the surface runoff. This process has directly contributed to the increase of events of river floods and a respective increasement on those levels, leading to occasions of general floods and located floods. In this context the water basin of the Tejipió River, that occupies 30% of the Recife territory, is inserted in this scenery and has registered several floods and overflows in the basin, mostly in the city, at least twice a year, with chaotic results in some small places, making its surroundings impassable for hours and turning the health conditions of part of the riverside population even more complicated. In this direction, the present thesis predicts the basis hydrodynamics, delimiting flood regions from intense rain with the influence of the tidal movements, presenting simulations of future sceneries, in which has become predicted the growth of the mean sea level. For reaching our results, the basin was characterized by a high spatial resolution geographical data, such as the Digital Terrain Model (DTM) achieved from aerial photography images generated by laser sensor from the "Pernambuco 3D" project. This data, processed in a GIS ambience, assisted by modeling tools such as; the SWMM, to obtain flow rates through stretches of rivers and streams of the basin, and the HEC-RAS for the analysis of the hydrodynamics of those water bodies, will allow the delimitation of these regions. The results presented by the simulation corroborate to the floods caused by intense rain occasions and indicated worrisome situations due to future scenarios. As for example of such, there is the scenario with an NMM increasement of 82 cm, resulting in a 9,98 km<sup>2</sup> flood region. The representation of the water basin, in this case, would be of 17,54%. The modeling of the basin will enable future decisions of future projects in the Tejipió water basin, objectifying the presentation of solutions for those regions, including those resulted from the increasement of the mean sea level, just as it is foreseen in the IPCC studies, also assisting the urban occupation planning.

Keywords: Rainwater management. Urban flood. Computational modeling. Tejipió river.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização das ZEPAs da Bacia do rio Tejipió.....	20
Figura 2 -	Exemplar da vegetação arbórea densa - Mata do Jardim Botânico.	21
Figura 3 -	Mata do Barro.....	21
Figura 4 -	Imagem ortofotográfica em dois cenários da av. Recife no Ipsep....	22
Figura 5 -	Ocupação de margens e leito do rio Tejipió.....	26
Figura 6 -	Áreas alagáveis da bacia do rio Tejipió.....	28
Figura 7 -	Aterro de áreas alagadas na cidade do Recife.....	29
Figura 8 -	Eventos de chuvas acima de 100mm na bacia do Tejipió.....	33
Figura 9 -	Transbordamento da calha do riacho Guarulhos.....	35
Figura 10 -	Inundação na av. Recife no Ipsep.....	35
Figura 11 -	Localização da bacia do rio Tejipió na RMR.....	44
Figura 12 -	Parcela da bacia do Tejipió no Recife em relação a bacia total.....	45
Figura 13 -	Procedimento de reclassificação por altitudes e curva hipsométrica da bacia do rio Tejipió.....	47
Figura 14 -	Rede de drenagem contribuinte do rio Tejipió nos municípios de Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço da Mata.....	50
Figura 15 -	Hidrograma de cheia do dia 29 de junho de 2015 d bacia do rio Tejipió.....	51
Figura 16 -	Classificação da drenagem da bacia do rio Tejipió.....	53
Figura 17 -	Distribuição Espacial Anual da precipitação, em mm, da RMR.....	55
Figura 18 -	Precipitações Médias Mensais.....	56
Figura 19 -	Estações Pluviométricas no Recife e municípios vizinhos.....	59
Figura 20 -	Rede de microdrenagem da bacia do Tejipió.....	65
Figura 21 -	Interface do SWMM com a bacia do Tejipió discretizada.....	73
Figura 22 -	Localização da estação de monitoramento de nível.....	74
Figura 23 -	Poço da estação de monitoramento de nível. ....	75
Figura 24 -	Canal construído entre o rio Tejipió e o poço de monitoramento de nível. ....	75
Figura 25 -	Instalação do sensor de nível em 4/04/2014.....	76
Figura 26 -	Caixa de inspeção da estação de monitoramento de nível.....	76

Figura 27 - Detalhe de posicionamento de sensores no poço de calado.....	77
Figura 28 - Interface de procedimento para compensação de dados.....	78
Figura 29 - Relação entre o datum do IBGE, o zero de marés (DHN) e o zero hidrográfico.....	79
Figura 30 - Esquema detalhado para as Equações 9 e 10.....	80
Figura 31 - Interface principal do HEC-RAS.....	81
Figura 32 - Esquema de escoamento livre.....	82
Figura 33 - MDT da bacia do rio Tejipió e rede de drenagem.....	84
Figura 34 - Delimitação da bacia do rio Tejipió.....	85
Figura 35 - Delimitação da bacia do rio Tejipió no Arc Hydro.....	86
Figura 36 - Comparação entre dados observados brutos e dados compensados da estação de monitoramento de nível do rio Tejipió.....	88
Figura 37 - Comportamento do nível do rio Tejipió na Estação Caçote de 22 a 26 de junho de 2014.....	90
Figura 38 - Comparação entre delimitações da bacia do rio Tejipió.....	93
Figura 39 - Curva de calibração entre dados de níveis do rio Tejipió observados e simulados.....	99
Figura 40 - Curva de validação entre dados de níveis do rio Tejipió observados e simulados.....	100
Figura 41- Trecho do rio Tejipió com transbordamento da calha (simulação com dados de junho/2015) .....	102
Figura 42 - Pontos de Inundações devido a cheias do rio Tejipió.....	104
Figura 43 - Perfil da linha d'água nas 12h de simulação no SWMM.....	106
Figura 44 - Região do bairro do IPSEP de baixas altitudes, alagável devido às marés de sizígia de acordo com o histórico local.....	108
Figura 45 - Comportamento das linhas de cargas nas junções do rio Tejipió na simulação com a maré do dia 11/08/2018.....	109
Figura 46 - Comportamento das linhas de cargas nas junções do rio Tejipió na simulação com a aumento do NMM de 38 cm para o ano de 2065....	112
Figura 47 - Comportamento das linhas de cargas nas junções TejB9 a TejB13 do rio Tejipió na simulação com aumento do NMM de 82 cm.....	113
Figura 48 - Comportamento das linhas de cargas nas junções TejB14 a TejB19 do rio Tejipió na simulação com aumento do NMM de 82 cm.....	114
Figura 49 - Inundação no bairro do Ibura na travessia da av. Dois Rios com rio Moxotó para o cenário de 2100 (previsão do aumento do NMM em 82 cm) .....	118
Figura 50 - Comportamento das linhas de cargas nas junções Mox1 a Mox5 do rio Moxotó na simulação com aumento do NMM de 82 cm.....	119

Figura 51 -	Comportamento dos níveis de águas nas junções do rio Tejipió em relação a cota mínima e máxima predominante na região, para o ano de 2100 com chuva de TR 25 anos.....	122
Figura 52 -	Região do bairro do IPSEP para o ano de 2100 com inundação para chuvas com TR 25 anos.....	123
Figura 53 -	Rede de drenagem da bacia do rio Tejipió definida no HEC-GeoRAS.....	124
Figura 54 -	Mancha de inundação para o evento de 29 de junho de 2015.....	126
Figura 55 -	Seções representativas de grande impacto nos níveis de água (cenário 29 de junho de 2015) .....	127
Figura 56 -	Seção do rio Moxotó próximo à av. Dois Rios (cenário junho de 2015) .....	128
Figura 57 -	Mancha de inundação para o cenário de 11 de agosto de 2018 (incidência apenas do evento das marés) .....	130
Figura 58 -	Seção do rio Moxotó próximo a av. Dois Rios (cenário 11 de agosto de 2018). .....	131
Figura 59 -	Seções representativas de grande impacto nos níveis de água (cenário 11 de agosto de 2018). .....	132
Figura 60 -	Mancha de inundação para o cenário de 2065. ....	134
Figura 61 -	Sobreposição de manchas de inundação para cenários de 2018 e 2065. ....	134
Figura 62 -	Seção do rio Moxotó próximo a av. Dois Rios (cenário 2065) .....	135
Figura 63 -	Mancha de inundação para o cenário de 2100. ....	137
Figura 64 -	Sobreposição de manchas de inundação para cenários de 2018 e 2100. ....	137
Figura 65 -	Seção do rio Moxotó próximo a av. Dois Rios (cenário 2100). ....	138
Figura 66 -	Região de inundação para o evento de aumento do nível médio do mar previsto para 2100. ....	139
Figura 67 -	Mancha de inundação para o cenário de 2100 com precipitações para TR=25 anos. ....	140
Figura 68 -	Sobreposição de manchas de inundação para cenário de 2100 em dois pontos distintos da bacia do rio Tejipió. ....	142
Figura 69 -	Seção do rio Moxotó próximo a av. Dois Rios (cenário 2100 com chuvas de 25 anos). ....	143
Figura 70 -	Mancha de inundação da bacia do rio Tejipió para o cenário de 2100 com chuvas para TR= 25 anos. ....	144
Figura 71 -	Variação da temperatura na superfície da terra. ....	240
Figura 72 -	Variação da expansão dos oceanos. ....	240

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- ZEPAs na bacia do Tejipió no Recife.....	20
Quadro 2- Impactos da Urbanização sobre as Inundações.....	29
Quadro 3- Descrição dos cenários de previsão de aquecimento global. ....	31
Quadro 4- Natureza dos modelos para gerenciamento de águas pluviais.....	38
Quadro 5- Modelos hidrológicos aplicados a drenagem urbana. ....	39
Quadro 6- Zoneamento da bacia do Tejipió em função do relevo. ....	45
Quadro 7- Taxa de ocupação em relação a permeabilidade da bacia do rio Tejipió...	47
Quadro 8- Afluentes do rio Tejipió cadastrados no Recife (PDDR, 2016).....	48
Quadro 9- Classificação Koppen adaptada para o Brasil. ....	53
Quadro 10- Estações pluviométricas com influência na bacia do Tejipió. ....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Mudança projetada do nível do mar. ....	31
Tabela 2- Eventos de precipitação de 30 de maio de 2015. ....	60
Tabela 3- Eventos de precipitação de 28 de junho de 2015. ....	61
Tabela 4- Eventos de precipitação de 29 de junho de 2015. ....	62
Tabela 5- Eventos de precipitação de 22 de maio de 2014. ....	63
Tabela 6a- Características das sub bacias do rio Tejipió para SWMM.....	69
Tabela 6b- Características das sub bacias do rio Tejipió para SWMM.....	69
Tabela 6c- Características das sub bacias do rio Tejipió para SWMM.....	69
Tabela 6d- Características das sub bacias do rio Tejipió para SWMM.....	69
Tabela 7- Comparação entre ocorrência de marés máximas e nível máximo do rio Tejipió. ....	90
Tabela 8- Informações de entrada dos condutos (links) no SWMM.....	94
Tabela 9- Evento de marés dos dias 30/05/2015, 28/06/2015 e 29/06/2015.....	96
Tabela 10- Evento de registro de nível observados e marés dos dias 22/05/2014. ....	97
Tabela 11- Dados de marés e precipitação em 11 de agosto de 2018. ....	104
Tabela 12- Altitudes de água em junções do rio Tejipió.....	106
Tabela 13- Eventos de marés para os cenários de 2065 e 2100. ....	109
Tabela 14- Altitudes de água em junções do rio Tejipió para o cenário de 2065. ....	110
Tabela 15- Altitudes de água em junções do rio TejipióTejB9 a TejB13 para o cenário de 2100.....	114
Tabela 16- Altitudes de água em junções do rio TejipióTejB14 a TejB19 para o cenário de 2100. ....	115
Tabela 17- Altitudes de água em junções do rio Moxotó MoX1 a MoX5 para o cenário de 2100. ....	116
Tabela 18- Vazões e condições de contorno para o evento 29 de junho de 2015. ....	124
Tabela 19- Vazões e condições de contorno para o evento apenas de maré de 11 de agosto de 2018. ....	128
Tabela 20- Vazões e condições de contorno para o evento de 2100. ....	135
Tabela 21- Vazões e condições de contorno para o evento de 2100 com precipitações para T=25 anos.....	139

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
APRH	Associação Portuguesa de Recursos Hídricos
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
DEGED	Departamento de Geodésia
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DLU	Diretoria de Limpeza Urbana
DNPVN	Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis
EMLURB	Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana
ENCIBRA	Estudos e Projetos de Engenharia
EPA-USA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife
GL2	Grupo de Bacias de Pequenos rios Litorâneos - 2
HEC-RAS	<i>Hydrologic Engineering Center - River Analysis System</i>
IAGS	<i>Inter American Geodetic Survey</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ITEP	Instituto Tecnológico de Pernambuco
LID	<i>Low Impact Development</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
PCR	Prefeitura da Cidade do Recife
PDDR	Plano Diretor de Drenagem do Recife
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
RMR	Região Metropolitana do Recife
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SUDENE	Superintendencia de Desenvolvimento do Nordeste
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
VASP	Viação Aérea São Paulo
ZEIS	Zona Especial de Interesse Social
ZEPA	Zona Especial de Proteção Ambiental

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1	<b>Apresentação</b> .....	17
1.2	<b>Justificativa</b> .....	18
1.3	<b>Objetivos</b> .....	22
1.3.1	Objetivo Geral .....	22
1.3.2	Objetivos Específicos .....	22
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
2.1	<b>Ocupação</b> .....	24
2.2	<b>Aumento de nível médio dos mares</b> .....	30
2.3	<b>Chuvas Intensas</b> .....	32
2.4	<b>Inundações</b> .....	33
2.5	<b>Modelos Hidráulicos e Hidrológicos</b> .....	37
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	43
3.1	<b>Caracterização da Área de Estudo</b> .....	43
3.2.1	Relevo .....	44
3.1.2	Hidrografia .....	47
3.1.3	<b>Clima</b> .....	52
3.1.4	Rede de microdrenagem .....	63
3.2	<b>Modelo Hidrológico SWMM</b> .....	66
3.2.1	Monitoramento de nível .....	73
3.3	<b>Modelos HEC-RAS e HEC-GeoRAS</b> .....	79

3.4	<b>Coleta de dados geográficos</b> .....	82
4	<b>RESULTADOS</b> .....	87
4.1	<b>Monitoramento do nível do rio Tejipió</b> .....	87
4.2	<b>Delimitação da bacia do Tejipió</b> .....	90
4.3	<b>Definição de vazões de rios e riachos no SWMM</b> .....	92
4.3.1	Propriedades dos objetos de drenagem .....	92
4.3.2	Calibração e Validação .....	95
4.3.3	Simulação com evento de maré de 11 de agosto de 2018 .....	104
4.3.4	Simulações com a previsão do aumento do Nível Médio dos Mares	108
4.3.5	Simulação para cenário de 2100 com chuvas de tempo de retorno de 25 anos .....	119
4.4	<b>Simulação no HEC-RAS e Determinação de Manchas de Inundação</b> .....	123
4.4.1	Cenário de 2015 para evento de chuvas intensas com marés .....	124
4.4.2	Cenário de 2018 para evento só com maré .....	127
4.4.3	Cenário de 2065 para evento de aumento do NMM em 38 cm .....	132
4.4.4	Cenário de 2100 para evento de aumento do NMM em 82 cm .....	134
4.4.5	Cenário de 2100 com evento de precipitações de tempo de retorno de 25 anos .....	138
5	<b>CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	144
6	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	147
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	149
	<b>APÊNDICE A – RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO SWMM DE 29 DE JUNHO DE 2015</b> .....	155
	<b>APÊNDICE B – RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO SWMM COM O EVENTO DE MARÉ DE 11 DE AGOSTO de 2018</b> .....	157

<b>APÊNDICE C – RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO SWMM COM O EVENTO DE MARÉ DE 11 DE AGOSTO de 2018 INCREMENTADO COM 38 CM REFERENTE AO AUMENTO DO NMM/2065 .....</b>	<b>159</b>
<b>APÊNDICE D – RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO SWMM COM O EVENTO DE MARÉ DE 11 DE AGOSTO de 2018 INCREMENTADO COM 82 CM REFERENTE AO AUMENTO DO NMM//2100 .....</b>	<b>161</b>
<b>APÊNDICE E – ALTITUDES DE ÁGUA NAS JUNÇÕES DO RIO TEJIPIÓ ENTRE O CAÇOTE E A FOZ NO BAIRRO DE AFOGADOS PARA O CENÁRIO DE 2100 COM UMA CHUVA DE 25 ANOS .....</b>	<b>163</b>
<b>APÊNDICE F – DADOS COLETADOS DO NÍVEL DO RIO TEJIPIÓ .....</b>	<b>165</b>
<b>APÊNDICE G – SEÇÕES DOS RIOS E RIACHOS MODELADOS .....</b>	<b>169</b>
<b>ANEXO A – GRÁFICOS DE AQUECIMENTO DO PLANETA E DE EXPANSÃO DOS OCEANOS .....</b>	<b>227</b>
<b>ANEXO B – TABELA CURVA NÚMERO – CN .....</b>	<b>228</b>
<b>ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO LEVELOGGER .....</b>	<b>229</b>
<b>ANEXO D – TÁBUA DE MARÉS RECIFE 2018 .....</b>	<b>230</b>
<b>ANEXO E – PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS .....</b>	<b>231</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Essa pesquisa é apresentada em capítulos, sendo o que o que primeiro procura tratar a questão da importância da água e os problemas gerados com o uso ligado a fatos históricos. O capítulo 2 procura-se fazer uma revisão da bibliográfica utilizada, o 3º são apresentados as metodologias aplicadas e o relato dos trabalhos de campo. O capítulo 4 são apresentados os resultados e discursões sobre eles, o capítulo 5 são apresentadas as conclusões e considerações e finalizando o capítulo 6 é apresentadas as recomendações.

### **1.1 Apresentação**

As cidades se desenvolveram e cresceram tanto em território como em termos populacionais, recebendo o título de “Ambiente Urbano”, consequências da mudança da atividade humana que era baseada na agricultura. Esse novo ambiente trouxe também problemas como perdas de cobertura vegetal e crescimento de uma consequente impermeabilização de seus solos, e por sua vez, trouxe o aumento dos escoamentos superficiais das águas precipitadas, ou seja, desencadeou mudanças nos processos do ciclo hidrológico. Ocorre ainda nesse meio urbanizado outra consequência, esta advinda do aumento populacional, a ocupação desordenada e a poluição do meio ambiente. Tal fato se caracteriza principalmente pela falta de políticas que incentivassem a permanência do homem em áreas rurais ou nas pequenas cidades, demonstrando numa visível falta de planejamento. Nesse cenário de ocupação desordenada, sobraram áreas destinadas ao amortecimento de chuvas e de cheias, como: os manguezais, as margens de rios, os córregos e os talvegues, para instalação de moradias das populações da base da pirâmide social. Todas essas áreas foram impropriamente tomadas como base para a construção de moradias alternativas aos novos cidadãos urbanos.

A água tem sido uma preocupação na história. A partir da Idade Média e com a Revolução Industrial, constata-se problemas vinculados à água, principalmente relacionados a doenças. Nessa época começou o desenvolvimento da ideia de uma solução “higienista” que se fundamentava na retirada das águas servidas das ruas para um local mais distante (uma rua desocupada, rios, charcos, córregos, etc.), e essa solução foi efetiva até meados do século XX, como ainda hoje são os sistemas de drenagem implantados em várias cidades do mundo incluindo a do Recife, tomada como cenário desse estudo.

## 1.2 Justificativa

O Recife é uma cidade litorânea, formada originalmente por pequenas ilhas, colonizada pelos exploradores portugueses no século XVI, a partir de um porto marítimo. Com o desenvolvimento do comércio local, sobretudo o do açúcar, a cidade foi se expandindo para a parte continental a partir principalmente de aterros e de estradas que serviam para transporte do açúcar dos engenhos até o porto.

A cidade apresenta um relevo característico de uma planície fluvial, cercada por um grupo de morros de formação barreira. Nessa planície pode-se constatar praticamente uma única foz para três rios principais (rio Capibaribe, rio Beberibe e rio Tejipió), que cortam a referida planície advindos de cidades próximas localizadas a oeste do litoral, sendo o maior deles o rio Capibaribe com sua nascente na região Agreste do estado de Pernambuco.

Na cidade do Recife o cenário de ocupação e falta de planejamento ainda é mais impactante devido principalmente às características fisiográficas. Nas áreas ditas “de morro”, há problemas constantes de deslizamentos ocasionados pela falta de cobertura vegetal e de sistemas de drenagens deficientes. Na planície, com baixos gradientes de declividade, as ocupações ditas irregulares perante a legislação, estrangulam calhas de rios e riachos, assoreando e poluindo os cursos d’águas com lançamento de efluentes sem tratamento, principalmente os esgotos domésticos.

A rede de macrodrenagem da cidade teve boa parte de seus riachos revestidos e/ou entubados, dificultando a alimentação dos mesmos pelo escoamento de base como também a recarga de aquíferos, o que os tornam, em períodos secos ou de poucas chuvas, apenas condutores de esgoto.

Há de se destacar que a poluição com esgotos sem tratamento lançados em rios, riachos, córregos e nos sistemas de micro drenagem, não são mérito apenas dos aglomerados subnormais, haja vista que, em muitos bairros, da área dita urbanizada ou normal, constata-se lançamentos sem tratamento nas redes de águas pluviais, pela falta de sistema coletor público e/ou deficiência na execução e da falta de manutenção dos sistemas privados de tratamento, ou ainda a ineficiência da fiscalização.

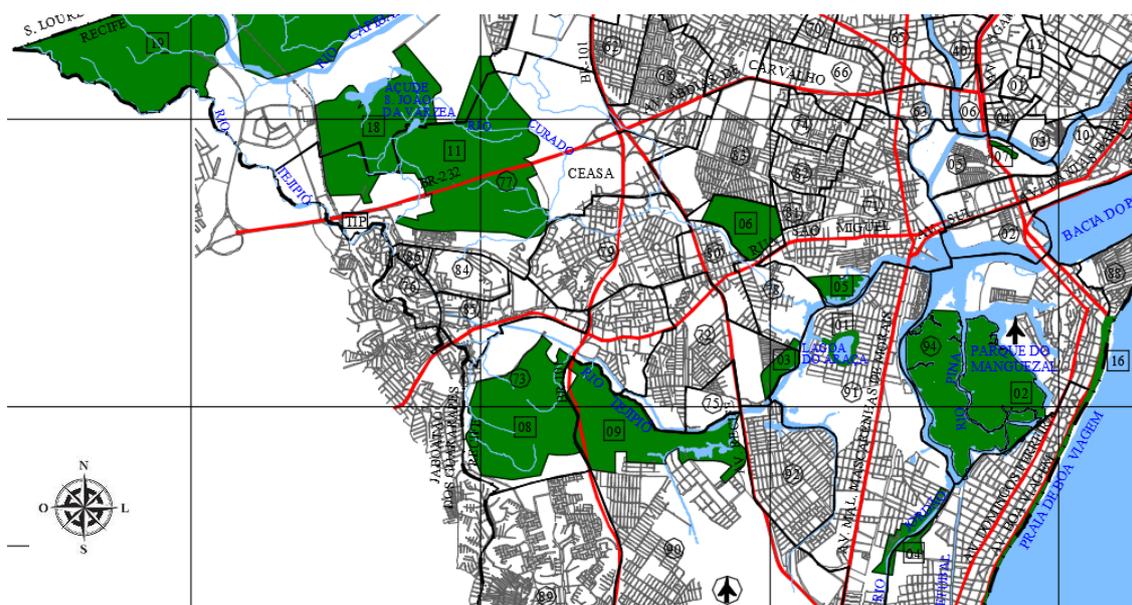
Por outro lado, na zona da cidade contemplada com rede coletora de esgoto (cerca de 30 %) tem-se constatado também lançamentos de efluentes nos sistemas de micro e

macro drenagem de águas pluviais, por questões financeiras da população, no que se refere ao não pagamento da taxa de coleta, ou problemas no próprio sistema público coletor.

Nesse contexto se insere a bacia do rio Tejipló com uma área de 93 km<sup>2</sup> aproximadamente, dividida em três municípios, sendo que cerca de 67% encontra-se na cidade do Recife, seguida dos municípios de Jaboatão dos Guararapes com cerca de 27% e São Lourenço da Mata com cerca de 6%. No Recife, tem-se 27 bairros inseridos na bacia do Tejipló e o rio principal recebe contribuições de mais de 38 afluentes. No município de Jaboatão, a bacia contempla 7 bairros e pode-se destacar os riachos Jangadinha e Mussaíba como principais contribuintes para o rio Tejipló. Já no município de São Lourenço da Mata, onde localiza-se a nascente do rio Tejipló, há pequenos riachos contribuintes inseridos na reserva de Mata Atlântica, característica predominante da cobertura do solo nessa porção da bacia.

Com relação a cobertura vegetal, resquícios da Mata Atlântica são constatados na bacia do Tejipló na cidade do Recife limitadas a pequenas áreas definidas como ZEPAs (Zona Especial de Proteção Ambiental) no Plano Diretor do Recife (PDR, 2008). Na Figura 1 pode-se verificar 12 ZEPAs na bacia do Tejipló no município do Recife identificadas no Quadro 1 com as respectivas áreas. Na Figura 2 observa-se ao longe o Jardim Botânico do Recife (ZEPa 11) e na Figura 3 a Mata do Barro (ZEPa 8), são exemplos de reservas de Mata Atlântica como também a Mata da Várzea/Curado, a do Círculo Militar, a mata do Uchôa e o Jardim Botânico, o que proporciona melhoria no clima dos bairros vizinhos.

Figura 1- Localização das ZEPAs da Bacia do rio Tejipló.



Fonte: PDR – Plano Diretor do Recife (RECIFE, 2008)

Quadro 1-ZEPAs na bacia do Tejipió no Recife.

ZEPA	Denominação	Área (ha)
01	Lagoa do Araçá	14,20
02	Parque dos Manguezais	212,84
03	Vila Tamandaré	8,50
04	Parque do rio Jordão	38,37
05	Manguezal São Miguel	18,77
06	Parque do Jiquiá	54,50
08	Mata do Barro	224,20
09	Engenho Uchôa	192,00
11	Jardim Botânico do Curado	113,66
18	Matas da Várzea / Curado	409,88
19	Mata do Círculo Militar	293,19
23	Sítio Grande	35,64

Fonte: Atlas Ambiental do Recife (RECIFE, 2000).

Figura 2-Exemplar da vegetação arbórea densa - Mata do Jardim Botânico.



Fonte: Atlas Ambiental do Recife (RECIFE, 2000).

Figura 3-Mata do Barro.



Fonte: Atlas Ambiental do Recife (RECIFE, 2000).

Com relação às ZEPAs de 01 a 06, elas apresentam características de mata ciliar e de manguezal, principalmente por estar sob a influência dos movimentos das marés.

Em termos populacionais, a região hidrográfica do rio Tejipió apresenta uma população estimada em 590 mil habitantes baseado em dados de densidade populacional do Recife, de acordo com o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2010). Trata-se de uma área densamente habitada e com sérias ocupações nas margens do rio e dos riachos contribuintes nas cidades do Recife e Jaboatão.

Ao longo dos anos, as áreas de amortecimentos de cheias e das marés, que tem grande influência na bacia hidrográfica, têm sido severamente ocupadas, seja pela população mais pobre ou pela expansão imobiliária. Como exemplo pode-se citar a áreas como:

- favela Entra Apulso, cujo início de ocupação remota a década de 1930, e um centro de compras vizinho (década de 1980);
- manguezal que margeava a av. Recife no bairro do IPSEP, entre o rio Tejipió e a av. Dom Helder. Para esse último exemplo pode se verificar dois cenários na Figura 4 (a) (CONDEPE/FIDEM, 1974) -Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco- e (b) (RECIFE, 2013).

Figura 4-Imagem ortofotográfica em dois cenários da av. Recife no Ipsep.



(a) Cenário de 1974.

(b) Cenário de 2013.

Fonte: CONDEPE/FIDEM (1974) e Recife (2013).

Através de constatações “*in loco*” dos eventos anuais de alagamentos relacionados às chuvas intensas, o que tem se constatado nas duas primeiras décadas do século XXI, foi o aumento das cheias do rio Tejipió e de vários contribuintes, em intensidade e em periodicidade. Tais alagamentos refletem na mobilidade de logradouros e no funcionamento de atividades nessas localidades. Tais eventos ainda são mais impactantes quando ocorrem simultaneamente com eventos de marés de sizígia.

### 1.3 Objetivos

Para se alcançar resultados e conclusões nessa pesquisa, estabeleceu-se os seguintes objetivos.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O presente estudo propõe como objetivo geral formular uma análise hidrodinâmica com aplicação no rio Tejipió e seus principais afluentes (rio Jiquiá, riacho Guarulhos, riacho Malária, riacho Maria Lúcia e rio Moxotó), localizados na planície costeira do Recife sob influência das marés de sizígia, de chuvas intensas e de aumento do nível médio do mar, baseada em dados espaciais de alta definição.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Aprimorar a representação do relevo utilizando o modelo digital do terreno da bacia hidrográfica, gerado a partir de ortofotos obtidas no programa Pernambuco

Tridimensional, cujo padrão de exatidão cartográfica (PEC) atendem a classe de escalas de 1:5000 e 1:1000 (PERNAMBUCO, 2016).

- Realizar simulações para estimativa das vazões geradas com o SWMM.
- Determinar a geometria a partir da utilização do aplicativo HEC-GeoRAS e utilização das vazões geradas no SWMM para propagação no HEC-RAS.
- Simular os cenários futuros considerando, eventos chuvosos, marés de sizígia e aumento do nível médio dos mares, como prevê o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inundações é tema que já há alguns anos tem sido um problema para gestores públicos principalmente dos centros urbanos, onde vários fatores contribuem para esses eventos, como ocupações e conseqüente processo de impermeabilização e mudanças climáticas que também influencia na mudança dos regimes de chuvas. Esse tema tem sido debatido já há algum tempo e alvo de diversas pesquisas científicas desde o final do século 20

### 2.1 Ocupação

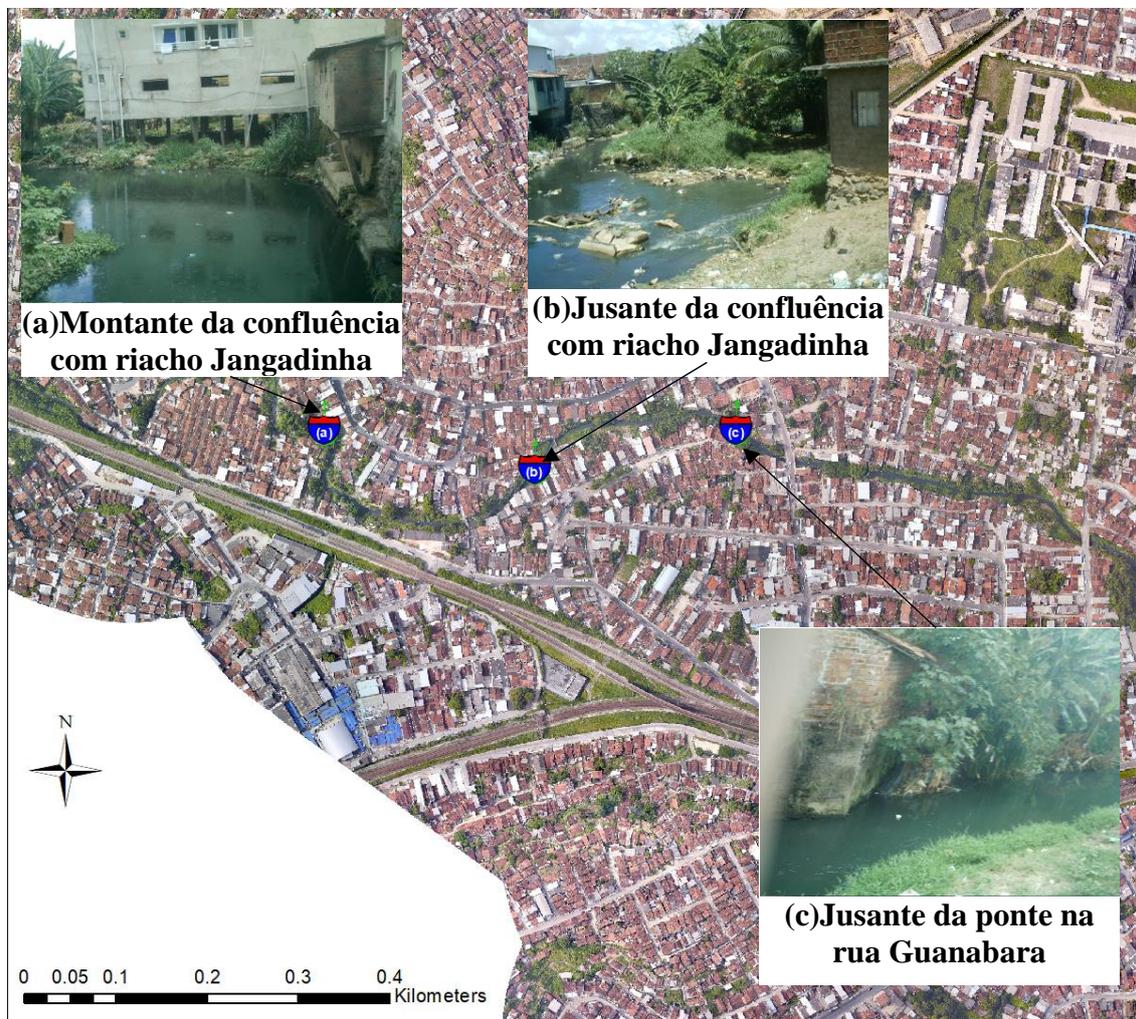
A ocupação humana de um território é o fator principal do impacto do meio ambiente, ele contribui dentre várias alterações, as relacionadas ao regime de chuvas e de escoamentos superficiais. De acordo com Vitousék *et al.* (1997 p.495), a superfície terrestre teve seus sistemas físicos e biológicos influenciados pela atividade humana em toda sua história, estimando entre 30 % e 50 % a transformação da superfície, “*sendo esta substancial e crescente*”. Os autores ainda enfatizam que 50 % dos ecossistemas de manguezais em todo mundo sofreram transformação ou foram destruídos, fatos esses que se constatarem nos manguezais remanescentes da cidade do Recife.

De acordo com Tucci e Bértoni (2003 p.1), o aumento populacional dos centros urbanos deu-se a partir da revolução industrial, uma vez que em 1800 apenas 1% da população vivia em cidades e nos primeiros 50 anos do século 20 as cidades sofreram um aumento de 240 %, o que contribuiu em quase 50% no aumento da população mundial.

As duas principais cidades da bacia do rio Tejipió apresentam grande concentração populacional e conseqüentemente altas taxas de impermeabilização, e tem margens de rios e riachos ocupadas ao longo de seus trajetos, e em alguns trechos, constatarem-se leitos, como do próprio rio Tejipió, parcialmente ocupados. De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em seu último censo (IBGE, 2010) o Recife tinha 1.537.704 habitantes com uma densidade demográfica de 7.039,64 habitantes/km<sup>2</sup>, colocando-a no Brasil como a 12<sup>a</sup> cidade mais populosa e densamente ocupada. Ainda de acordo com o IBGE, o município de Jaboatão dos Guararapes tinha 644.620 habitantes no último censo e sua densidade demográfica era de 2.491,82 habitantes /km<sup>2</sup>, sendo a 5<sup>a</sup> cidade em população no estado. Esses dados corroboram para o alto índice de ocupação das respectivas cidades mais especificamente na bacia de estudo. Na Figura 5 são mostrados 3 pontos distintos no bairro do Totó (área entre morros) onde verifica-se o

cenário de ocupação. Na situação “a” um ponto a montante da confluência do riacho Jangadinha e na situação “b” em um ponto a jusante dessa confluência. E na situação “c” nas proximidades a montante da rua Guanabara.

Figura 5- Ocupação de margens e leito do rio Tejiipió.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da base ortofotocarta (RECIFE, 2013).

Ainda de acordo com o IBGE as ocupações irregulares são conceituadas como *aglomerado subnormal*, esse termo tem sido utilizado em censos demográficos desde o século passado. Segundo conceituação do IBGE (2010), *aglomerado subnormal é um conjunto constituído de, no mínimo, 51 (cinquenta e uma) unidades habitacionais (barracos, casas...), carentes em sua maioria de serviços públicos essenciais, ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular) e estando dispostas, em geral, de forma desordenada e densa.*

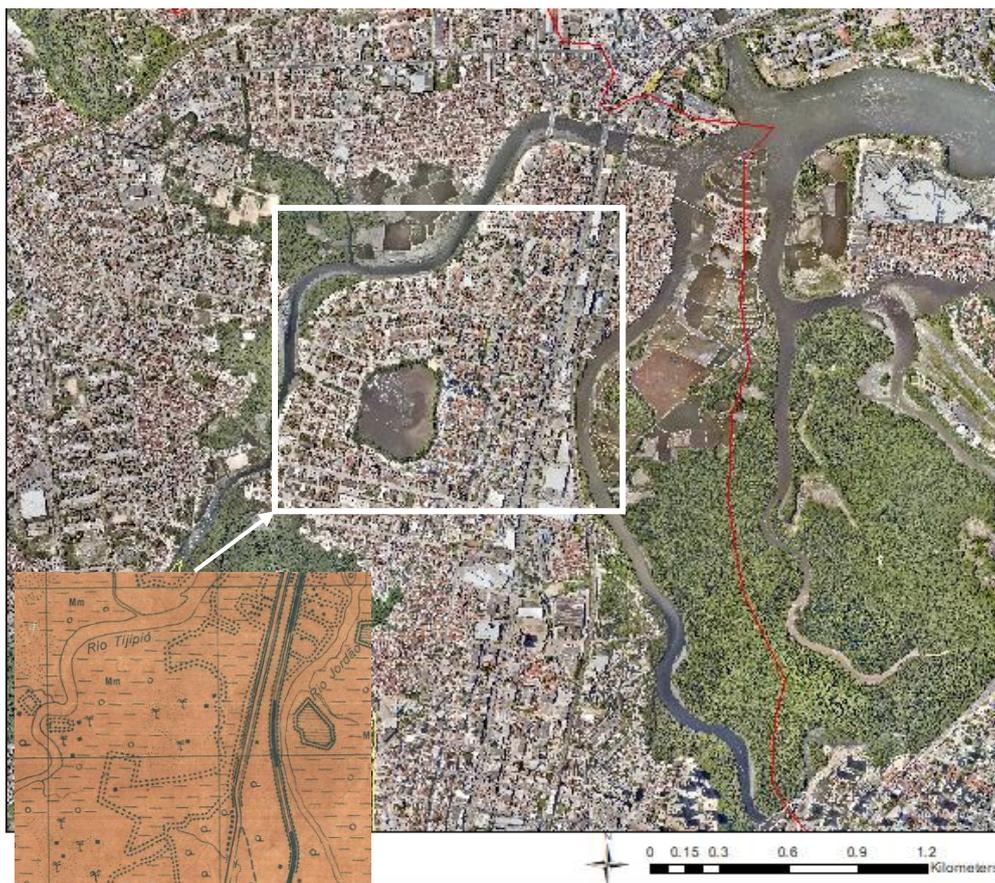
Esses tipos de ocupações estão presentes em muitos setores da bacia em estudo e que muitos deles, há algumas décadas, tiveram suas áreas protegidas pelos órgãos públicos,

classificando-os como ZEIS (Zona Especial de Interesse Social) PDR (2008), que entre os principais objetivos está o de incorporar a cidade irregular à cidade legal.

Carneiro e Míguez (2011 p.34) enfatizam que os assentamentos humanos alteram padrões de cheias, implicando na majoração das intensidades e das periodicidades de ocorrências das mesmas, e consequente aumento de risco de ocorrência desse evento, apesar das cheias serem eventos sazonais e naturais que desempenham papéis importantes no meio ambiente de acordo com os autores.

Pode-se afirmar que a diminuição dos intervalos entre os eventos de cheias da cidade do Recife está vinculada também ao processo de ocupação sem controle e planejamento, com aterros de várias áreas alagáveis com o objetivo principal de implantação de vias estruturadoras de mobilidade. As Figuras 6 e 7 mostram cenários de 2013 em comparação com os de 1943 e 1965 respectivamente, representados por mapas digitais fornecidos pela Agência CONDEPE/FIDEM, onde procura-se mostrar áreas da cidade que, na ocasião da edição dos mesmos verificava-se como sendo áreas alagáveis ou molhadas e que, na atualidade constata-se a ocupação das mesmas por imóveis ou logradouros públicos. Na Figura 6 é destacado um trecho do mapa produzido pelo Exército Brasileiro em 1943 (CONDEPE/FIDEM, 1943), do entorno da Lagoa do Araçá nas proximidades das margens do rio Tejipió, onde constata-se representação como área molhada ou alagável, que atualmente encontra-se bastante ocupada.

Figura 6-Áreas alagáveis da bacia do rio Tejipió.



Fonte: Elaborada pelo autor a partir de base cartográfica CONDEPE/FIDEM (1943) e Recife (2013). Já na Figura 7, no mapa do Recife datado de 1965 (CONDEPE/FIDEM, 1965), pode-se verificar exemplos de áreas alagáveis em 3 regiões da cidade que foram alvos de aterros para implantação de edificações e/ou alargamentos de avenidas. Na Figura 7 destaca-se as áreas alagáveis no bairro do Pina aterrada com o decorrer do tempo, para implantação de edifícios e casas além da implantação da av. Eng<sup>o</sup>. Domingos Ferreira (*a*). No bairro de Santa Rita, no centro, aterros procedidos na foz do rio Capibaribe com o objetivo de construir armazém de açúcar (*b*), e no bairro de Santo Amaro o aterro de áreas alagáveis objetivou também implantação de edificações e alargamento da av. Agamenon Magalhães (*c*).

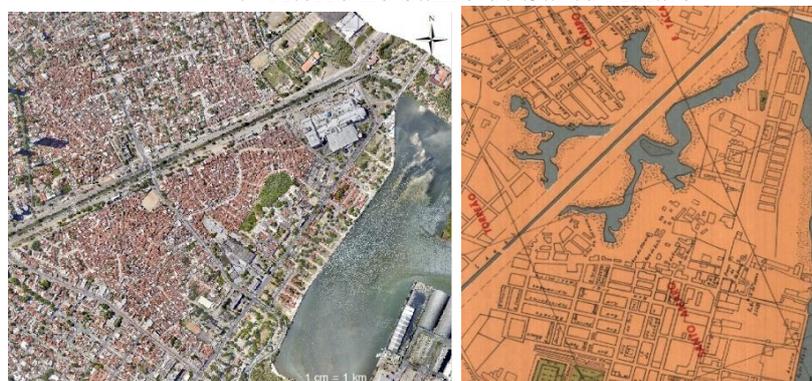
Figura 7-Aterro de áreas alagadas na cidade do Recife.  
a-Aterro no bairro do Pina.



b- Aterro no Cais de Santa Rita.



c- Aterro no bairro de Santo Amaro



Fonte: Elaborada pelo autor a partir de base cartográfica Recife (2013) e CONDEPE/FIDEM (1965).  
Essas ações vêm a corroborar ainda mais com a diminuição de intervalos de cheias bem como o aumento dos níveis das mesmas. Os impactos se intensificaram com a expansão imobiliária e em paralelo com o aumento da população, como destaca Carneiro e Miguez (2011p. 35) no Quadro 2, os efeitos da urbanização sobre as inundações.

Quadro 2- Impactos da Urbanização sobre as Inundações.

Ação da Urbanização	Efeitos
Remoção da vegetação natural	Aumento dos volumes de escoamento superficial e das vazões de pico; maiores velocidades de escoamento; crescimento dos processos de erosão e conseqüente sedimentação em canais e galerias de drenagem.
Aumento das taxas de impermeabilização	Aumento dos volumes de escoamento superficial e das vazões de pico; menos depressões superficiais, permitindo menores retenções; menos irregularidades nas superfícies de escoamento e maiores velocidades de escoamento.
Construção de redes de drenagem artificial	Significativo crescimento das velocidades de escoamento e antecipação do pico de cheias
Ocupação de áreas ribeirinhas e planícies de inundação	População diretamente exposta a inundações periódicas em áreas naturais de inundação; ampliação das áreas alagáveis, com a diminuição do espaço natural que deveria estar disponível para o armazenamento temporário e acomodação das cheias.
Ocupação desordenada de encosta e favelização	Acréscimo dos volumes superficiais de escoamento, somados a grande quantidade de resíduos sólidos e lixo produzidos pelas encostas ocupadas; obstrução parcial ou total de dispositivos de drenagem; degradação da qualidade da água; população exposta a risco de deslizamento.
Disposição de resíduos sólidos e de águas residuais na rede de drenagem	Degradação da qualidade da água; degradação do ambiente natural e construído, proliferação de doenças; sedimentação na rede de canais e obstrução das captações de água de chuva
Interferências recíprocas entre redes de infraestruturas: pontes estreitas sobre rios, tubulações de água cortando galerias, entre outros, configurando singularidades locais que restringem o escoamento.	Redução pontual da capacidade de escoamento dos condutos afetados, gerando remansos e alagamentos a montante.

Fonte: Carneiro e Miguez (2011 p. 35).

## 2.2 Aumento de nível médio dos mares

A irreversibilidade da mudança climática, que de acordo com relatórios do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), apontam para aquecimento em escala global, intensificado com emissões de dióxido de carbono causará elevação irrevogável do nível do mar de acordo com Solomon *et al.* (2009, p.1707). Ainda de acordo com os autores, essa consequência está ligada a dois processos relativamente bem compreendidos. O primeiro trata-se da expansão do nível do mar causada pelo aquecimento, podendo ser essa a mais importante como enfatizam os autores. Nas Figuras dos gráficos do Anexo A (Figuras 71 e 72), Solomon *et al.* (2009, p.1705) mostram que há relação entre o processo de aquecimento da superfície do planeta e o processo de expansão dos oceanos.

O outro processo tem relação com a perda de gelo no planeta, os autores colocam que essa contribuição para o aumento do nível do mar é bem compreendida, destacando que na ocasião foram observadas perdas de placas de gelo na Groelândia e na Antártica. E complementam que estudos com dados da época de descargas de gelo sugerem que em 2100 esse processo contribuirá com o aumento do nível do mar entre 1 m e 2 m.

De acordo com Solomon *et al.* (2009, p.1704), esse processo é irreversível por um tempo aproximado de 1000 anos para sua reversão, mesmo se os processos causadores do aquecimento devido a atividade humana, como as taxas de emissões de dióxido de carbono, fossem cessados.

Segundo WATSOM *et al.* (1997, p.5), as consequências relativas ao aumento do nível dos oceanos impactarão as zonas costeiras onde, de acordo com os autores, mais da metade da população mundial ocupa essas áreas. Enfatizam ainda que tais zonas, onde já ocorrem eventos de inundações, serão afetadas com intensificação de tempestades e inundações, citando como exemplo a cidade de Bangladesh, que seria forçada a deslocar dezenas de milhões de pessoas, para o cenário de 2100 onde é previsto pelo IPCC um aumento máximo de 1,00 m no nível dos oceanos.

De acordo com a Síntese do Relatório (IPCC, 2013 – p. 42), da 40ª reunião do IPCC de 2014, onde foram apresentados dados históricos de observações climáticas, entre 1901 a 2010 os oceanos tiveram um aumento médio de seus níveis em 0,19 m. E chegaram a uma das conclusões que a taxa dessa elevação, desde meados do século XIX, foi maior do que a média dos dois milênios anteriores, e provavelmente foi em média de 1,7 mm/ano entre 1901 e 2010 e 3,2 mm/ano entre 1993 e 2010. Os pesquisadores do IPCC também

constatarem que o oceano absorveu mais de 80% de calor até 3000 m de profundidade, sendo essa a principal causa do aumento dos níveis médios dos mares.

O IPCC (2013), em seu 5º relatório de avaliação, definiu 4 cenários de mudanças climáticas definidos como RCP -*Representative Concentration Pathways* (Caminhos de Concentração Representativos) em função da força radiativa (em  $W/m^2$ ), conforme Quadro 3 onde é apresentada a descrição de cada cenário.

Quadro 3- Descrição dos cenários de previsão de aquecimento global.

Cenário	Descrição
RCP 8,5	Caminho crescente da força radiativa levando a 8,5 $W/m^2$ em 2100.
RCP 6,0	Estabilização em 6 $W/m^2$ após 2100.
RCP 4,5	Estabilização em 4,5 $W/m^2$ após 2100.
RCP 3,0 PDZ	Pico na forçante radiativa em $\sim 3,0 W/m^2$ antes de 2100 e declínio.

Fonte: IPCC (2013).

Na edição do 5º Relatório de Avaliação (AR5) os pesquisadores do IPCC indicam para o cenário mais alarmante (RCP 8,5), que corresponde ao processo de crescimento do aquecimento a uma taxa de 8,5  $W/m^2$ , a elevação média global do mar será 0,97 m até as duas últimas décadas do século XXI, baseado em observações realizadas entre 1986 e 2005 (IPCC, 2013, p. 21). A Tabela 1 apresenta outras projeções para aumento do nível médio global do mar para meados desse século e 2100.

Tabela 1-Mudança projetada do nível do mar.

Cenários AR5	2046 -2065		2081 -2100	
	Média (m)	Varição Provável (m)	Média (m)	Varição Provável (m)
RCP2.6	0,24	0,17 a 0,32	0,40	0,26 a 0,55
RCP4.0	0,26	0,19 a 0,33	0,47	0,32 a 0,63
RCP6.0	0,25	0,18 a 0,32	0,48	0,33 a 0,63
RCP8.5	0,30	0,22 a 0,38	0,63	0,45 a 0,82

Fonte: Relatório IPCC (2013).

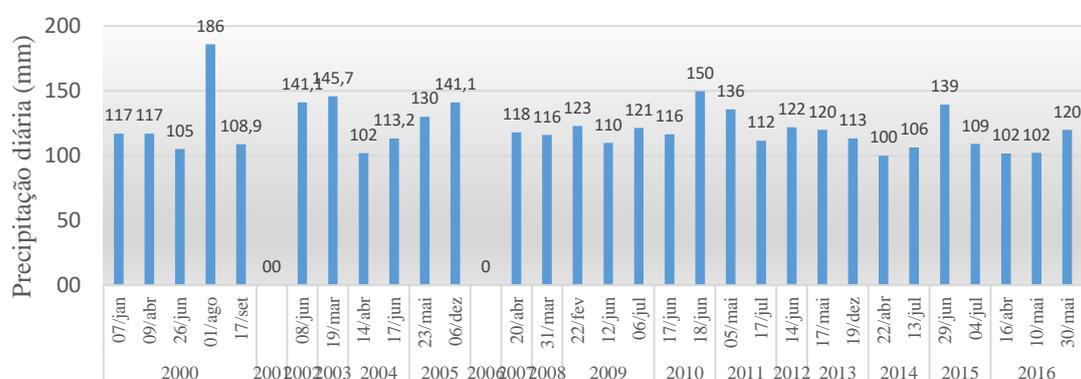
Para as cidades litorâneas brasileiras o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, em seu Relatório Especial (RIBEIRO e SANTOS, 2016, p. 18.), corroboram com a estimativa prevista pelo IPCC em seu 5º Relatório com relação ao aumento do NMM, destacando cidades como Rio de Janeiro, Santos e a região litorânea do Nordeste. Ribeiro e Santos (2016, p. 64) ainda destacam os impactos na drenagem urbana com o aumento de

inundações, consequências do aumento das intensidades de chuvas causadas pelos eventos de mudanças climáticas.

### 2.3 Chuvas Intensas

Uma análise dos registros pluviométricos da estação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) entre os anos 2000 a 2016 (INMET, 2017), constata-se ocorrências de chuvas intensas com volume acumulado acima de 100 mm, em eventos com tempo de duração médio de 17,7 h e com ocorrência média de 2 vezes por ano. A partir de 2009 verifica-se uma quase regularidade nessa ocorrência de 2 eventos anuais. Na Figura 8 é apresentado a ocorrência desses eventos por ano para o período entre 2000 e 2016.

Figura 8-Eventos de chuvas acima de 100mm na bacia do Tejipió.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do INMET (2017).

Alguns estudos vinculam ocorrências de chuvas intensas a variabilidade do clima, como é o caso de Marengo *et al.* (2009 p.7) e Groisman *et al.* (2005 p.1335), onde em suas pesquisas constataram aumento das precipitações desde a década de 1950 na região subtropical brasileira e na região sudeste. Groisman *et al.* (2005 p.1335), destacam em seus estudos que nas regiões leste do Brasil e no Uruguai, eventos diários de chuvas de 100 mm, 95 mm e 120 mm tem apresentado tempo de retorno entre 3 a 4 anos. Os autores concluem que a variabilidade de precipitação muito alta é determinada pelos eventos *El Niño* e *La Niña*, e que o aumento de eventos de chuvas intensas, correspondente a 40 %, ocorreu a partir de meados do século XX.

A análise dos dados do posto do INMET de eventos de chuvas acima de 100 mm registrados entre 2000 e 2016, vem a corroborar com os estudos apresentados por Marengo *et al.* (2009) e Groisman *et al.* (2005). Podendo ainda citar os estudos desenvolvidos por Souza (2011 p.100), baseados em desastres associados a chuvas na cidade do Recife, constataram mudanças relacionadas à precipitação e à temperatura em

47 anos de dados climáticos do INMET. A autora ainda constatou que a partir da década de 1980 o aumento da frequência de eventos diários com precipitações superiores a 100 mm concentrada em poucos dias, enfatizando, porém, que tais eventos não estariam relacionados a mudança global do clima, e sim por se tratar de um ambiente que passou por transformações ao longo de anos, como desmatamentos para ocupações sejam para implantação de ruas e avenidas ou para edificações. No entanto, vale salientar que, para diversos pesquisadores, as mudanças climáticas estão relacionadas a ação do homem no meio ambiente.

## **2.4 Inundações**

Inundações são eventos que podem ser causados por enchentes de rios ou enxurradas. De acordo com Tucci e Bertoni (2003 p.45), o evento de inundação está ligado a saída das águas de seu leito de escoamento (rios, canais, condutos etc.) pela sua falta de capacidade de condução, ocupando áreas utilizada pela população.

Alcoforado (2006 p. 54 -60) apresenta um breve histórico de cheias acometidas na cidade do Recife, com primeiro registro em 1632 e em intervalos menores a partir de 1966 com destaque para a maior cheia em 1975, quando o então Governo Estadual já concretizava um projeto de um sistema de barragens cuja função principal foi a de conter as futuras cheias do rio Capibaribe.

A bacia do rio Tejipió apresenta vários pontos de inundações que estão ligados a incapacidade de condução de elementos de drenagem. Nas Figuras 9 e 10 verifica-se inundação na rua Guarulhos pela falta de capacidade da calha do riacho Guarulhos, e na av. Recife pelo conjunto de incapacidade de elementos de microdrenagem e da calha do rio Tejipió respectivamente.

Figura 9-Transbordamento da calha do riacho Guarulhos.



Fonte: O autor.

Figura 10-- Inundação na av. Recife no Ipsep.



Fonte: O autor.

A ocorrência de inundações é o evento mais comum entre os desastres naturais, de acordo com Jha, Bloch e Lamond (2012 p.17), e que o número desses eventos tem aumentado nas duas últimas décadas e conseqüentemente pessoas afetadas bem como prejuízos financeiros. Ainda de acordo com os autores, em 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas pelas inundações. Entre 1988 e 2010 as perdas financeiras excederam \$40 bilhões no mundo, ainda destacam que entre 2010 e 2011, eventos de inundação ocorreram ao longo das bacias do Rio Indu, no Paquistão, em Queensland na Austrália. Na mesma época constata-se deslizamentos na região Serrana do Brasil em janeiro de 2011, seguido por tsunami induzido por terremoto na costa nordeste do Japão em março de 2011, e inundações ao longo do rio Mississippi, em meados de 2011, como consequência do furacão Irene na costa leste dos EUA em agosto de 2011.

A cidade do Recife já foi palco de diversos eventos de cheias do rio Capibaribe como colocado anteriormente, e cujas obras de contenção, até hoje protegem a cidade do Recife de cheias de grande impacto na bacia do rio Capibaribe. No entanto, as bacias menores como a do rio Tejipió e do rio Beberibe, anualmente têm sido alvo desses eventos em períodos de chuvas intensas, que geralmente ocorrem entre os meses de março e maio, impactando a região principalmente no que diz respeito à mobilidade, e causando danos materiais a população ribeirinha.

A problemática das inundações no Recife traz várias conseqüências para cidade, e mais especificamente para as áreas impactadas por esses eventos, principalmente como a questão da saúde pública. De acordo com Cabral e Alencar (2005 p.117), a Prefeitura do Recife elaborou um Mapa de Risco da Água pactuado com setores da vigilância ambiental e epidemiológica. Nesse trabalho foram monitorados a frequência de casos de leptospirose e hepatite A entre 2000 e 2002, e cólera entre 1998 e 2000, gerando mapas onde foram definidas as regiões por nível de risco a saúde relacionado a água, destacando maior incidência nas áreas pobres das bacias do rio Tejipió e Beberibe (CABRAL e ALENCAR, 2005 p.118).

Em um estudo desenvolvido por Saley *et al.* (2014 p.186), no departamento (município) de Sinfra na Costa do Marfim, enfatizam que as inundações dependem da estreita inter-relação entre as águas subterrâneas e as águas superficiais. E que a previsão de inundações depende do conhecimento do grau de saturação do solo e do escoamento superficial. E em uma de suas conclusões, Saley *et al.* (2014 p.186), definem que um mapa de risco de inundação deve ser o resultado da combinação do risco de transbordamento de calhas e o

aumento dos níveis do escoamento de base. Os autores concluíram ainda que a contribuição das águas subterrâneas com a inundação na localidade estudada, corresponde a 38% do aporte de volume de água.

Na cidade do Recife, principalmente na região da planície costeira, há dados de sondagens executadas por empresas de construção civil que constataam níveis do lençol freático até 1,00 m de profundidade, no período de chuvas entre os meses de maio e agosto. Em trabalho de sondagem realizado pelo ITEP (Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco) no início da década de 1990 no bairro do Bongi, para avaliar a estabilidade de prédios de moradias, foram constatados níveis de água do lençol freático com 50 cm de profundidade no período chuvoso. Logo esse aporte, geralmente não é considerado, ou informado indevidamente, durante as simulações utilizando modelos hidrológicos.

Pereira, Almeida e Santos (2006 p.12), em seus estudos utilizando o Spring, objetivam dar solução ao problema de inundações com o zoneamento das áreas propensas a esses eventos. Assim pode-se ter a ideia das dimensões das áreas inundáveis, e então pode-se propor as regiões favoráveis a ocupação urbana na bacia. A ferramenta também possibilita a previsão das inundações dando suporte a gestores nas ações de prevenção, cujas resposta implicam principalmente em reduzir ou eliminar perdas humanas e materiais.

A aplicação der técnicas compensatórias tem demonstrado sua eficiência no que se refere a reduções e/ou amortecimentos de escoamentos superficiais, podendo-se citar o reservatório de detenção implantado numa rua da cidade do Recife, onde constata-se com informações da população local a eficiência, no que se refere a diminuição dos níveis de alagamentos no logradouro. Com relação a projetos experimentais pode-se citar um estudo desenvolvido por Coutinho *et al* (2016, p. 4243 e p. 4253), que objetivou a caracterização hidráulica e o comportamento hidrológico de pavimentos permeáveis, a partir de um projeto piloto implantado numa área da cidade do Recife. Os autores obtiveram resultados que, além de permitirem a evaporação e a infiltração da água, possibilitaram também a redução do escoamento superficial, propiciando essa técnica compensatória como solução a vir a corroborar com a diminuição de inundações na bacia de estudo e conseqüentemente um elemento promissor para o manejo e gerenciamento das águas pluviais urbanas.

## 2.5 Modelos Hidráulicos e Hidrológicos

A modelagem é uma ferramenta de grande importância que visa, por exemplo, simular situações ainda não conhecidas, propiciando antecipar-se aos eventos (TUCCI, 2005 p.17 e 18). Em relação à hidráulica pode-se citar a retificação ou revestimento de um canal, onde a modelagem irá simular como o sistema, no caso a bacia hidrográfica, se comportará com a alteração consequente destas obras. Vê-se que a utilização do modelo mostrará uma situação nova no sistema, porém esta precisão depende de dados disponíveis do sistema, pois quanto menos informações se têm maiores são as incertezas (TUCCI, 2005 p. 19).

Tucci (2005 p. 20) define modelo como sendo uma representação do comportamento do sistema. E o classifica em Físicos, Analógicos e Matemáticos. Os protótipos que são estruturas construídas com dimensões menores para representar a estrutura real, são características dos modelos físicos.

Já os analógicos se baseiam em utilizar equações análogas de outros sistemas, é o caso, por exemplo, do escoamento hidráulico com o circuito elétrico.

Os modelos matemáticos são os mais utilizados, principalmente com o advento da informática, o que veio a facilitar as operações. Eles se baseiam em equações específicas do sistema, podendo-se citar como exemplo as equações de Saint-Venant completas, onde sua aplicação em sistemas com influência dos movimentos das marés são indispensáveis, conforme destaca Cirilo, 1991 (*apud* Alcoforado, 2006 p.17), Nesses sistemas constata-se grande variabilidade no escoamento com relação a direção e sentido em trechos próximos ao estuário. Alcoforado (2006 p.17) destaca como exemplo os rios Beberibe e o Capibaribe e alguns afluentes de maior porte que apresentam alterações dessa natureza em seu fluxo dependendo da amplitude das marés.

No caso dos recursos hídricos, mais especificamente a área de drenagem pluvial, os modelos matemáticos em sua maioria estão relacionados a uma entrada, à chuva, e uma saída, o escoamento, e suas equações são as que regem o escoamento à superfície livre baseada na lei da conservação das massas e do balanço de quantidade de movimento (MELLER, 2004 *apud* BASTOS, 2007 p.54).

Ainda de acordo com Tucci (2005 p. 27 e 28), os modelos hidrológicos podem ser classificados em função:

- a) Da utilização

DE COMPORTAMENTO – descreve o comportamento do sistema;

DE OTIMIZAÇÃO – tem o objetivo de apresentar melhores soluções;

DE PLANEJAMENTO – relaciona soluções com quantitativos no âmbito social e ambiental.

b) Da variável utilizada

DETERMINÍSTICO - não contém nenhuma variável aleatória, ou seja, para um conjunto conhecido de dados de entrada teremos um único conjunto de resultados de saída.

ESTOCÁSTICO - a variável apresenta um comportamento aleatório. Esses modelos oferecem uma distribuição de soluções associadas a uma probabilidade

Barth *et al.* (1987 p.219) classificam os modelos em função da variabilidade espacial e temporal dos parâmetros, podendo ser:

CONCENTRADOS - parâmetros e variáveis são função do tempo;

DISTRIBUÍDOS - parâmetros e variáveis são função do tempo e do espaço.

No Quadro 4, é apresentada uma relação da natureza dos modelos, sua classificação com as características e usos, para o campo da hidrologia.

Quadro 4- Natureza dos modelos para gerenciamento de águas pluviais.

Nome	Tipo	Características	Usos
Precipitação-vazão	Determinístico, empírico, conceitual ou físico	Calcula vazão de uma bacia, a partir da precipitação	Extensão de séries de vazão; hidrograma de dimensionamento; previsão em tempo atual, avaliação do uso da terra
Vazão-vazão	Determinístico, empírico, conceitual ou físico	Calcula vazão de uma seção, no tempo, a partir de um ponto a montante	Extensão de séries de vazão; série de vazão para dimensionamento de reservatórios hidrograma de dimensionamento; avaliação das modificações no rio; previsão em tempo real

Fonte: Tucci (2005 p.30).

Com relação à drenagem urbana, destacam-se alguns modelos no Quadro 5 normalmente usados no meio acadêmico e em estudos executivos, dentre os citados pode-se destacar o modelo SWMM (*Storm Water Management Model*) do tipo chuva-vazão, desenvolvido pela *Environmental Protection Agency – EPA-USA* em 1971, o qual foi aprimorado ao longo dos anos por diversos colaboradores (ROSSMAN, 2010 p.72).

Quadro 5-Modelos hidrológicos aplicados a drenagem urbana.

Código	Nome	Agência Fonte	Ano
MOUSE	Modelling of Urban Sewer	DHI	1985
HEC-RAS	The Hydrologic Engineering Center-River Analysis System	Corps of Engineers-USA	2008
MODCEL	Modelo Matemático de Células de Escoamento	COPPE –UFRJ/ Miguez e Mascarenhas	2001
SWMM	Storm Water Management Model	EPA-USA	1971
STORM	Storage, Treatment, Overflow Runoff Model	Corps of Engineers-USA	1974
TR-55	SCS Technical Release 55	SCS	1975
DR3M	Distributed Routing Rainfall-Runoff Model	USGS	1978
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas	IPH-UFRGS	1981
ABC	Análise de Bacias Complexas	Universidade de São Paulo	1985

Fonte: Viessman e Lewis (2002 apud COLLODEL, 2009 p.28).

Diversos estudos desenvolvidos utilizaram o SWMM para simular o comportamento de bacias hidrográficas a partir de eventos de chuvas. Garcia e Paiva (2006 p.8), procederam à avaliação do modelo a partir da variação do número de sub bacias. Tomando como área de estudo a bacia do Arroio Cancela, no Rio Grande do Sul, apresentaram duas

configurações para a discretização da bacia, uma com 6 sub bacias, definida como simplificada pelos autores, e outra com 18 sub bacias, definida como detalhada. Os resultados apresentaram coeficientes de correlação acima de 0,95 com relação a dados observados. No entanto na simulação com configuração simplificada foi constatada majoração dos dados de vazões de pico, levando os autores a sugerir cuidados quanto ao nível de detalhamento.

Silva e Cabral (2014), em estudo de aplicação do SWMM para avaliar aplicação de elementos de retenção de escoamento de águas pluviais, numa sub bacia do rio Tejipió onde há ocorrências de transbordamento da calha do riacho da Sanbra, constataram a eficiência da aplicabilidade do modelo com relação a gestão da sub bacia, no que se refere a que tipo de intervenções menos impactantes para o sistema. A avaliação mostrou que intervenções convencionais como o aumento do vão do pontilhão existente, em comparação com a implantação de reservatórios de retenção, não apresentava solução para os alagamentos à jusante, e que os custos financeiros se apresentavam equivalentes. Sendo a opção com amortecimento dos volumes de escoamento superficial mais eficiente e amenizadora dos níveis de alagamentos tanto no local do transbordamento da calha como nos existentes a jusante.

Silva Junior (2015 p. 139 e 140), em seus estudos para avaliar os eventos de alagamentos na rua Joaquim Felipe com a av. João de Barros, na região central do Recife, utilizou o SWMM como ferramenta de análise da problemática e de sugestão de possível solução, a partir da utilização do objeto LID (*Low Impact Development*). O autor enfatiza que, para maior eficiência do sistema de drenagem urbana, é importante a adoção de medidas de controle do escoamento superficial, de forma atenuante aos alagamentos.

O SWMM é um modelo tipo chuva/vazão que se aprimorou ao longo dos anos (BASTOS, 2007 P. 30), por se tratar de um *software* livre e de código aberto, o que proporcionou a inclusão de novas rotinas tais como: jardins de chuva, telhado verde e trincheiras de infiltração; como novos objetos a serem aplicados nas sub bacias, objetivando diminuir os impactos do escoamento na bacia hidrográfica.

Com relação ao estudo de comparação entre modelos hidrológicos, um estudo desenvolvido por Souza, Crispim e Formiga (2012, p. 9 e 10), com essa finalidade, avaliou a simulação de escoamento a partir do SWMM e do HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*), na bacia do córrego Samambaia no município de Goiana em Goiás, apesar de apresentarem hidrógrafas aproximando-se da

situação real da bacia, quando utilizado a bacia discretizada, os autores concluíram que o SWMM se adequa melhor em ambiente urbano.

Para estudos que envolve determinação de modelagem hidráulica de rios e canais incluindo a determinação de região de inundação, o HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*) tem se destacado como uma ferramenta eficaz nesse atendimento. Desenvolvido no início da década de 1990 pelo *Corps of Engineers-USA*, e já se apresentando em sua versão 5.03, sua função básica é a modelagem hidráulica de rios, riachos e canais como já colocado, e requer como dado de entrada a vazão do canal a simular, além de informações das características do corpo d'água como traçado com a definição de margens, e seções transversais, coeficiente de atrito correspondente ao leito e margens, além da definição das condições de contorno de cada trecho de rio.

Vários trabalhos de avaliação foram desenvolvidos no meio acadêmico visando comparar a eficiência de ferramentas computacionais que se propõe a modelagem hidráulica de rios incluindo a delimitação de manchas de inundações.

Dentre as ferramentas semelhantes ao HEC-RAS destaca-se o software LISFLOOD-FP que se propõe também, em simular o comportamento de sistemas de rios com relação a cheias, delimitando suas regiões de inundações. O modelo foi desenvolvido pela Universidade de Bristol com a finalidade de pesquisa, e também integra dados topográficos de elevada resolução espacial como informação de entrada. A formulação matemática baseia-se numa representação 1D para o escoamento no leito do rio e, para zona inundável, utiliza uma representação da onda difusa das equações 2D de Saint-Venant (BATES *et al.* 2013 p.10 a 16).

Em um estudo de comparação entre os modelos HEC-RAS e LISFLOOD-FP, Fernandez, Mourato e Moreira (2013 p. 70 a 72) chegaram a conclusões favoráveis ao HEC-RAS, uma delas foi com relação ao tempo de processamento de simulação. Nesse estudo trabalhando com o mesmo sistema (trecho do rio Lis em Portugal) objetivando a delimitação de zonas inundáveis, os autores constataram primeiramente que, em relação ao tamanho de áreas inundadas, os modelos apresentam 65% de área sobreposta. Os autores constataram ainda que o tempo de simulação no HEC-RAS é inferior a 1 minuto, enquanto no LISFLOOD-FP esse processo ocorre em 12,6 horas. Outra constatação foi que no HEC-RAS o tempo de processamento de onda de cheia é cerca da metade do processo no LISFLOOD-FP, além da vantagem do HEC-RAS com relação à interface de

trabalho. Vale salientar que os autores não foram claros com relação a dados observados de propagação de cheias e região de inundação.

Almeida (2015 p.91), em seu trabalho de modelagem hidrológica de inundações urbanas, em parte da cidade de Lisboa, utilizou-se Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir de imagens obtidas de aerofotogrametria a laser, e fazendo uso também do HEC-GeoRAS (extensão do HEC-RAS para o ambiente do ARC-GIS) e do HEC-RAS para a delimitação das respectivas áreas inundáveis. A autora chama atenção da modelagem se limitar apenas a macrodrenagem, ou seja, se o modelo hidrológico contemplasse as redes subterrânea de microdrenagem, o sucesso na delimitação de áreas inundáveis estaria mais próximo do observado no estudo de caso. Essa limitação, definida pela autora, levou-a a proceder alguns artifícios como extrapolação de seções para que as áreas se aproximassem da realidade observada. Nesse aspecto o SWMM apresenta-se mais completo, uma vez que nele há opções para inclusão de diferentes tipos de condutos bem como elementos de drenagem, como reservatórios e estações elevatórias por exemplo.

### 3 METODOLOGIA

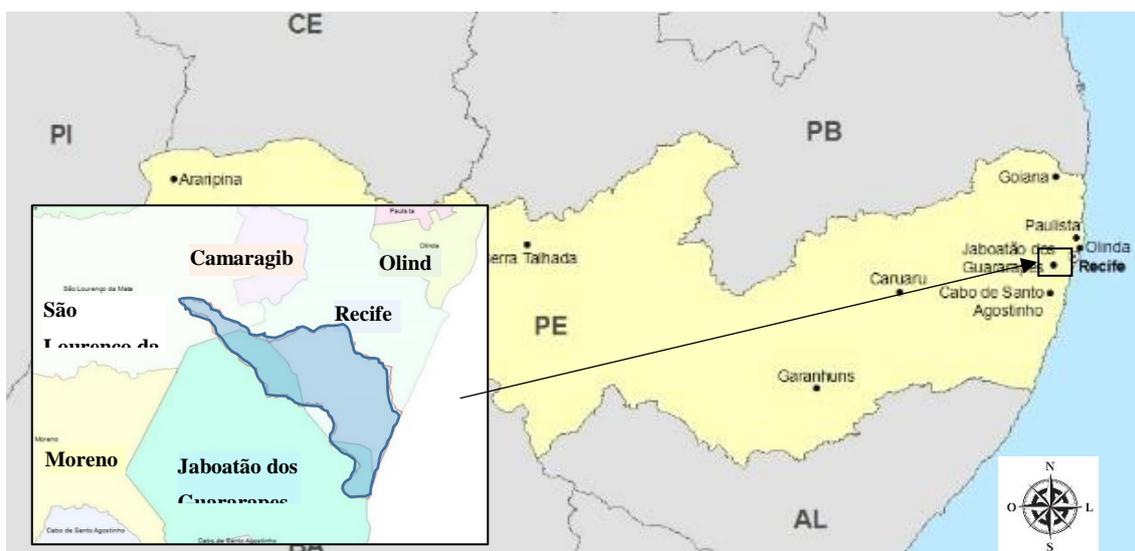
Nesse capítulo são apresentados os materiais e métodos aplicados na pesquisa além dos trabalhos de campo.

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

A cidade do Recife foi tomada como área de estudo nesse projeto haja vista os diversos problemas relacionados a enchentes e alagamentos ao longo de várias décadas, e apesar de obras de proteção contra cheias implantadas no século passado, a cidade ainda sofre com as cheias dos pequenos rios litorâneos como é o caso dos rios Beberibe e Tejipió bem como seus respectivos afluentes. Para desenvolvimento desse estudo decidiu-se pela bacia do rio Tejipió uma vez que os rios Capibaribe e Beberibe já foram alvos de pesquisa em estudos anteriores.

A bacia do rio Tejipió compõe o grupo de bacias de rios litorâneos denominado Atlântico Nordeste Oriental pela Agência Nacional das Águas. Ela está inserida em três municípios da Região Metropolitana do Recife (RMR), sendo eles: o município do Recife, o município de Jaboatão dos Guararapes e município de São Lourenço da Mata. Na Figura 11 pode-se observar a localização, em destaque, da bacia do Tejipió inserida nas citadas cidades.

Figura 11-Localização da bacia do rio Tejipió na RMR.

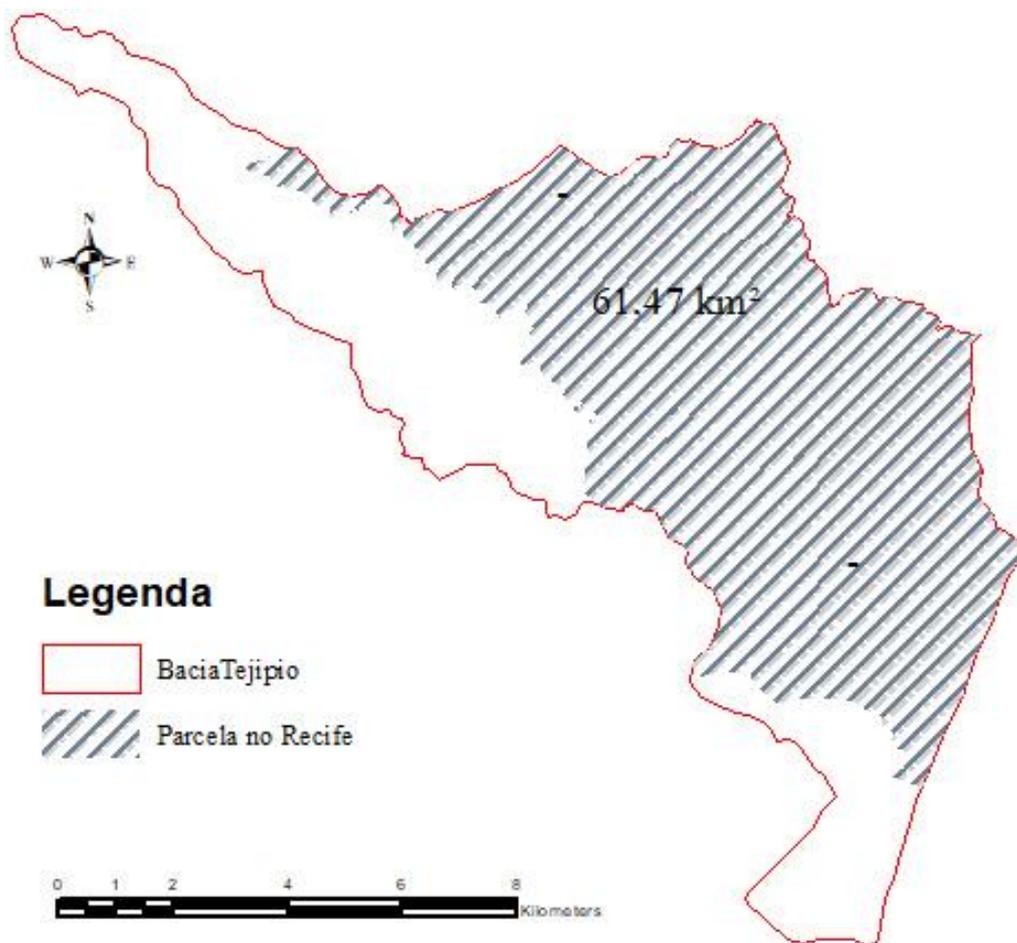


Fonte: o Autor (2018), a partir de base cartográfica IBGE (2010).

A bacia do Tejipió apresenta uma área de cerca de 93 km<sup>2</sup>, sendo que no município do Recife a área corresponde a 65,36 km<sup>2</sup>, ou seja, aproximadamente 70 % da área da bacia

está inserida na cidade do Recife e 23 % no município de Jaboatão e 7 % no município de São Lourenço da Mata. Na Figura 12 é apresentada em destaque a região da bacia do rio Tejipió no município do Recife, sendo nessa região onde ocorre os eventos de inundações que impactam na população e na mobilidade da bacia.

Figura 12-Parcela da bacia do Tejipió no Recife em relação a bacia total.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em cartográfica Recife (2013).

### 3.2.1 Relevo

Em termos de relevo a bacia Tejipió apresenta três níveis distintos com relação a altitude e características ocupacionais. Podendo-se dividir a bacia em três setores como mostrado no Quadro 6. Procurou-se proceder essa divisão levando em considerações as altitudes e o tipo de ocupação do solo. Para o setor do alto Tejipió se caracteriza em área predominante rural, se limitando entre a nascente e a BR 232. Para o setor médio da bacia há predominância de urbanização incluindo os morros e ocupação de margens dos corpos d'águas, e procurou limitá-lo entre as BRs 232 e 101. Para o setor final ou baixo se

caracteriza como uma região inserida na planície costeira com cotas variando entre 0,00 e 10,00 m relativo ao *datum* da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha (DHN).

Quadro 6-Zoneamento da bacia do Tejipió em função do relevo.

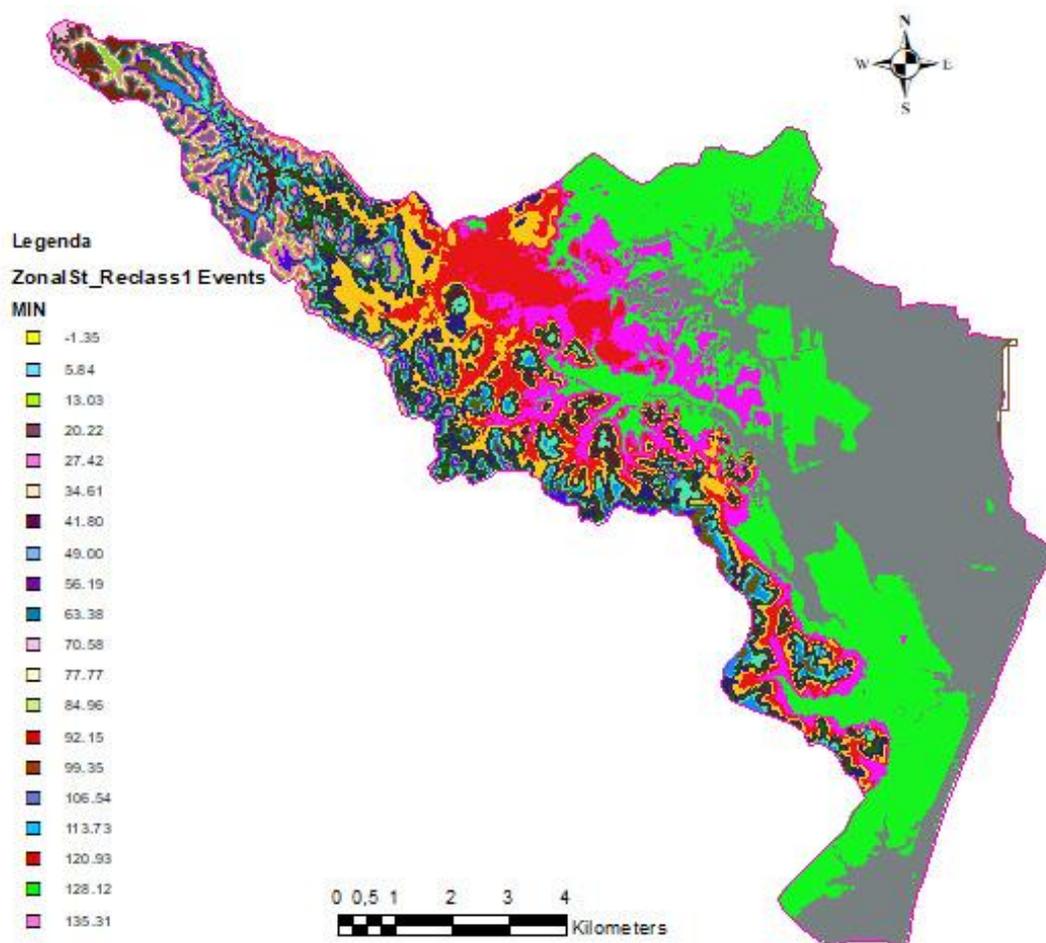
Setores	Área (km <sup>2</sup> )	Altitudes (m)	Referência	Ocupação
Alto Tejipió	23,0	140 até 20	da nascente até a BR 232	Predominante RURAL
Médio Tejipió	18,1	20 até 10	da BR 232 até a BR 101	Ocupação com morros
Baixo Tejipió	51,78	10 até 0	da BR 101 até a bacia do Pina	Planície ocupada

Fonte: O autor.

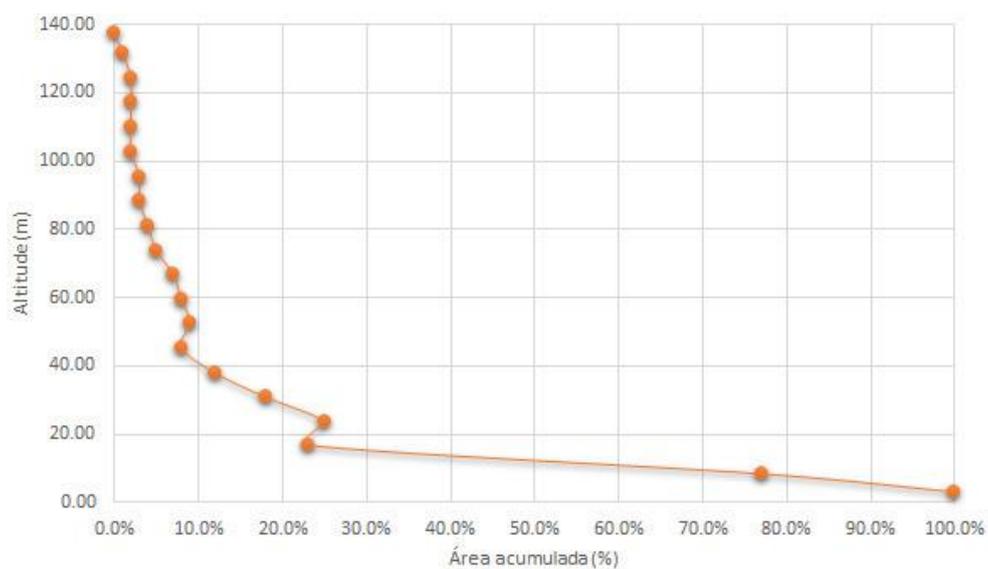
No alto Tejipió constata-se ocupações predominantes com área industrial, chácaras e fazendas. Poucos setores com ocupações densas de moradias de populares (vilas da Cohab) e ocupações irregulares no entorno. No médio Tejipió apesar de se limitar entre as cotas de 20 a 10 m, constata-se morros densamente ocupados com cotas de até 66 m e a parte plana também densamente urbanizada já se constata transbordamento da calha do rio Tejipió em diversos pontos da bacia. Na planície ou baixo Tejipió verifica-se a parte mais densamente ocupada da bacia com alagamentos e inundações constante no período de chuvas intensas, nesse território as cotas predominantes estão entre 10 e 2 m. Na Figura 13 (a) é apresentada a reclassificação da bacia, baseada no processamento no ArcGis a partir do MDT da bacia do rio Tejipió. E na Figura 13 (b) é apresentada a curva hipsométrica obtida a partir dos dados gerados com a reclassificação. Considerando a cota máxima (142,51 m) e a cota mínima (-1,35 m), constatadas a partir das curvas de níveis geradas com base no MDT da bacia, e a extensão do rio principal (25 km), obtém-se a declividade total da bacia de 0,006 m/m.

Figura 13- Procedimento de reclassificação por altitudes e curva hipsométrica da bacia do rio Tejipló.

a- Reclassificação de relevo da bacia do Tejipló.



b- curva hipsométrica da bacia do Tejipló.



Fonte: O autor.

Com relação a ocupação procedeu-se classificação para a bacia hidrográfica do rio Tejipió referente aos municípios de Jaboatão dos Guararapes e de São Lourenço da Mata, complementando a elaborada para a parcela da cidade do Recife PDR (2008). Com base na classificação a bacia apresenta uma taxa de impermeabilização de 66,07 % que considera áreas construídas, áreas sem cobertura e áreas sem classe. Para a área de cobertura vegetal, área úmida, área de água e área agrícola, resumidas como áreas permeáveis, o percentual corresponde a 33,93 % da bacia. No Quadro 7 é apresentado os dados resumidos por municípios que compõe a bacia.

Quadro 7- Taxa de ocupação em relação a permeabilidade da bacia do rio Tejipió.

Municípios da bacia do rio Tejipió	Áreas permeável		Área impermeável	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
Recife	21.500	33.96%	41.812	66.04%
Jaboatão dos Guararapes	2.163	10.10%	19.253	89.90%
São Lourenço da Mata	7.898	95.16%	0.401	4.84%

Fonte: O Autor (2018).

Com relação ao aspecto social a bacia apresenta diversos focos de pobreza caracterizada também pela ocupação irregular das margens do rio e de diversos afluentes bem como pela falta de saneamento em quase que na totalidade da bacia. A bacia engloba diversos bairros do Recife e de Jaboatão dos Guararapes, desde bairros de classe média alta como Boa Viagem e parte de Piedade até setores de pobreza, praticamente em todos os bairros da bacia. No Recife a bacia contempla 27 bairros, em Jaboatão dos Guararapes é contemplado com 7 bairros. Em São Lourenço da Mata a bacia contempla áreas verdes próximas a fazenda Mamucaia.

Em se tratando da geologia, em seu trecho mais alto, a bacia do Tejipió se caracteriza, segundo Alheiros e Lima Filho (1991), como latosolos desenvolvidos de sedimentação de formação barreira associados a rochas do embasamento cristalino, geralmente argilo arenosa. No baixo Tejipió o solo é caracterizado pela planície costeira, que segundo os autores citados, são classificados como solos indiscriminados de mangue, solos orgânicos, solos aluviais e as areias quartzosas marinhas.

### 3.1.2 Hidrografia

A bacia hidrográfica do rio Tejipió apresenta 38 cursos d'água cadastrados topograficamente no município do Recife e 28 cursos d'água vetorizados a partir da base cartográfica (SUDENE, 1971) nos municípios de Jaboatão dos Guararapes e São

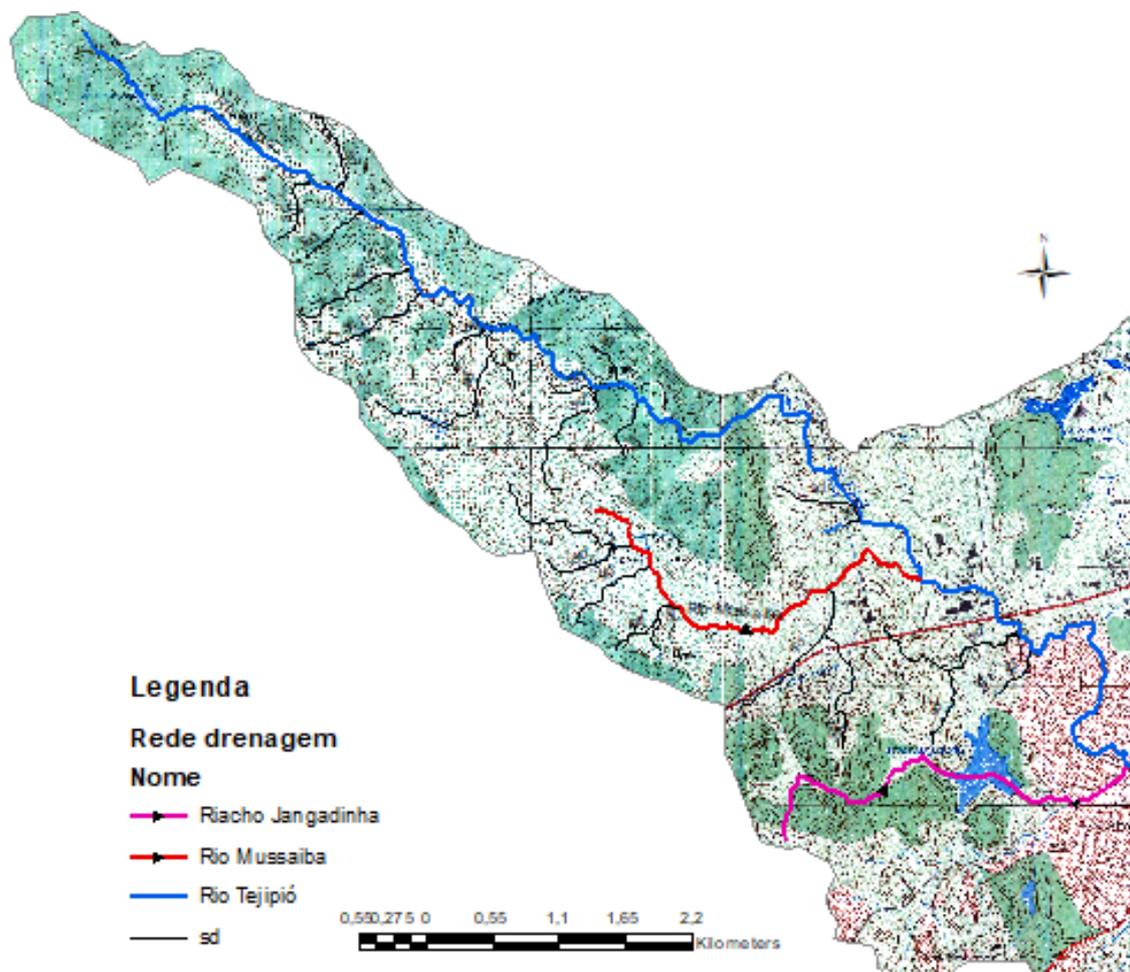
Lourenço da Mata, totalizando uma extensão de 117,86 km de rede de drenagem. No Quadro 8 é apresentado os 37 afluentes do rio Tejipió cadastrados a partir de levantamentos topo batimétricos, objeto de trabalho desenvolvido no âmbito do Plano Diretor de Manejo das Águas Pluviais (PDDR, 2016), e na Figura 14 é apresentada a rede de drenagem da bacia do rio Tejipió nos municípios de Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço da Mata obtida a partir cartografia baseada em aerofotogrametria elaborada pela Vasp S/A e digitalizada em 1972 (SUDENE, 1971), destacando-se os riachos Jangadinha e Mussaíba no município de Jaboatão dos Guararapes como os principais afluentes do rio Tejipió com extensões de 1103,00 m e 3786,00 m respectivamente.

Quadro 8- Afluentes do rio Tejipió cadastrados no Recife (PDDR, 2016).

Seq.	Denominação	Extensão	Seq.	Denominação	Extensão
1	21 de Abril	1290,70	20	Iraque	1475,86
2	Riacho Curado	5191,96	21	Jardim Planalto	1715,34
3	Jardim São Paulo	535,84	22	CHESF	775,99
4	SANBRA	1061,59	23	Leandro Barreto	1055,90
5	Laranjeira	1041,03	24	São Pedro	487,80
6	Canal Lagoa do	312,01	25	Mangueira	838,28
7	São Leopoldo	2334,14	26	Setúbal	5214,38
8	Ibura	3270,40	27	Carlos de Brito	374,16
9	Vila Arq. Maria	605,53	28	Cabeceira do	761,27
10	Zeppelin	480,03	29	Marinha	611,05
11	Torrões	1837,13	30	Gregório de	760,27
12	Guarulhos	1532,62	31	Jardim Uchôa	282,94
13	ITEP	1343,46	32	Av. Liberdade	1187,94
14	Roda de Fogo	1150,85	33	Jordão	7633,23
15	Malária	3364,45	34	Pacheco	1144,55
16	Vila Borborema	435,22	35	Queira Deus	2440,99
17	Carneiro de	1484,10	36	Jiquiá	7635,64
18	Areias	696,56	37	Moxotó	3713,77
19	Av. 30 de	662,38			

Fonte: PDDR (2016).

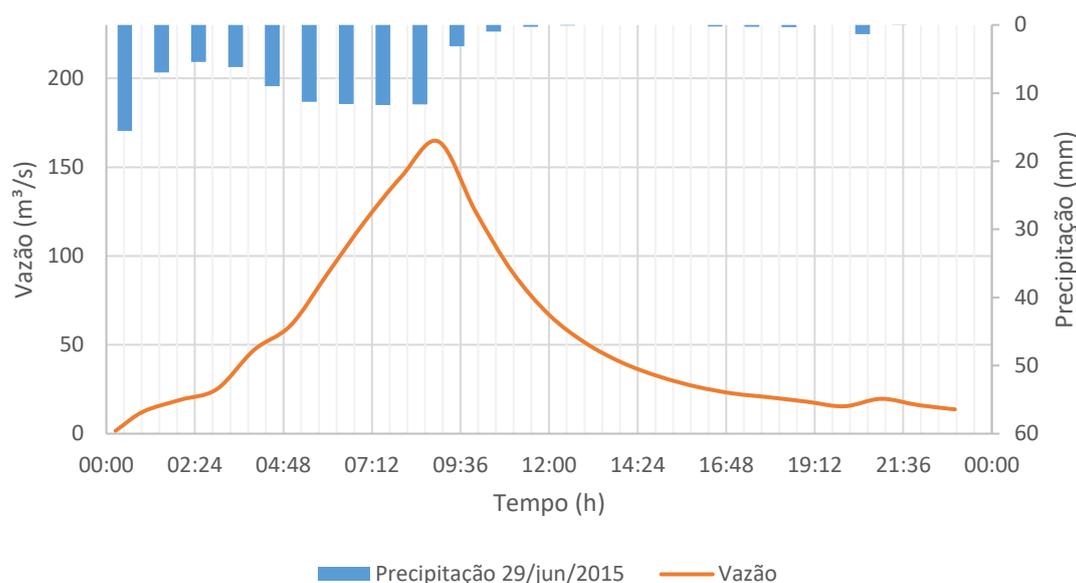
Figura 14- Rede de drenagem contribuinte do rio Tejipió nos municípios de Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço da Mata.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de cartografia da SUDENE (1971).

A relação entre os dados de extensão da rede de drenagem (117,86 km) e a área da bacia (93,03 km<sup>2</sup>) apresenta um índice de 1,27 km/km<sup>2</sup> que corresponde a densidade de drenagem da bacia, e que se pode caracterizar como mediantemente drenada de acordo com Villela e Mattos (1975 p. 16). E de acordo com Garcez e Alvarez (2011 p. 50) quanto mais drenada a bacia, mais rapidamente os deflúvios atingem os rios principais propiciando altos picos de enchentes e nas estiagens há baixos deflúvios. Logo a bacia do rio Tejipió se enquadra nessas características com respostas rápidas a eventos de chuvas intensas. Na Figura 15 é apresentado o hidrograma de cheia referente ao evento de chuva intensa de 29 de junho de 2015. Nela pode-se observar o tempo de resposta entre o evento de chuva intensa com o pico de vazão do sistema.

Figura 15- Hidrograma de cheia do dia 29 de junho de 2015 d bacia do rio Tejipió.



Fonte O autor.

Um parâmetro da bacia que vem a corroborar com a resposta da mesma à eventos de chuvas intensas, é o tempo de concentração. De acordo com Chow *et al* 1988 (apud ALMEIDA *et al*, 2013 p. 2), esse parâmetro corresponde ao tempo gasto para a gota de chuva se deslocar do ponto mais afastado da bacia até sua foz. No entanto, esse parâmetro é “função” de alterações antrópicas e de formulações adotadas na obtenção do mesmo, de acordo com Almeida *et al* (2013 p.4). Este parâmetro também seria “função” de características físicas como: a forma da bacia, a extensão do talvegue principal, a declividade da bacia, o tipo da cobertura (ocupação) e a umidade inicial do solo. Para determinação desse parâmetro procurou-se comparar a aplicação de três modelos empíricos que se baseiam em características geométricas da bacia como a declividade, a extensão do talvegue principal e a área da bacia, como as Equações de Dooge, Kirpich e a do *Corps Engineers*. A Equação de Dooge (1) apresentou um valor de 5,37 minutos, a Equação de Kirpich (2) apresentou o valor de 3,72 minutos e a do *Corps Engineers* (3) apresentou o valor de 1,27 minutos. Considerando o maior resultado (5,37 minutos), verifica-se ainda assim que a bacia do rio Tejipió apresenta um tempo de resposta rápida para eventos de chuvas intensas.

$$T_c = 1,18 \times A^{0,41} \times S^{-0,17} - \text{Dooge 1}$$

Onde:  $T_c$  – Tempo de concentração, em min;

A - Área da bacia, em  $\text{km}^2$ ;

S - Declividade da bacia, em m/km.

$$T_c = 0,0663 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} - \text{Kirpich2}$$

Onde:  $T_c$  – Tempo de concentração, em min;

L - Comprimento do talvegue principal, em km;

S - Declividade da bacia, em m/km.

$$T_c = 0,19 \times L^{0,76} \times S^{0,19} - \text{Corps Engineers3}$$

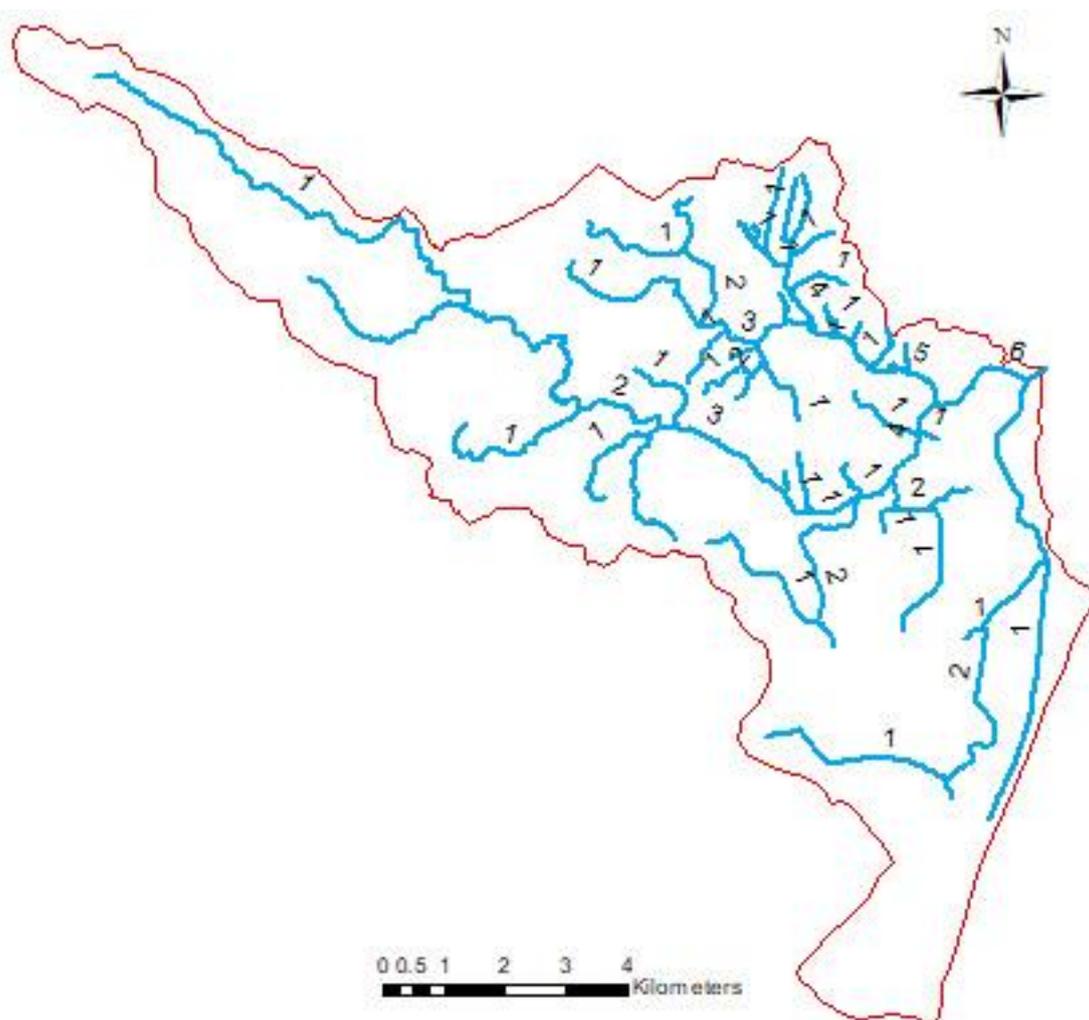
Onde:  $T_c$  – Tempo de concentração, em min;

L - Comprimento do talvegue principal, em km;

S - Declividade da bacia, em m/km.

Na Figura 16 é apresentado uma classificação da ordem de drenagem da bacia do rio Tejipió baseada no critério introduzido por Horton e adaptada por Strahler (1964 apud VILLELA E MATTOS, 1975 p. 15). Nessa classificação os cursos d'águas de ordem 1 são os formadores de escoamentos iniciais que não tenham tributários. A partir da junção de dois tributários de primeira ordem se forma o da segunda ordem e a junção de dois tributários de segunda ordem formam um de terceira ordem e assim sucessivamente. Nessa classificação vale salientar que foi tomado como base os rios e riachos cadastrados topograficamente no município do Recife (38 cursos d'águas incluindo o rio principal) e dois riachos no município do Jaboatão dos Guararapes vetorizados a partir do MDT, o que totaliza 40 cursos d'água.

Figura 16-Classificação da drenagem da bacia do rio Tejipió.



Fonte Elaborado pelo autor a partir do MDT-PE3D (PERNAMBUCO, 2016).

### 3.1.3 Clima

Com relação ao clima a bacia do rio Tejipió se enquadra nas características da cidade do Recife, ou seja, clima do tipo “As” segundo a classificação de Köppen adaptada para o Brasil apresentada na Quadro 9 (AMBIENTE BRASIL, 2018), que caracteriza uma região quente úmida com temperatura média de 25°C. Com relação a ocorrência de chuvas, a cidade apresenta uma precipitação acumulada média anual de 2263,40 mm de acordo com dados disponíveis da Normal Climatológica 1981 a 2010 (INMET, 2017). Com referência a evaporação a cidade do Recife, durante os meses de setembro a fevereiro (período mais quente), apresenta valores de evaporação acumulada de 1323,40 mm, superior ao acumulado precipitado no mesmo período, de acordo com Cabral e Alencar (2005, p. 114). No entanto, em termos anuais, a precipitação supera a evaporação em 1094,30 mm de acordo com os Autores baseado na Normal Climatológica de 1961 a

1990 (2417,70 mm). Cabral e Alencar (2005 p.119) enfatizam ainda que a região se caracteriza por apresentar um clima agradável com temperaturas variando entre a média máxima de 26,6° C e a média mínima de 23,9° C.

Quadro 9- Classificação Koppen adaptada para o Brasil.

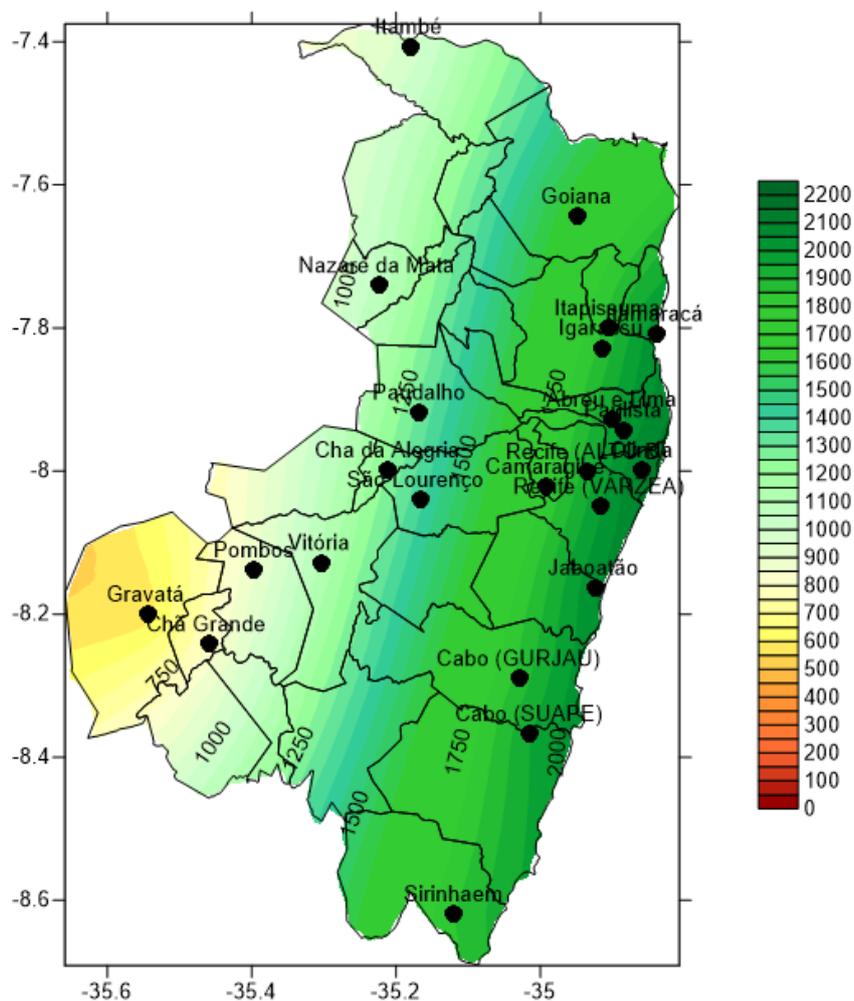
Símbolos Climáticos	Características	Regime de Temperatura e Chuvas	Área de Ocorrência
Am (equatorial)	Quente com uma estação seca (primavera)	Temperaturas elevadas: médias entre 25°C e 27°C.	Maior parte da Amazônia
Af (equatorial)	Quente sem estação seca	Pluviosidade elevada: médias de 1.500 a 2.500 mm/ano.	Porção oriental e noroeste da região Norte
Aw (tropical)	Quente, com chuvas de verão	Temperatura média entre 19°C e 28°C, pluviosidade média inferior a 2000 mm/ano.	Brasil Central e Roraima
Aw (tropical)	Quente, com chuvas de verão e outono		Litoral norte
As (tropical)	Quente, com chuvas de inverno e outono	Duas estações bem definidas: o verão (seco) e o inverno (chuvoso). Médias anuais térmicas superiores a 25°C.	Litoral oriental do Nordeste (Zona da Mata)
Bsh (semi-árido)	Quente e seco, com chuvas de inverno*	Pluviosidade média anual inferior a 1000 mm/ano com chuvas irregulares.	Sertão do Nordeste
Cwa (tropical de altitude)	Chuvas de verão e verões rigorosos	Médias térmicas entre 19°C e 27°C.	Interior do Sudeste e pequena porção do Mato Grosso do Sul
Cwb (tropical de altitude)	Chuvas de verão e verões brandos		Terras altas do Sudeste
Csa (tropical de altitude)	Chuvas de outono-inverno e verões quentes	Pluviosidade média de 1500 mm/ano; chuvas de verão.	Chapada da Borborema, região Nordeste.
Cfa (subtropical)	Chuvas bem distribuídas e verões rigorosos	Médias térmicas entre 17°C e 19°C.	Áreas mais baixas da região Sul (litoral e sul da região)
Cfb (subtropical)	Chuvas bem distribuídas e verões brandos	Pluviosidade média de 1500 mm/ano; chuvas bem distribuídas.	Áreas mais altas do planalto Meridional e serras

Fonte: Ambiente Brasil (2018).

Com a relação, a ocorrência de precipitações na Região Metropolitana do Recife (RMR), Silva *et al* (2016), considerando dados acumulados mensais de 24 estações da Agência

Pernambucana de Água e Clima (APAC) da RMR do período de 2003 a 2014, estudou a variabilidade com estimativa da pluviosidade nessa região. Com os resultados obtidos, os autores concluíram que as maiores alturas de chuvas se localizam na região litorânea, com uma redução progressiva na direção leste – oeste, e na direção norte – sul há pouca variabilidade pluviométrica. Na Figura 17 é apresentado o comportamento anual dessa variabilidade podendo-se observar que a região de transição entre a zona da mata e a do agreste apresenta diminuição das alturas pluviométricas.

Figura 17- Distribuição Espacial Anual da precipitação, em mm, da RMR.



Fonte: Silva *et al* (2016).

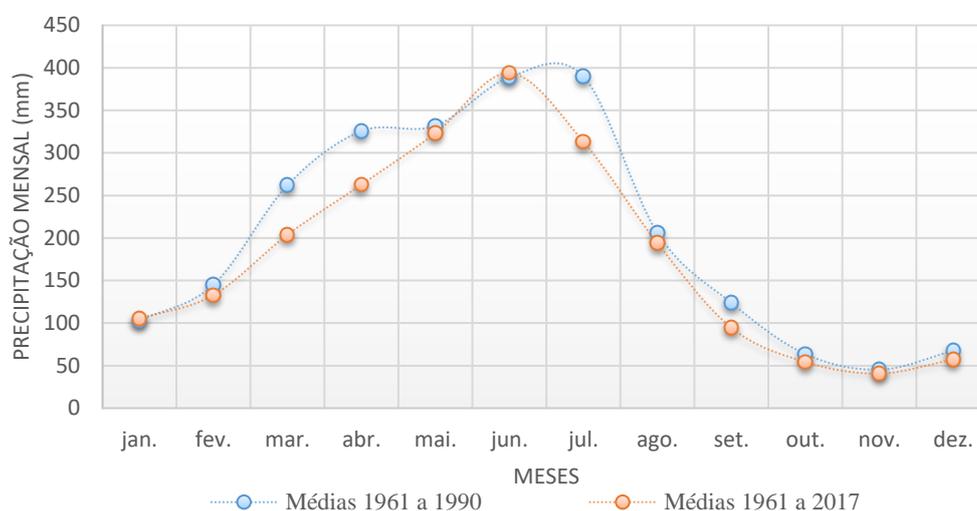
Uma análise dos dados de chuvas médias mensais e anual, considerando o período de 1961 a 2017 de dados registrados pelo INMET, foi procedida com o objetivo de analisar o comportamento mensal e anual das precipitações a partir de um conjunto maior de amostras e apresentar características pluviométricas atualizadas para a cidade do Recife. Nessa análise foi considerado como ponto de partida os dados da Normal Climatológica

de 1961 a 1990 para a cidade do Recife, complementado com dados mensais acumulados do período referente de 1991 a 2017 (INMET, 2017).

Na Figura 18 é apresentado o gráfico comparativo das precipitações médias mensais entre a Normal Climatológica 1961 – 1990 e a análise com os dados de 1961 a 2017. A análise desses dados mensais mostrou uma tendência de diminuição da precipitação anual, resultando numa precipitação média acumulada anual de 2174,25 mm para o período de 1961 a 2017.

A diminuição provavelmente deve estar ligada ao aumento do conjunto de dados históricos (1961 a 2017) ou influência das mudanças climáticas. Outro fator que deve ser considerado é que apenas a estação do INMET, foi adotado pelos órgãos como referência, pelo tempo em atividade (desde 1926). Só a partir da década de 1990, o então ITEP (Instituto Tecnológico de Pernambuco) iniciou a implantação de uma rede de pluviômetros automáticos na cidade do Recife, cujo acervo foi incorporado a APAC (Agência Estadual de Águas e Climas) posteriormente. No anexo E são apresentados os dados utilizados nessa análise (INMET, 2017) onde também são apresentadas as variações médias mensais.

Figura 18-Precipitações Médias Mensais.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do INMET (2017).

O primeiro Plano Diretor de Drenagem desenvolvido pela Prefeitura do Recife através da Empresa Estudos e Projetos de Engenharia em meados da década de 1970 (ENCIBRA, 1978), não teve seus produtos transformados em lei, o que acarretou apenas numa documentação de circulação interna aos órgãos da Prefeitura. Produtos como o cadastro

de microdrenagem não contemplaram toda a cidade. No entanto, possibilitou-se a edição da primeira equação de chuva para o Recife, conforme é representada pela Equação 4.

$$i = \frac{335,47 \cdot T^{0,218}}{(t + 4)^{0,539}}$$

sendo: i – intensidade máxima de chuva, em mm/h;

T - tempo de retorno, em anos;

t- tempo de duração, em min.

Outro Plano Diretor que também ficou limitado a órgãos internos foi o desenvolvido pela Acqua-Plan-Estudios Projetos e Consultorias para FIDEM, no início da década de 1980 (ACQUA-PLAN e CONDEPE/FIDEM, 1980). Esse estudo se limitou a um plano de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife (RMR), e que também apresentou equações de chuvas de projeto para a região metropolitana. Nesse estudo os autores estabeleceram as Equações 5 e 6 ( $i_1$  e  $i_2$ ) para ser tomado o valor máximo entre elas nos estudos e projetos.

Vale salientar que para a edição das citadas chuvas de projetos para o 1º Plano Diretor de Drenagem do Recife e para o Plano Diretor de Macrodrenagem da RMR, se utilizou os dados históricos de pluviógrafos do INMET, entre 1926 e 1977.

$$i_1 = \frac{456,768(T-1,5)^{0,117} \cdot (1-4,54 \cdot 10^{-21} \cdot t^8)}{(t+6)^{0,5811}} \quad \text{5}$$

sendo: i – intensidade máxima de chuva, em mm/h;

T - tempo de retorno, em anos;

t- tempo de duração, em min.

$$i_2 = \frac{72,153 \cdot (T-1,75)^{0,173}}{(t+1)^{0,74926}} \quad \text{6}$$

sendo: i – intensidade máxima de chuva, em mm/h;

T - tempo de retorno, em anos;

t- tempo de duração, em h

Vale destacar também a pesquisa desenvolvida por Ramos e Azevedo (2010, p.92) que objetivou avaliar os efeitos das mudanças climáticas em sistemas de drenagem de bacias urbanas, onde foi apresentada uma equação de chuva para o Recife, que tomou como base

dados de registro do pluviógrafo instalado no aeroporto dos Guararapes desde 1968. Após desprezar os dados com falhas, ainda contemplava um conjunto de dados de 40 anos (1968-2007) o que proporcionou trabalhar com séries anuais máximas. A análise e os procedimentos estatísticos levaram os autores a propor a Equação 7, para determinação da intensidade de chuvas para o Recife.

$$i = \frac{1423,97 \times T^{0,1124}}{(t+21)^{0,7721}} \quad 7$$

sendo: i – intensidade máxima de chuva, em mm/h;

T - tempo de retorno, em anos;

t- tempo de duração, em min.

Em 2016 a Emlurb concluiu os trabalhos de um Estudo de Plano de Manejo de Águas Pluviais do Recife, através da ABF Engenharia e Comércio, que está em fase de edição para uma legislação pertinente. Nesse trabalho foram obtidos diversos produtos que nortearão a ações da Prefeitura do Recife, e dentre os produtos destaca-se uma nova chuva de projeto para a cidade (Equação 8), que tomou como base dados de chuvas do INMET de 1926 a 2016 além de dados de pluviômetros administrados pelo ITEP na década de 1990 e 2000.

$$i = \frac{611,3425 \cdot T^{0,1671}}{(t + 7,3069)^{0,6348}}$$

sendo: i – intensidade máxima de chuva, em mm/h;

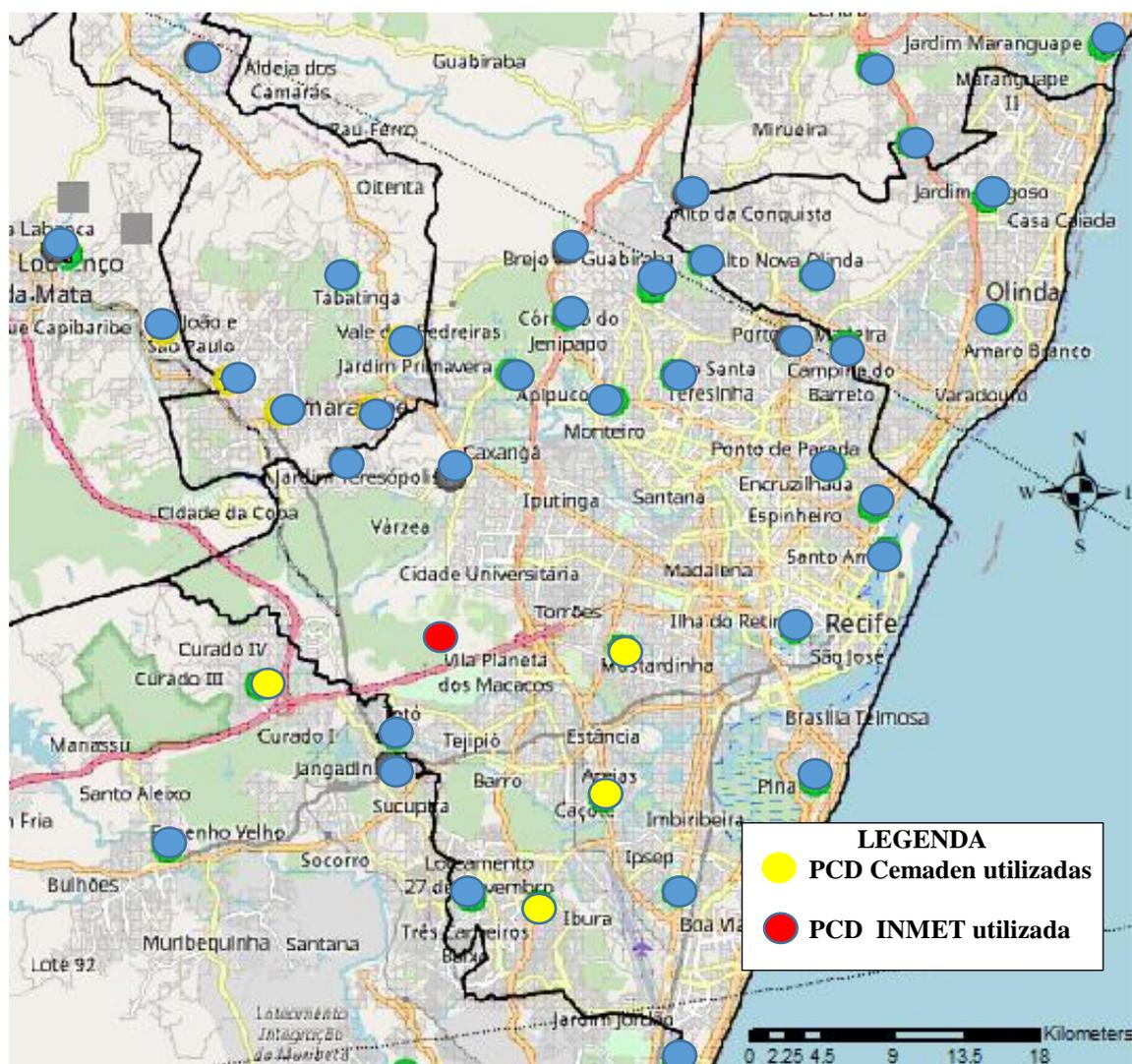
T - tempo de retorno, em anos;

t- tempo de duração, em min.

A partir de dezembro de 2011, a Cemaden (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais) começou a operar sua rede de pluviômetros automáticos, e na RMR foi contemplada com uma rede com mais de 50 estações plataformas de coleta de dados (PCDs). Para bacia do rio Tejipió há, pelo menos, 13 estações que podem ser consideradas na obtenção de chuva média da bacia. No entanto para a utilização nessa tese e considerando o período de simulação proposto, foram procedidas análises dos dados observados dessas estações, definindo-se pela utilização de apenas 4 estações da CEMADEN que apresentavam dados confiáveis e completos, sendo 3 na cidade do Recife

(San Martin, Areias e Alto da Bela Vista) e 1 na cidade de Jaboatão dos Guararapes (Curado II), além da estação do INMET. A Figura 19 mostra a rede de estações de dados pluviométricos no Recife e cidades vizinhas destacando as consideradas nas simulações de calibração e validação do modelo, e no Quadro 10 as estações com influência na bacia do rio Tejipió.

Figura 19-Estações Pluviométricas no Recife e municípios vizinhos.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados Cemaden (2017).

Quadro 10- Estações pluviométricas com influência na bacia do Tejipió.

Estações Cemaden			Projeções UTM (m)	
Nº	Nome	Município	Latitude	Longitude
261160621A	Areias	Recife	-34.929	-8.102
261160604A	Alto da Bela Vista	Recife	-34.941	-8.123
261160619A	San Martin	Recife	-34.925	-8.073
261160609A	UPA Imbiribeira	Recife	-34.914	-8.120
261160601A	Várzea 1	Recife	-34.980	-8.036
261160616A	Várzea 2	Recife	-34.959	-8.039
261160617A	Pina	Recife	-34.887	-8.099
260790108A	Curado II	Jaboatão	-34.997	-8.080
260790106A	Piedade	Jaboatão	-34.914	-8.154
261160615A	Ibura	Recife	-34.960	-8.122
261370102A	Nossa Sr <sup>a</sup> da Luz	São Lourenço da Mata	-35.100	-8.037
260790102A	Cavaleiro 1	Jaboatão	-34.970	-8.090
260790103A	Cavaleiro 2	Jaboatão	-34.971	-8.096
Recife-A301	INMET	Recife	-34.959	-8.059

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados Cemaden (2017).

Nas Tabelas 2 a 5, são apresentados os referidos dados de eventos de precipitação utilizados na simulação no SWMM. Para a fase de calibração, deve-se observar a Tabela 4 (29 /06/2015) e a Tabela 5 (22/05/2015). Para validação, deve-se observar a Tabela 2 (30/05/2015) e a Tabela 3 (28/06/2015). Na simulação definitiva para definição das vazões para uma primeira simulação no HEC-HAS, observa-se os dados da Tabela 4. A opção pelo evento de 29 de junho de 2015 deve-se primeiramente à ocorrência de chuvas intensas que resultaram em cheias no rio Tejipió. Outro fato a se salientar foram os registros desses níveis observados na estação de monitoramento do nível do rio Tejipió em Areias (Diretoria de Limpeza Urbana), além de registros fotográficos de alagamentos em vários pontos da bacia.

Tabela 2- Eventos de precipitação de 30 de maio de 2015.

Dia	Hora (h:min)	CEMADEN				INMET
		Areias (mm)	Alto Bela Vista (mm)	San Martim (mm)	Curado II (mm)	Curado (mm)
30 de maio de 2015	0:00	3.00	0.00	10.01	11.60	0.00
	1:00	5.00	0.00	7.06	7.45	1.00
	2:00	2.00	0.00	2.74	2.96	8.80
	3:00	3.80	0.00	0.35	2.17	6.80
	4:00	0.00	0.00	0.40	2.75	8.20
	5:00	1.20	0.00	0.79	0.00	2.60
	6:00	0.00	0.00	0.00	0.42	1.60
	7:00	13.20	0.00	7.47	8.86	1.00
	8:00	0.60	0.00	1.19	4.52	0.60
	9:00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.40
	10:00	4.20	0.00	6.71	5.52	8.00
	11:00	10.00	0.00	14.62	14.17	1.40
	12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	13:00	6.60	0.00	0.98	5.14	9.00
	14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.60
	15:00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20
	16:00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
	17:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20:00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
	21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTALS		49.60	0.00	52.72	65.76	71.4

Fonte: CEMADEN (2017) e INMET (2017).

Tabela 3- Eventos de precipitação de 28 de junho de 2015.

Dia	Hora (h:min)	CEMADEN				INMET
		Areias (mm)	Alto Bela Vista (mm)	San Martim (mm)	Curado II (mm)	Curado (mm)
28 de junho de 2015	0:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1:00	5.20	1.38	2.36	0.00	0.00
	2:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3:00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40
	4:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9:00	0.20	0.20	0.00	0.39	0.00
	10:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	12:00	0.60	0.20	0.00	0.20	0.00
	13:00	0.80	0.20	0.79	0.00	0.00
	14:00	0.40	0.20	0.00	0.00	1.20
	15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	16:00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20
	17:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	19:00	0.00	0.20	0.00	1.18	0.00
	20:00	2.00	3.74	2.36	3.14	0.80
	21:00	3.20	2.56	3.15	2.39	0.00
	22:00	6.80	1.97	10.25	0.42	1.80
23:00	31.00	6.09	12.00	11.86	1.40	
TOTALS		50.20	16.74	30.91	19.78	10.00

Fonte: CEMADEN (2017) e INMET (2017).

Tabela 4- Eventos de precipitação de 29 de junho de 2015.

Dia	Hora (h:min)	CEMADEN				INMET
		Areias (mm)	Alto Bela Vista (mm)	San Martim (mm)	Curado II (mm)	Curado (mm)
29 de junho de 2015	0:00	17.20	18.98	14.56	23.83	1.40
	1:00	4.20	6.69	5.93	7.66	12.20
	2:00	3.40	1.58	0.20	9.06	27.80
	3:00	6.00	6.10	15.42	9.06	19.40
	4:00	7.00	5.51	11.03	32.19	5.00
	5:00	21.00	21.34	8.26	15.16	0.80
	6:00	12.00	14.17	13.19	13.18	9.80
	7:00	29.40	11.42	8.25	20.67	18.20
	8:00	10.40	11.01	5.70	13.58	12.20
	9:00	0.60	1.78	0.20	1.18	10.60
	10:00	0.00	0.20	0.00	0.00	4.20
	11:00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.40
	12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
	13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	16:00	0.20	0.00	0.00	0.42	0.00
	17:00	0.00	1.77	0.40	0.39	0.00
	18:00	0.00	0.20	0.20	1.38	0.00
	19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.80
	21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
	22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TOTAIS		111.40	100.75	83.34	147.76	133.40

Fonte: CEMADEN (2017) e INMET (2017).

Tabela 5- Eventos de precipitação de 22 de maio de 2014.

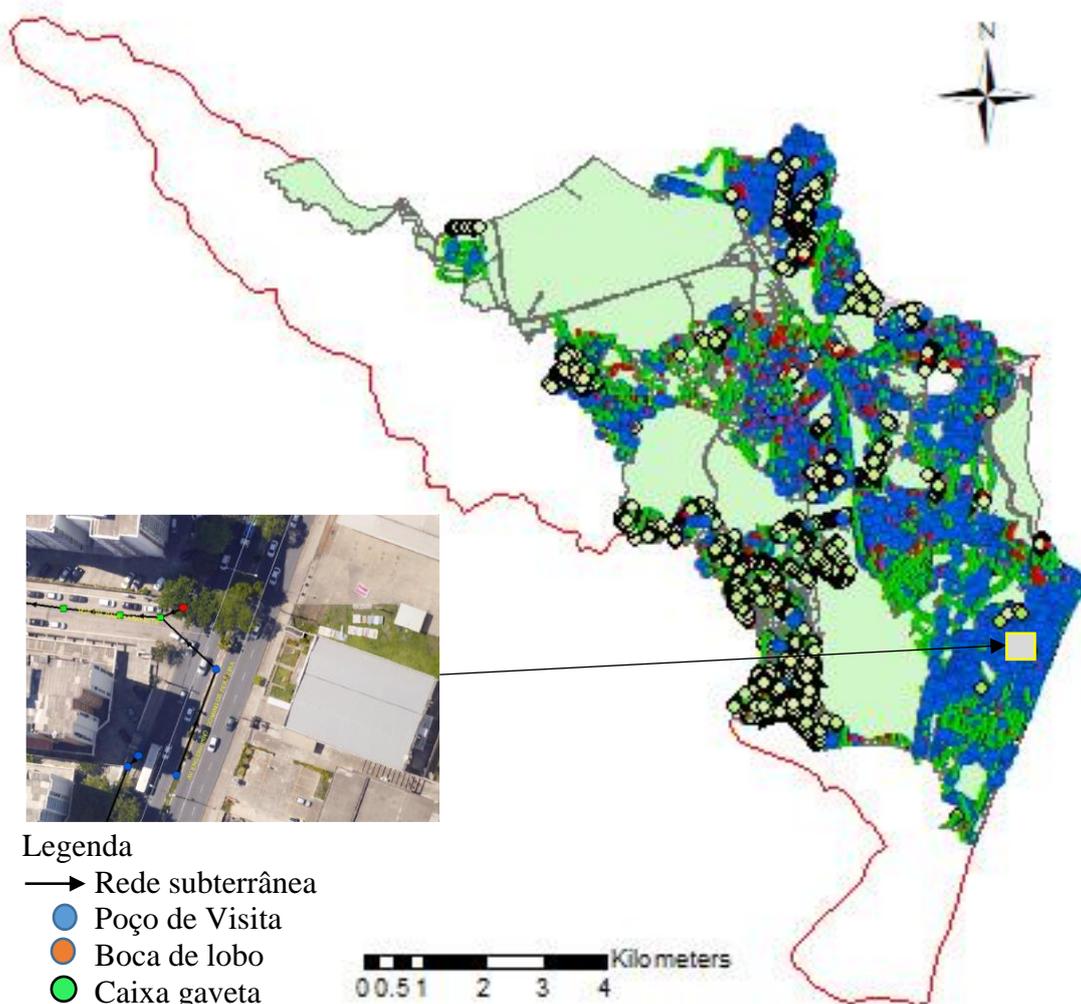
Hora (h:min)	Cemaden (mm)		INMET (mm)
	Ibura	UPA-Imbiribeira	Curado
00:00	0.00	0.00	0.00
01:00	0.00	0.00	0.00
02:00	0.00	0.00	0.20
03:00	0.00	0.00	0.00
04:00	0.00	0.00	0.00
05:00	0.00	0.00	0.00
06:00	0.00	0.00	0.00
07:00	0.00	0.00	0.00
08:00	0.20	0.40	0.00
09:00	0.59	0.20	2.80
10:00	0.00	0.59	2.40
11:00	1.38	1.38	1.00
12:00	0.00	0.00	0.00
13:00	0.00	0.00	0.00
14:00	0.00	0.00	0.00
15:00	0.00	0.00	0.00
16:00	0.00	0.00	0.00
17:00	0.00	0.40	0.00
18:00	5.32	6.56	1.40
19:00	0.20	0.00	0.00
20:00	0.00	0.00	0.00
21:00	0.00	0.00	0.00
22:00	1.38	1.77	5.80
23:00	0.00	0.00	0.20

Fonte: CEMADEN (2017) e INMET (2017).

### 3.1.4 Rede de microdrenagem

A bacia do rio Tejipió apresenta uma rede de microdrenagem, com predominância subterrânea, e que ao longo dos anos tornou-se deficiente, como em toda cidade do Recife, no que se refere ao dimensionamento, a concepção e a manutenção. Na Figura 20 é apresentada apenas a rede de micro drenagem da bacia do Tejipió na cidade do Recife, uma vez que o município de Jaboatão dos Guararapes não dispõe de dados cadastrados e a região da bacia no município de São Lourenço da Mata se caracteriza como rural. Na parte do Recife, a bacia apresenta cerca de 370 km de tubulação subterrânea cadastrada e 110 km de canaletas, sendo estas com localização predominante nas regiões de morro (RECIFE, 2016).

Figura 20-Rede de microdrenagem da bacia do Tejipió.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de base de dados da Prefeitura do Recife (2016).

No que se refere ao dimensionamento, a deficiência é função de vários condicionantes, sendo o principal deles a impermeabilização da bacia e a concepção baseada na ideia higienista, concebida na época da Revolução Industrial na Europa. A rede de microdrenagem se caracteriza ainda por receber outras contribuições, além das pluviais, ou seja, a rede, em quase toda bacia, funciona como sistema unitário recebendo boa parte de efluentes cloacais inclusive em regiões onde há o sistema de coleta de esgoto. Este fato traz diversos problemas para bacia, incluindo o assoreamento dos sistemas de drenagem e danos a rede de tubulação, além daqueles vinculados à saúde pública.

Já com relação à concepção, como já dito anteriormente, a maioria das soluções para problemas de alagamentos, ainda se baseia na ideia higienista que se fundamenta no transporte das águas para sistemas de macrodrenagem, charco ou manguezais. Os problemas relacionados a inundação e alagamentos na bacia do Tejipió ocorrem com

predominância na região baixa ou de planície, com mais de 50% da área da bacia, e onde o relevo se caracteriza por baixa declividade de escoamento além de influência do movimento das marés, causando remansos em toda rede de drenagem de águas pluviais nessa região.

Com o objetivo de amenizar os efeitos de alagamentos na região da av. Recife no bairro do IPSEP, local de constantes ocorrências desses eventos, foi implantado no final do século passado, um sistema de Drenagem Forçada a partir de um reservatório em conjunto com um sistema de bombeamento na confluência desta avenida com a av. Dom Helder Câmara. O sistema implantado objetivou principalmente proteger o logradouro de cheias e alagamentos provocados pelo remanso das marés de sizígia, a partir da concepção em direcionar as redes de micro e macrodrenagem dos logradouros para o reservatório, onde a partir do mesmo, as águas são transportadas por recalque para o rio Moxotó. No entanto, uma análise da eficiência desse sistema fica prejudicada, uma vez que:

- A bacia considerada para dimensionamento da estação é inferior àquela que efetivamente contribui para o reservatório de sucção da estação de bombeamento;
- Há redes de microdrenagem da av. Recife com jusantes diretamente no rio Tejipió, o que proporciona remansos causados pelas marés de sizígia e por cheias do referido rio para a av. Recife, sem o controle da estação elevatória;
- Há contribuições dos remansos causados pelas marés de sizígia a partir do rio Moxotó (um dos principais afluentes do rio Tejipió), através de retorno de tubulações particulares de drenagem de lotes da av. Recife. Esse rio também apresenta remansos de marés de sizígia e das cheias do rio Tejipió.

Com base nessas três constatações, os problemas de alagamentos persistem, inclusive só com a ocorrência de remansos causados pelas marés de sizígia. Outro fato constatado é que o projeto do sistema de Drenagem Forçada, bem como o da av. Dom Helder Câmara, não levou em consideração as ocorrências de chuvas intensas na bacia do rio Tejipió, que resultam em cheias com transbordamento da calha do rio Moxotó para a av. Dom Helder Câmara e conseqüentemente para a av. Recife.

### 3.2 Modelo Hidrológico SWMM

O SWMM (*Storm Water Management Model*) é um modelo matemático de simulação chuva-vazão desenvolvido pela EPA-USA (*U.S. Environmental Protection Agency*). Entre 1969 até o presente, foram incorporadas contribuições de usuários visando a atualização desse *software*, haja vista ser o mesmo de domínio público e conseqüentemente apresenta seu código-fonte aberto. O conjunto dos módulos deste modelo é bastante completo, pois ele se propõe a resolver problemas no que se refere à qualidade da água escoada, como também à quantidade deste escoamento. Huber e Dickinson (1992 *apud* GARCIA e PAIVA 2006 p. 3), apresentam a estrutura do modelo em nove módulos ou blocos, sendo quatro módulos computacionais e cinco módulos de serviços, além do módulo executivo.

O SWMM foi utilizado principalmente na modelagem hidrológica para determinação das vazões por trechos, dos 37 afluentes cadastrados da bacia, objetivando a alimentação de dados de entrada do HEC-RAS. Buscou-se então, discretizar a bacia do rio Tejipió em 40 sub bacias, sendo 37 bacias referentes aos afluentes cadastrados no Recife, e 3 sub bacias, dos rios Tejipió e Jiquiá, referentes a regiões remanescentes das bacias desses rios que não foram contempladas pelas sub bacias dos afluentes. Sendo de grande importância a caracterização das sub bacias, no que se refere, por exemplo, ao relevo, à ocupação, às características do solo, dentre outras que visem aproximá-las da realidade local e, conseqüentemente, levando a níveis baixos de erros no processo de simulação. Nesse sentido Bertoni (1998 *apud* BASTOS, 2007 p. 35), em estudo com o SWMM, numa bacia hidrográfica localizada na região central da Argentina, sugeriu a adoção de um passo de tempo de simulação de 10 s, como também sugeriu comprimentos de condutos superiores a 20 m, uma vez que, a adoção de extensões menores constataram instabilidade numérica do modelo.

As taxas de impermeabilização para cada sub bacia do rio Tejipió, foram obtidas a partir de análises de imagens aerofotogramétricas do Recife (RECIFE, 2013), disponibilizadas pela prefeitura da cidade, e análise das imagens de satélite do *Google Earth* para os outros dois municípios, Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço da Mata.

Para caracterização das sub bacias no que se refere à infiltração, foi utilizado o método da Curva Número, onde procurou-se enquadrar as informações disponíveis do solo e da cobertura vegetal ou área urbanizada, para obtenção da classe de enquadramento e em

seguida se obtêm o CN para cada subárea do SWMM - tabela de CN apresentada no anexo B (ROSSMAN, 2010).

A declividade de cada sub bacia foi obtida a partir das curvas de níveis da bacia do rio Tejipió para a região do alto Tejipió (reserva de Mata Atlântica), e para a parte urbanizada da bacia foram utilizadas as cotas da rede de microdrenagem, no que se refere às cotas de tampas de caixas coletoras e tampões dos poços de visitas, cadastrados no âmbito dos trabalhos do PDDR. Na Tabela 6 (a, b, c e d) são apresentadas outras informações complementares como: áreas, depressões, largura média; que tem a finalidade de caracterizar fisicamente cada sub bacia. Tal se faz necessário para proceder a simulação hidrológica da própria bacia. Na Figura 21 (imagem não georreferenciada) pode ser verificado o esquema das sub bacias e outros objetos na interface do SWMM.

Os sistemas de rede de drenagem, condutos (*links*) e nós, ou junções, são os objetos utilizados no módulo (*extran*) de escoamento até a jusante e, um dos parâmetros mais importante deste módulo, é a rugosidade por apresentar-se variável na realidade, principalmente nos trechos naturais de riachos e rios. Os outros parâmetros, tais como declividade, extensão e altura, são objetos de levantamentos topográficos, portanto informações de pouca variabilidade, dependentes apenas de levantamentos precisos.

Tabela 6 a- Características das sub bacias do rio Tejipió para SWMM.

Sub bacias	Área	Perímetro	Kc	Le	Rio Pricipal	declividade da bacia			
	(ha)	(m)				(m)	(m)	CM	CJ
Tejipió	9302.79	64697.81	1.89	3213.21	23745.38	130.00	2.00	0.0054	0.54%
Remanescente alto	1821.02	25352.97	1.68	1663.56	11908.40	130.00	29.00	0.0085	0.85%
Remanescente médio	394.01	15584.65	2.21	547.44	4855.61	29.00	9.88	0.0039	0.39%
Remanescente baixo	611.91	28807.74	3.28	441.28	6981.37	9.88	2.80	0.0010	0.10%
Leandro Barreto	36.04	3194.93	1.50	273.81	1038.44	11.80	4.45	0.0071	0.71%
ITEP	72.77	3686.52	1.22	576.81	1308.17	7.90	7.04	0.0007	0.07%
30 de Outubro	16.29	2283.74	1.60	168.30	670.89	4.08	3.99	0.0001	0.01%
Areias	63.78	4341.58	1.53	352.89	708.29	17.63	3.47	0.0200	2.00%
Av. Liberdade	35.99	3318.74	1.56	258.37	1181.68	16.77	4.10	0.0107	1.07%
Curado II	1711.34	15642.41	1.13	3925.55	4255.10	20.00	4.61	0.0036	0.36%
Guarulhos	107.72	8225.78	2.24	283.12	1551.94	5.32	4.17	0.0007	0.07%
Jardim São Paulo	36.16	2937.07	1.38	315.13	538.71	3.88	3.27	0.0011	0.11%
Mangueira	28.99	2539.95	1.33	300.44	856.18	3.92	2.72	0.0014	0.14%
Marinha	37.06	2935.52	1.36	326.32	627.07	2.68	2.25	0.0007	0.07%
São Pedro	45.06	4205.66	1.77	243.92	510.94	1.89	0.97	0.0018	0.18%
Sanbra	54.56	3999.13	1.53	328.31	1150.54	8.84	3.08	0.0050	0.50%
São Leopoldo	100.04	9020.65	2.54	235.60	2414.36	6.33	2.94	0.0014	0.14%
Zeppelin	14.15	1809.33	1.36	202.65	389.85	2.38	2.28	0.0003	0.03%
Setúbal	349.54	14904.45	2.25	506.58	5572.00	5.21	2.00	0.0006	0.06%
Vila Borborema	17.56	6031.80	4.06	59.83	1367.44	10.23	7.70	0.0019	0.19%
Arq. Maria Lúcia	73.16	4826.69	1.59	358.07	1319.41	2.35	1.26	0.0008	0.08%

NOTA: Le- largura equivalente; CM- cota de montante; CJ- cota de jusante.

Fonte: O autor.

Tabela 6 b- Características das sub bacias do rio Tejipió para SWMM.

Sub bacias	Área (ha)	Perímetro (m)	Kc	Le (m)	Rio Pricipal (m)	declividade da bacia			
						CM	CJ	S(m/m)	S(%)
Luxemburgo	28.27	2497.34	1.32	299.16	386.00	1.00	0.98	0.0001	0.01%
Cabeça do Aeroporto	19.81	2493.02	1.60	184.91	697.49	2.09	1.00	0.0016	0.16%
Ibura	233.58	8939.59	1.65	608.57	2346.21	26.14	3.52	0.0096	0.96%
Queira Deus	214.66	7084.21	1.36	781.59	2663.71	42.22	6.93	0.0132	1.32%
Torrões	112.14	7951.26	1.63	553.54	1440.30	6.62	5.31	0.0009	0.09%
21 DE Abril	81.14	5287.56	1.66	356.96	1288.15	4.35	2.70	0.0013	0.13%
Carlos de Brito	29.25	3052.16	1.59	226.38	378.00	5.96	4.98	0.0026	0.26%
Carneiro de Mariz	77.42	5004.62	1.60	364.23	1476.28	6.50	4.17	0.0016	0.16%
Gregório de Caldas	75.22	4087.12	1.33	485.00	721.83	3.56	2.19	0.0019	0.19%
Jardim Planalto	62.12	4534.62	1.62	321.11	1820.03	17.37	6.76	0.0058	0.58%
Jardim Uchôa	12.06	1913.83	1.55	150.36	293.32	2.48	2.27	0.0007	0.07%
Jiquiá	197.37	30674.80	6.16	130.71	7154.80	8.00	1.27	0.0009	0.09%
Jordão	1302.45	28034.70	1.93	1323.68	7380.57	20.65	1.00	0.0027	0.27%
Lagoa do Araçá	70.87	3685.84	1.23	550.69	298.68	2.29	1.96	0.0011	0.11%
Laranjeiras	86.18	5904.85	1.79	330.79	1040.40	3.04	1.13	0.0018	0.18%
Malária	327.23	11291.80	1.54	910.43	3463.10	3.82	1.60	0.0006	0.06%
Moxotó	492.60	14245.42	1.47	1285.01	3698.67	1.83	1.00	0.0002	0.02%
Pacheco	196.23	9850.95	1.37	1071.69	1059.83	11.65	9.88	0.0017	0.17%
Iraque	75.27	4115.02	1.34	479.32	1475.00	2.05	1.20	0.0006	0.06%
Chesf	50.46	4828.85	1.92	232.77	999.06	5.15	5.04	0.0001	0.01%
Roda de Fogo	25.70	2911.54	1.62	207.05	1115.24	7.07	5.39	0.0015	0.15%
Mussaíba	498.22	12029.51	1.52	999.00	1116.24	126.00	18.00	0.0968	9.68%
Jangadinha	535.14	11566.16	1.41	1164.99	1117.24	114.00	9.00	0.0940	9.40%

NOTA: Le- largura equivalente; CM- cota de montante; CJ- cota de jusante.

Fonte: O autor.

Tabela 6 c- Características das sub bacias do rio Tejipió para SWMM.

Sub bacias	Área	Coef. Manning - n		D.I.		D.P.		Infiltração (SCS)	
	Impermeável	ai	ap	(m)	(pol)	(m)	(pol)	TipoSolo	CN
Tejipió	44.03%	0.07	0.02	0.02	0.79	0.07	2.76	B	60
Remanescente alto	2.00%	0.07	0.13	0.05	1.97	0.07	2.76	B	60
Remanescente médio	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.07	2.76	B	85
Remanescente baixo	75.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.07	2.76	B	90
Leandro Barreto	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	85
ITEP	2.13%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.07	2.76	B	61
30 de Outubro	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	90
Areias	60.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	79
Av. Liberdade	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	85
Curado II	10.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	61
Guarulhos	80.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	90
Jardim São Paulo	40.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	79
Mangueira	75.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	92
Marinha	50.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	92
São Pedro	70.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	92
Sanbra	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	90
São Leopoldo	50.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	80
Zeppelin	10.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	80
Setúbal	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	83
Vila Borborema	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	90
Arq. Maria Lúcia	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	92

NOTA: ai- área impermeável; ap- área permeável; DI -depressão na área impermeável; DP- depressão na área permeável.

Fonte: O autor.

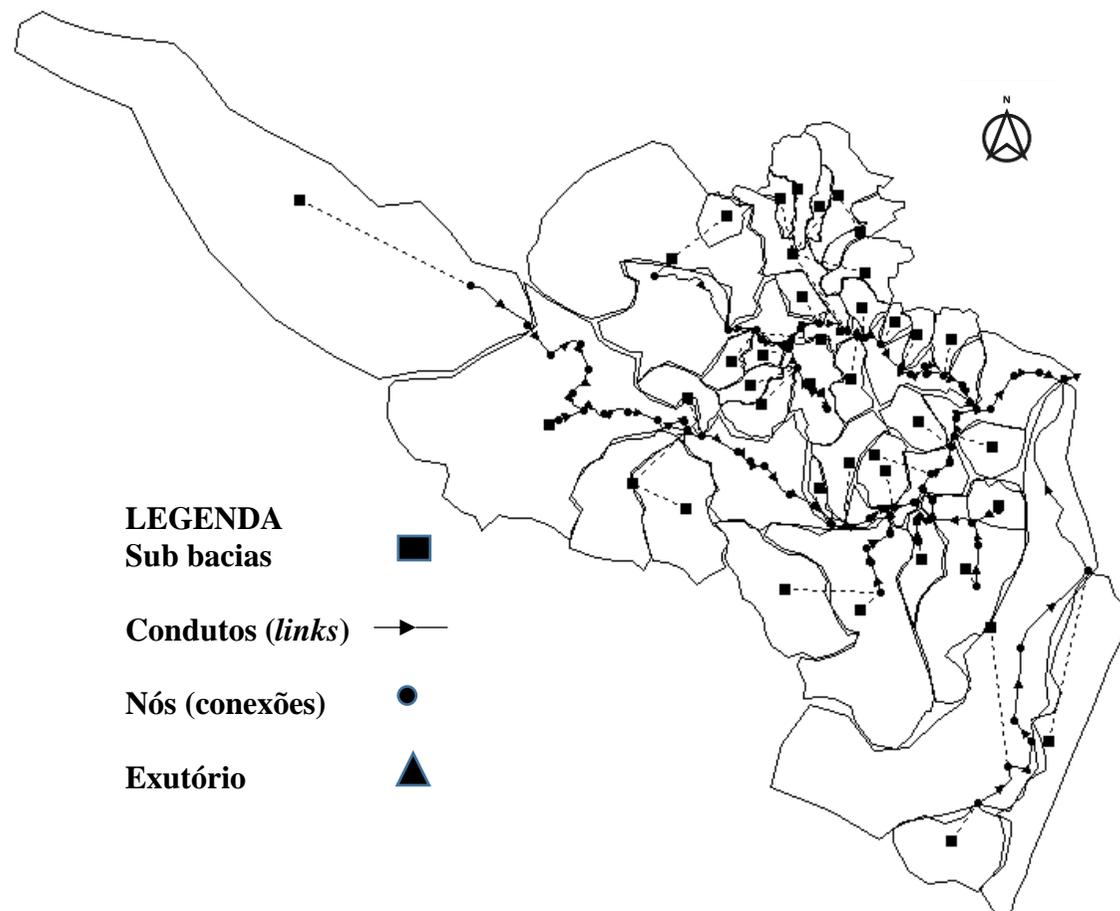
Tabela 6 d- Características das sub bacias do rio Tejipió para SWMM.

Sub bacias	Área	Coef. Manning - n		D.I.		D.P.		Infiltração (SCS)	
	Impermeável	ai	ap	(m)	(pol)	(m)	(pol)	TipoSolo	CN
Luxemburgo	79.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	80
Cabeça do Aeroporto	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	95
Ibura	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	85
Queira Deus	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	85
Torrões	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	90
21 DE Abril	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	95
Carlos de Brito	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	90
Carneiro de Mariz	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	90
Gregório de Caldas	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	92
Jardim Planalto	60.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	85
Jardim Uchôa	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	95
Jiquiá	87.10%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	88
Jordão	96.85%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	92
Lagoa do Araçá	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	90
Laranjeiras	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	85
Malária	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	94
Moxotó	51.56%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	80
Pacheco	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	85
Iraque	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	C	94
Chesf	60.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	93
Roda de Fogo	87.00%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	D	95
Mussaíba	71.52%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	60
Jangadinha	72.17%	0.07	0.1	0.02	0.79	0.05	1.97	B	85

NOTA: ai- área impermeável; ap- área permeável; DI -depressão na área impermeável; DP- depressão na área permeável.

Fonte: O autor.

Figura 21-Interface do SWMM com a bacia do Tejipió discretizada.



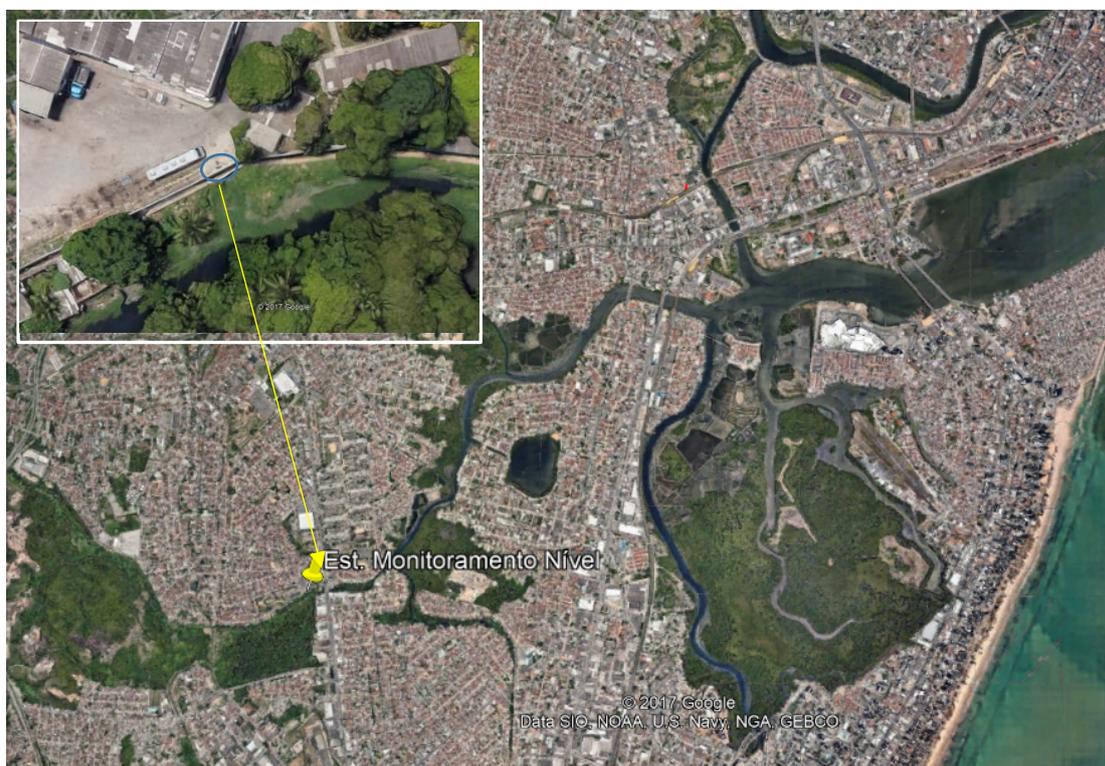
Fonte: Elaborado pelo autor no ambiente do SWMM.

Como colocado anteriormente, a modelagem com SWMM teve o objetivo de determinar as vazões por trechos de cada afluente cadastrado, e para isso procedeu-se inicialmente a calibração do modelo com dados de nível medido no período entre 2014 e 2015, utilizando o equipamento *levelogger* instalado no rio Tejipió no bairro do Caçote à montante da confluência com o riacho Moxotó. A calibração baseou-se no ajuste por tentativa do coeficiente de Manning, com o objetivo de equiparar o nível de água no nó próximo à estação de monitoramento de nível do rio com as medições do referido nível, em períodos de chuvas e de estiagem no ano de 2014.

### 3.2.1 Monitoramento de nível

Para acompanhamento do nível do rio Tejipió, com o objetivo de obter informações do comportamento do mesmo, em diferentes períodos (chuvoso e seco) bem como a influência das marés de sizígia nos níveis do rio, foi instalada uma estação de monitoramento na Diretoria de Limpeza Urbana (DLU), no bairro de Areias, próximo a calha do rio (Figura 22). Essa estação consistiu na construção de um poço de calado com 1,00 m de diâmetro e 3,00 m de profundidade (Figura 23 – a) poço em construção, (b) poço construído), com comunicação com o rio através de um canal construído entre a calha do rio Tejipió e o poço (Figura 24), onde foi instalado o sensor de nível.

Figura 22-Localização da estação de monitoramento de nível.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da base da Prefeitura do Recife (2013).

Figura 23-Poço da estação de monitoramento de nível.



Fonte: O autor.

Figura 24-Canal construído entre o rio Tejipió e o poço de monitoramento de nível.



Fonte: O autor.

Nesse ponto foi instalado o equipamento *Levellogger* júnior para registrar os níveis de água a cada 5 minutos e um *Barologger* para medição de pressão atmosférica no local. A instalação do monitoramento da pressão atmosférica objetivou auxiliar na correção de dados de nível a partir do processo de compensação previsto pelo fabricante, haja vista que o *Levellogger* registra a pressão total do ambiente (hidrostática e atmosférica), sendo necessário então a correção com a subtração da variação de pressão.

O *Levellogger* tem inserido um armazenador de dados (*datalogger*), sensor de temperatura, transdutor de pressão e uma bateria interna de 5 anos de duração. No anexo C, é apresentado quadro com mais detalhes técnicos desse equipamento.

O monitoramento teve início em abril de 2014 com a instalação dos equipamentos (sensor de nível e de pressão). Na Figura 25 pode-se verificar o momento da instalação, antes foram feitos serviços de cadastramento topográfico da estação, incluindo a transferência de cota para cantoneira de fixação do sensor de nível (cota IBGE 1,898m).

Figura 25-Instalação do sensor de nível em 4/04/2014.



Fonte: O autor.

Na Figura 26 verifica-se a caixa onde foram instalados os equipamentos e a cantoneira de fixação desses equipamentos. Essa caixa de inspeção tem a finalidade de acessar os sensores para descarregar os dados em períodos predeterminados e por onde são procedidas possíveis manutenções.

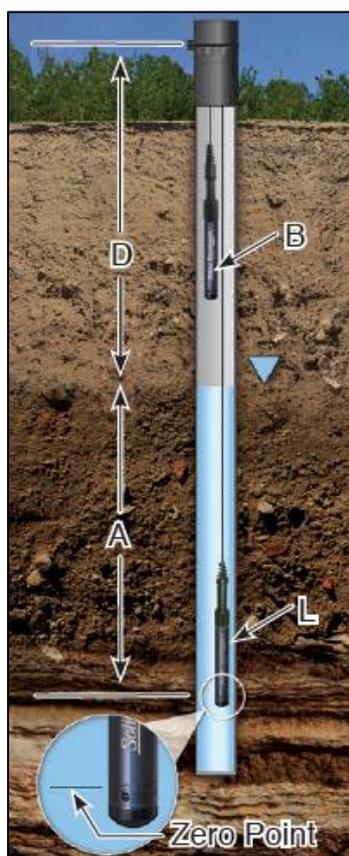
Figura 26-Caixa de inspeção da estação de monitoramento de nível.



Fonte: o autor.

Inicialmente foram coletados dados como, cota da cantoneira de fixação e a distância entre a essa cantoneira e o sensor de nível d'água no poço de calado (D+A), para determinação de cota (datum IBGE) do equipamento (Figura 27), onde a distância A é a fornecida na leitura do sensor e a D é função da leitura e a distância da cantoneira até o leitor do sensor.

Figura 27-Detalhe de posicionamento de sensores no poço de calado.

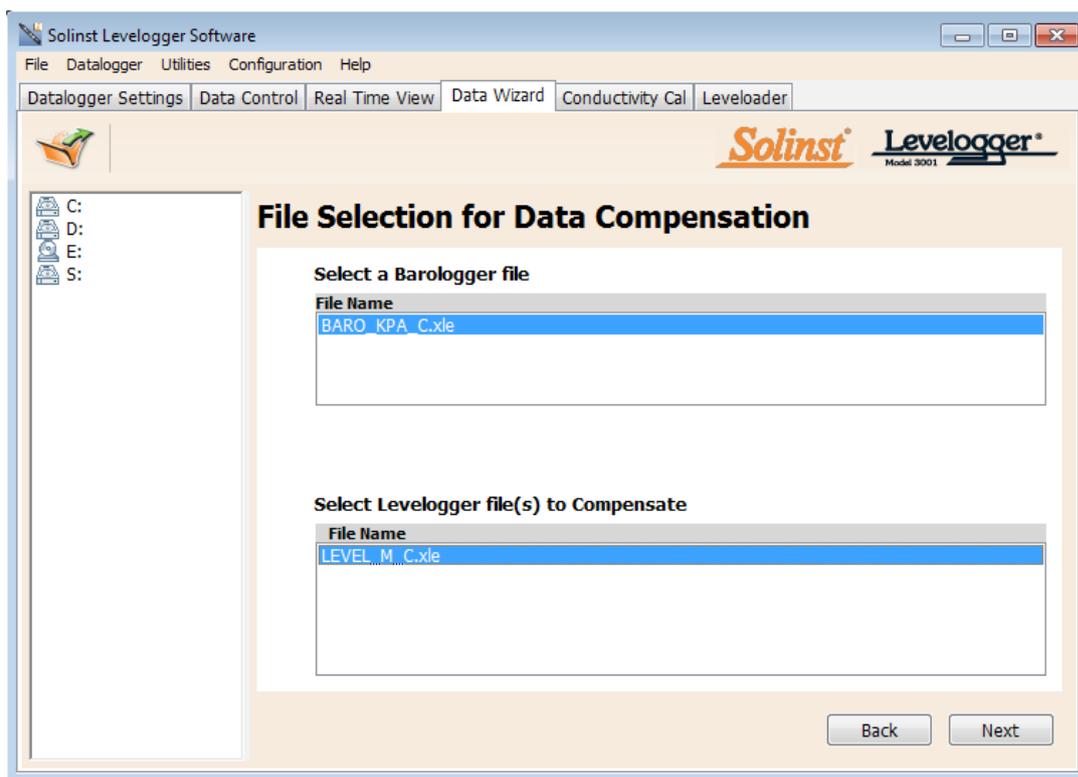


Fonte: Solinst Levelogger (2014).

Tais medidas também serão utilizadas na etapa de tratamento dos dados, no auxílio na compensação dos mesmos com dados de pressão obtidos do *barologger*. Tal procedimento é executado pelo *Solinst Levelogger software*, que além de auxiliar no descarregamento dos dados dos sensores instalados, gerência os dados brutos compensando-os em rotina específica da ferramenta.

A compensação com os dados do *barologger* resume-se em subtrair a leitura barométrica da leitura correspondente do *levelogger*, objetivando obter medições verdadeiras do nível da água. Na Figura 28 é apresentada a interface de tratamento dos dados para proceder a compensação básica, a partir de dados de pressão atmosférica registrados no *barologger*.

Figura 28-Interface de procedimento para compensação de dados.



Fonte: Solinst Levelogger (2014).

Com os arquivos de dados compensados procedeu-se a transformação desses dados para um datum altimétrico, sendo o do IBGE o adotado por ter uma rede extensa de marcos, inclusive nas proximidades da estação, e os dados geográficos disponibilizados para esse trabalho estão referenciados para este datum, incluindo a batimetria das seções dos rios e riachos da bacia.

De acordo com Alencar (1990 p.1), o IBGE deu início a medição de sua rede de nivelamento geodésico em 1945 a partir da conexão com marégrafos mantidos pela *Inter American Geodetic Survey* (IAGS), chegando em 1957 com 9 anos de observações maregráfica, o que possibilitou a adoção do nível médio do mar. Na Figura 29 é apresentada a relação entre as referências de maré (DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação) e o zero hidrográfico (DNPVN – Diretoria Nacional de Portos e Vias Navegáveis) com o datum do IBGE para o Porto do Recife.

Figura 29-Relação entre o datum do IBGE, o zero de marés (DHN) e o zero hidrográfico.

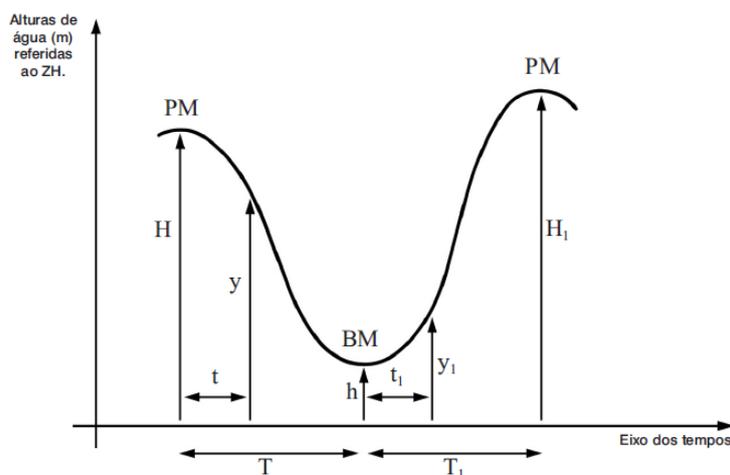


Fonte: Prefeitura do Recife (2000).

O monitoramento dos níveis de água do rio Tejiipió foi procedido ao longo de 2 anos de coleta de dados (2014 e 2015) sem interrupção da estação Caçote. Logo foram coletados dados de nível ocasionados pelas cheias ocasionadas por chuvas intensas, como também dados de nível ocasionados apenas por influência das marés de sizígia.

Com o objetivo de adequar o intervalo de tempo dos dados de marés aos dos dados registrados no sensor de nível instalado, e assumindo o comportamento das marés como sendo senoidal, foram calculadas as alturas das marés, a partir das equações (7) após uma preamar e (8) após uma baixamar, para um instante “t” qualquer (INSTITUTO HIDROGRÁFICO, 2018 p. 1-7), a Figura 30 mostra os parâmetros das Equações 9 e 10 para as situações propostas de preamar para baixamar e de baixamar para preamar.

Figura 30-Esquema detalhado para as Equações 9 e 10.



Fonte: Instituto Hidrográfico (2018).

a- Determinação de altura de maré em qualquer instante “t” após uma preamar;

$$y = \frac{H+h}{2} + \frac{H-h}{2} \times \cos \frac{\pi t}{T} \quad 9$$

b- Determinação de altura de maré em qualquer instante “t” após uma baixamar;

$$y = \frac{h+H_1}{2} + \frac{h-H_1}{2} \times \cos \frac{\pi t_1}{T_1} \quad 10$$

Onde:

y, é o dado de maré a estimar, em m;

H e H<sub>1</sub>, é a altura da maré máxima, em m;

h, é a altura da maré mínima, em m;

t, é o intervalo entre a maré a calcular e a máxima ou mínima anterior, em h;

T e T<sub>1</sub>, é o intervalo de tempo entre as marés alta e baixa ou uma baixa e uma alta, em h.

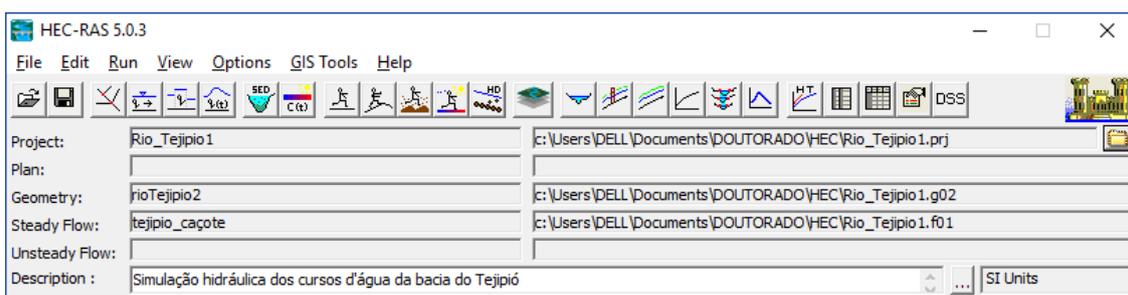
### 3.3 Modelos HEC-RAS e HEC-GeoRAS

O modelo HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's - River Analysis System*) é um *software* livre desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers*, que tem a finalidade de realizar cálculos hidráulicos, permitindo a determinação de fluxo unidimensional ou bidimensional de rios, canais e reservatórios, a partir da solução das equações de *Saint-Venant* completas, por aplicação do método de diferenças finitas, permitindo ainda simular o escoamento em superfície livre em regime permanente, variável ou misto, determinando os perfis de linha d'água. A base de cálculos das simulações ainda inclui a

equação de energia para o regime permanente com as perdas avaliadas a partir do coeficiente de atrito (BRUNNER e CEIWR-HEC, 2016).

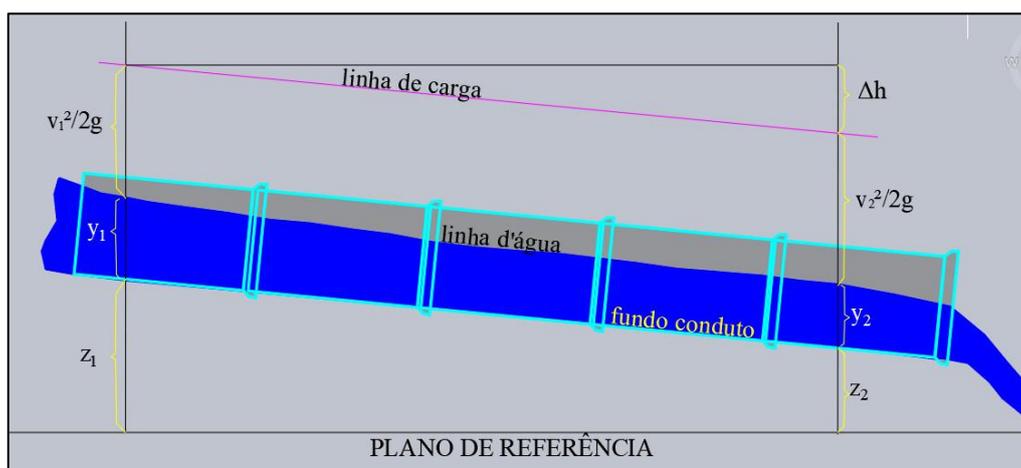
A topografia do canal é caracterizada pelo levantamento topográfico de uma série de seções transversais ao longo do rio em estudo. Na delimitação da área de inundação são calculadas as alturas de água nas seções. O modelo HEC-RAS permite facilmente a integração com um SIG através da extensão HEC-GeoRAS para ArcGis. Essa extensão permite, com mais facilidade, a vetorização dos cursos d'água e seções transversais a partir do MDT da bacia, proporcionando a exportação desses dados geométricos para o HEC-RAS onde são processadas as simulações. Esse *software* possui várias interfaces de trabalho, sendo a principal (Figura 31) a responsável pela inclusão de novos projetos e de acesso a interfaces auxiliares como a de edição de geometria e de dados de entrada como vazões de trechos de rios e canais e das condições de contornos, além de outras necessárias à simulação e à apresentação dos resultados.

Figura 31-Interface principal do HEC-RAS.



A base teórica considerada no modo de escoamento permanente é a Equação de Energia de Bernoulli (Equação 11) esquematizada na Figura 32. E para o regime transitório é adotado a formulação das equações de *Saint-Venant* (Equação 12).

Figura 32-Esquema de escoamento livre.



Fonte: O autor.

$$y_1 + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \Delta h \quad 11$$

Onde:

$y_1$  e  $y_2$  - profundidade líquida na seção, em m;

$z_1$  e  $z_2$  - cota do fundo do canal em relação a um *Datum*, em m;

$v_1$  e  $v_2$  - velocidade média na seção, em m/s;

$g$  - aceleração da gravidade, em m/s<sup>2</sup>;

$\Delta h$  - perda de carga no trecho, em m.

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1+(gn^2\Delta t)\frac{|V|}{R^{4/3}}} \left\{ Q_t + 2\bar{V} \left[ \frac{\Delta Ac}{\Delta t} \right]_t + \bar{V}^2 \left[ \frac{(Ac_2 \cdot Ac_1)}{L} \right] \Delta t - gAc \left[ \frac{(H_2 \cdot H_1)}{L} \right] \Delta t \right\} \quad 12$$

onde:

$g$  - aceleração de gravidade, em m/s<sup>2</sup>;

$n$  - coeficiente de rugosidade de Manning;

$R$  - raio hidráulico, em m;

$Ac$  - superfície da seção transversal do conduto, em m<sup>2</sup>;

$L$  - comprimento do conduto, em m;

$H$  - cota piezométrica, em m;

$\bar{V}$  - velocidade média, em m/s;

$\Delta t$  – intervalo de tempo, em h;

V – velocidade no conduto, em m/s;

Q - vazão no conduto, em m<sup>3</sup>/s.

Para proceder à simulação no HEC-RAS, primeiramente foi utilizado a ferramenta HEC-GeoRAS, no ambiente do ArcGIS, com a finalidade vetorizar a geometria da rede de rios e riachos da bacia do rio Tejipió bem como a vetorização dos bancos (delimitação do leito dos cursos d'água) e seções transversais, a partir do MDT (Modelo digital do Terreno) da bacia com o auxílio de um TIN (*Triangulated Irregular Network*), criado com base em curvas de nível da bacia do Tejipió. Essa etapa resume-se em desenhar todos cursos d'água de montante para jusante e suas respectivas margens, além da definição das respectivas junções. O próximo passo é o traçado da posição das seções de cada curso d'água.

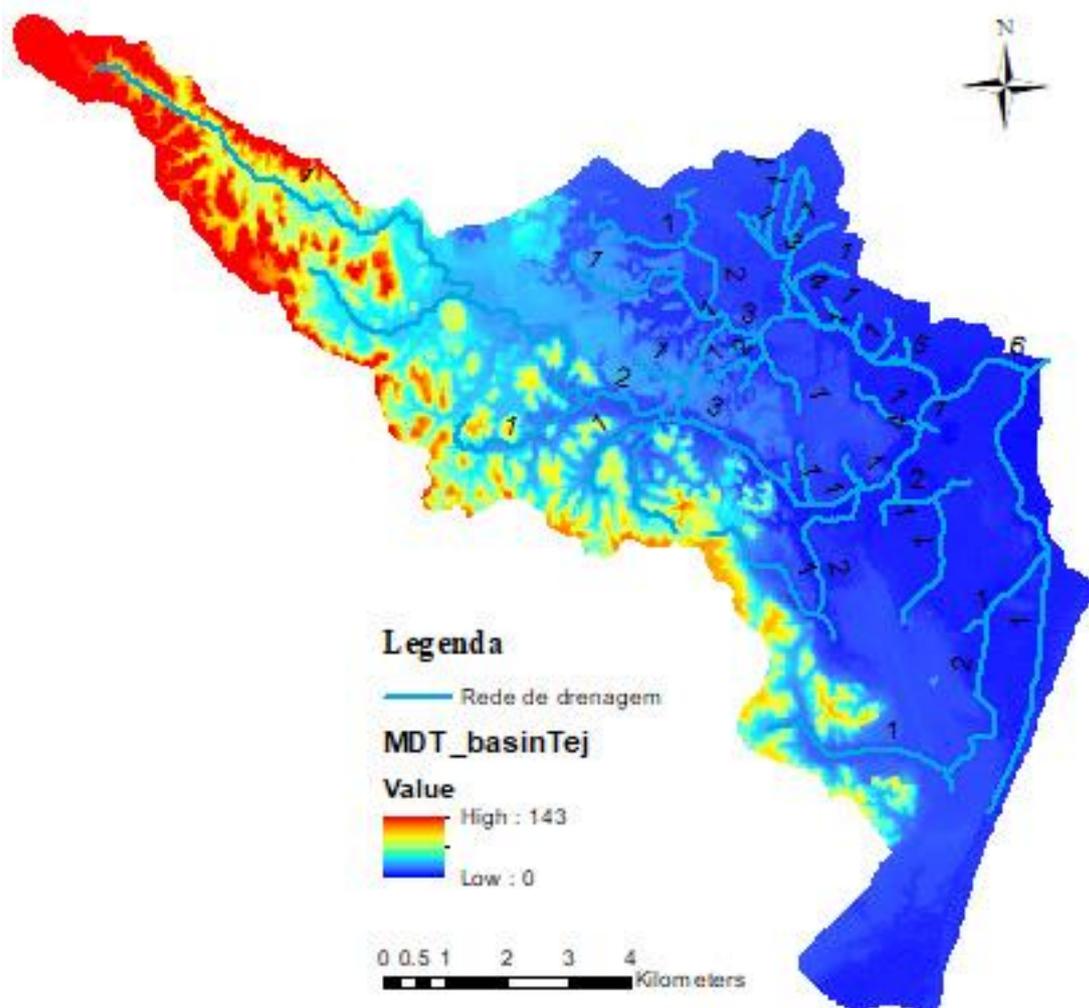
Na etapa seguinte é iniciado com a importação dos dados geométricos digitalizados no HEC-GeoRAS para o HEC-RAS, nessa etapa também foi procedida a verificação das geometrias das seções, além de informar o coeficiente de Manning para o canal e para as bordas. Na próxima etapa serão inseridos os dados de vazão de trechos dos rios e riachos obtidos na simulação com o SWMM, além de estabelecer as condições de regime de escoamento para cada trecho dos rios e riachos e a condição de contorno na jusante do sistema. Foi definido para os trechos de montante inicial de cada rio ou riacho o regime de profundidade normal, informando a declividade no respectivo trecho. Na jusante, foi definida como condição de contorno a altura máxima do nível d'água da bacia do Pina para os cenários de simulação. A etapa final, estabeleceu-se um plano de simulação onde foi adotado, para o regime de escoamento, o regime misto (crítico e subcrítico).

### **3.4 Coleta de dados geográficos**

Para desenvolvimento dos trabalhos nos modelos apresentados e simulações no ambiente SIG, mais precisamente no ArcGIS, foi necessária obtenção de dados referentes ao Modelo Digital do Terreno (MDT) e imagens aerofotogramétricas obtidas a partir de sensor a laser. Esses produtos foram adquiridos junto ao Programa Pernambuco 3D. Tais produtos, disponibilizado pelo Governo do Estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2016), consiste em levantamento de alturas de pontos (cada ponto representa 1,3 m<sup>2</sup> de área) a partir de sensor de perfilhamento a laser resultando num MDT de melhor precisão do que os obtidos convencionalmente. Esse trabalho alcançou todo território de

Pernambuco. Na Figura 33 é apresentado o MDT para bacia do rio Tejipió e respectiva rede de macrodrenagem lançada utilizando o HEC-GeoRAS.

Figura 33-MDT da bacia do rio Tejipió e rede de drenagem.



Fonte: Elaborado pelo autor na base MDT (PERNAMBUCO, 2016).

Para a região da bacia do Tejipió na cidade do Recife, foram utilizadas imagens aerofotogramétricas da cidade, obtida em 2013 pela Prefeitura do Recife a partir de vôos contratados por esse órgão. A utilização dessas imagens objetivou principalmente, auxiliar na digitalização da geometria da bacia. As seções transversais dos rios e riachos da referida bacia, obtidas a partir de levantamentos topográficos no âmbito do Plano Diretor de Drenagem de Águas Pluviais do Recife, serviram principalmente no ajuste das seções transversais obtidas a partir da vetorização no HEC-GeoRAS, uma vez que nesse procedimento as informações de cotas dos leitos dos rios e riachos vetorizados não corresponderam com as cotas de seções obtidas pela batimetria, principalmente na região de planície.

Esses dados foram importantes para alimentação dos modelos SWMM e HEC-RAS, no que diz respeito a seções hídricas dos referidos corpos d'água cadastrados. Já as imagens de 2013, também apoiaram na classificação do terreno da bacia no *ArcGis*, na cidade do Recife, onde há maior diversidade de classes, cuja características também é constatada na região da bacia no município de Jaboatão dos Guararapes.

Com relação à delimitação da bacia hidrográfica do rio Tejipió, optou-se pela obtida pela FIDEM, durante os trabalhos de desenvolvimento do Plano Diretor de Macrodrenagem da RMR no início da década de 1980. Essa delimitação foi obtida a partir das curvas de níveis com intervalos em geral de 1 m, e imagens aerofotogramétricas obtidas em 1974 a partir de vôos contratados pelo Governo do Estado de Pernambuco na ocasião. Essas imagens foram processadas em escala de 1:2000, e a partir delas foram desenvolvidos diversos trabalhos de mapeamento das cidades que compõe a região, inclusive o mapeamento UNIBASE. Na Figura 34 verifica-se a delimitação da bacia, obtida junto a biblioteca da CONDEPE/FIDEM, que é utilizada até os dias atuais no desenvolvimento de trabalhos e projetos de órgãos públicos e privados, inclusive foi a adotada nos estudos desenvolvidos para o PDDR pela consultora contratada.

Figura 34-Delimitação da bacia do rio Tejipió.



Fonte: CONDEPE/FIDEM (1980).

Nesse trabalho foi utilizado também a ferramenta *Arc Hydro* para delimitação da bacia do Tejipió e determinação de rios e afluentes, com o objetivo de avaliar e comparar com a bacia apresentada pela FIDEM em 1980. O *Arc Hydro* é uma ferramenta desenvolvida

pela Universidade do Texas em conjunto com empresas, inclusive a ESRI, desenvolvedora do programa *ArcGis* (ESRI, 2011).

Essa ferramenta opera dentro do ambiente *ArcGis*, como uma expansão, com a função principal de delimitar e caracterizar as bacias hidrográficas em formatos raster ou vetorial. Para delimitação e definição de rede de drenagem da bacia do Tejipió a partir do *Arc Hydro*, foi utilizado o MDE obtido a partir das imagens aerofotogramétricas produzidas no projeto Pernambuco 3D, gerido pelo Governo de Pernambuco.

O procedimento no *Arc Hydro* baseia-se inicialmente na correção do MDE para prepará-lo para os passos seguintes na obtenção de raster referentes direção de fluxo, bacias de acumulação, e vetorização das redes de drenagem e sub bacias, além de outras fases de processamento do *Arc Hydro* até a concepção da bacia como a apresentada na Figura 35, onde constata-se uma bacia que apresenta-se com rede de drenagem dispersa, ou seja, sem conexões em alguns trechos.

Figura 35-Delimitação da bacia do rio Tejipió no Arc Hydro.



Fonte: O autor.

### 3.5 Geração de Manchas de Inundações

Para obtenção das manchas de inundações foi utilizado a extensão HEC-GeoRAS no *Arc GIS*, após toda simulação procedida no HEC-RAS para os cenários propostos como objetivo da tese:

- 1- Chuvas intensas ocorridas em 2015 a partir das vazões obtidas na simulação com o SWMM. Tais vazões são obtidas para situações com a influência das marés de sizígia e sem a influência de tais marés. Esses dados fazem parte das condições de contorno do exutório da bacia;
- 2- Aumento do nível médio dos mares, que no caso da cidade do Recife, optou-se por utilização de duas simulações:
  - a. Baseada no que prevê o IPCC para o cenário RCP 8,5 (Caminho crescente da força radioativa levando a 8,5 w/m<sup>2</sup> em 2100), que estabelece um aumento de 82 cm para o nível do mar;
  - b. Baseada no que prevê o IPCC para o cenário RCP 8,5 (Caminho crescente da força radioativa levando a 8,5 w/m<sup>2</sup> em 2065), que estabelece um aumento de 38 cm para o nível do mar;

Alguns artifícios são sugeridos em trabalhos dessa natureza, para obtenção de resultados satisfatórios, uma vez que em diversos pontos de inundações ou alagamentos na bacia, o aporte de água transbordada dos rios e canais se dá pela rede de microdrenagem. E no caso do modelo HEC-RAS estender seções transversais de rios e riachos, em trechos em que a rede de tubulação de águas pluviais transfere águas desses corpos d'água para logradouros próximos, é um artifício usado no estudo de caso. Exemplo desse tipos de ocorrências são os pontos alagamentos como o da av. Dois Rios no bairro do Ibura, e da av. Recife e da Vila Arquiteta Maria Lúcia no bairro do IPSEP; que tem suas redes de micro drenagem ligadas diretamente aos rios Moxotó e Tejipió, e os alagamentos e inundações são causados pelo retorno das águas dos respectivos rios a partir das tubulações de micro drenagem, durante a ocorrência de chuvas intensas ou mesmo apenas com a ocorrência das marés com cotas superiores a 2,00 m.

## 4 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados resultados que, primeiramente visaram a coleta de dados de campo, em seguida a definição da bacia de estudo e rede de drenagem da bacia, cujo objetivo foi o de auxiliar na alimentação de dados de entrada das simulações em diversas etapas como a de calibração e validação, podendo resumi-las em:

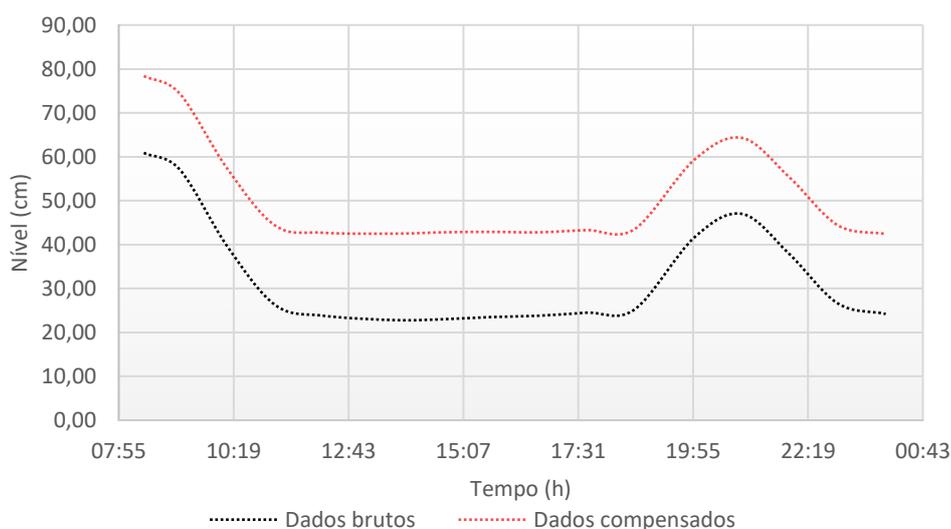
- a- Monitoramento dos níveis do rio Tejipió num local próximo da calha no bairro de Areias, dentro da Diretoria de Limpeza Urbana (DLU);
- b- Definição da delimitação da bacia hidrográfica do rio Tejipió.
- c- Definir o fluxo de rios e riachos cadastrados pelo PDDR;

### 4.1 Monitoramento do nível do rio Tejipió

Como já detalhado no Capítulo 3, foi procedido o monitoramento do rio Tejipió no período de maio de 2014 a junho de 2015. Esse monitoramento baseou-se na obtenção de dados de nível da água do rio a cada 5 minutos, além de dados de temperatura do ar e de água e dados de pressão atmosférica. Para instalação da estação de monitoramento foram procedidas obras civis já descritas no Capítulo 3,

Na Figura 36 pode-se verificar o comportamento entre os dados de nível observados brutos e compensados para o dia 19 de maio de 2014, cuja diferença para a amostragem apresentada ficou entre 17,30 cm e 19,80 cm.

Figura 36-Comparação entre dados observados brutos e dados compensados da estação de monitoramento de nível do rio Tejipió.



Fonte: O autor.

No Apêndice F são apresentados os dados do sensor de nível medidos no período de 01 a 30 de junho de 2015. Esses dados já apresentam tratamento de compensação com os dados registrados pelo barômetro no mesmo período. Além dos dados de nível foram acrescentadas colunas com dados de pressão medidos, e com dados de nível convertidos em cotas com referência do datum do IBGE, de acordo com transporte de cota elaborado por equipe topográfica.

O comportamento entre a ocorrência da maré no Porto do Recife e o registro dos níveis do rio Tejipió na estação de monitoramento no Caçote, é apresentado na Figura 37 para o período de 22 a 26 de junho de 2014. Na Figura 37 pode-se ainda observar a diferença entre os tempos de ocorrências de picos da curva das marés registradas no Porto do Recife (laranja) e a curva de registro do nível do rio Tejipió na Estação Caçote. Essa diferença tende a ser menor com a ocorrência de chuvas intensas, e no pico da precipitação a curva do nível do rio sofre interferência dos escoamentos ocasionados por esse evento. Na Tabela 7 é mostrado os dados de altura máxima do nível do rio Tejipió no Caçote e a previsão de marés de sizígia no Porto do Recife, entre os dias 20 e 26 de junho de 2014. A coluna referente a cotas do nível de água, foi obtida a partir da cota da cantoneira de suporte do sensor de nível em relação ao IBGE (1,898 m), a altura da cantoneira até o sensor (2,605 m) e a leitura do sensor em metros (dado compensado). A Equação 13 apresenta o procedimento para obtenção da cota do nível de água com relação ao datum do IBGE.

$$C_{NA} = C_{CT} - (H - L) \quad 13$$

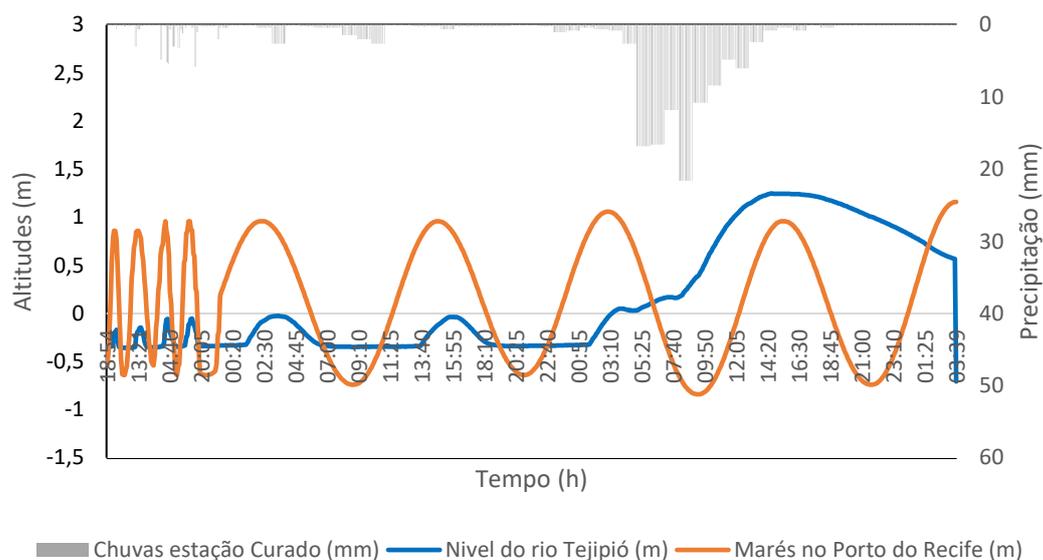
Sendo:  $C_{NA}$  – Cota do nível de água (IBGE), em “m”;

$C_{CT}$  – Cota da cantoneira (IBGE), em “m”;

H – Altura entre a cantoneira e o zero do sensor, em “m”;

L – Leitura do nível de água do sensor, em “m”.

Figura 37-Comportamento do nível do rio Tejipió na Estação Caçote de 22 a 26 de junho de 2014.



Fonte: O autor.

Na Tabela 7 pode-se verificar na coluna de intervalos entre as ocorrências dos eventos que, quando há baixa ocorrência de chuvas, essa diferença no tempo de pico do nível do rio na estação de monitoramento no Caçote, em relação ao pico de maré alta no Porto do Recife, tende a se estabilizar entre 46 minutos e 55 minutos. Já durante a ocorrência de chuvas intensas, as diferenças nesses tempos de picos tendem a diminuir e com a intensificação das chuvas a análise fica prejudicada, principalmente nos eventos de cheias do rio Tejipió.

Tabela 7- Comparação entre ocorrência de marés máximas e nível máximo do rio Tejipió.

Data	Nível do Rio Tejipió			Marés Máximas			Intervalo das Ocorrências (h:min)
	Altura Max.(m)	Cota-IBGE(m)	Ocorrência (h:min)	DHN (m)	IBGE (m)	Ocorrência (h:min)	
20/06/14	0.56	-0.15	10:45	2.00	0.86	10:13	00:32
20/06/14	0.46	-0.24	23:20	1.90	0.76	22:54	00:26
21/06/14	0.52	-0.19	12:05	2.00	0.86	11:24	00:41
22/06/14	0.48	-0.23	00:40	1.90	0.76	00:00	00:40
22/06/14	0.51	-0.20	13:05	2.00	0.86	12:26	00:39
23/06/14	0.54	-0.17	01:55	2.00	0.86	00:53	01:02
23/06/14	0.56	-0.15	14:20	2.00	0.86	13:21	00:59
24/06/14	0.65	-0.06	02:40	2.10	0.96	01:39	01:01
24/06/14	0.65	-0.10	15:05	2.10	0.96	14:06	00:59
25/06/14	0.68	-0.05	03:20	2.10	0.96	02:21	00:59
25/06/14	0.67	-0.04	15:45	2.10	0.96	14:50	00:55
26/06/14	0.76	0.05	03:55	2.20	1.06	03:00	00:55
26/06/14	1.95	1.25	15:35	2.10	0.96	15:26	00:09

Fonte: O autor.

#### 4.2 Delimitação da bacia do Tejipió

No capítulo anterior foi apresentada a bacia hidráulica do rio Tejipió delimitada na década de 1980, e utilizada nos trabalhos e simulações dessa tese. Nessa etapa procurou-se proceder estudo de delimitação da bacia utilizando o *Arc Hydro*, objetivando uma análise comparativa e ajudar na decisão pela escolha da delimitação. O *Arc Hydro* é um aplicativo que visa facilitar a geração de bacias no ambiente do *ArcGis*, como já colocado no capítulo anterior na seção 3.4, a partir de um Modelo Digital de Elevação.

Nesse estudo comparativo pôde-se fazer algumas constatações durante o processo no *Arc Hydro*. Essa ferramenta gera uma grade de fluxo para uma grade de acumulação de fluxo, para essa grade é recomendado um limite de números de células referente a 1% do valor máximo de acúmulo de fluxo (*Environmental Systems Research Institute - ESRI, 2011 p. 36 e 37*). Dentro desse limite procurou-se aplicar uma variação nos valores do limiar de número de células de definição do fluxo, objetivando alcançar resultados satisfatórios em comparação com a delimitação e rede já existente. Neste contexto a melhor delimitação apresentou as seguintes características:

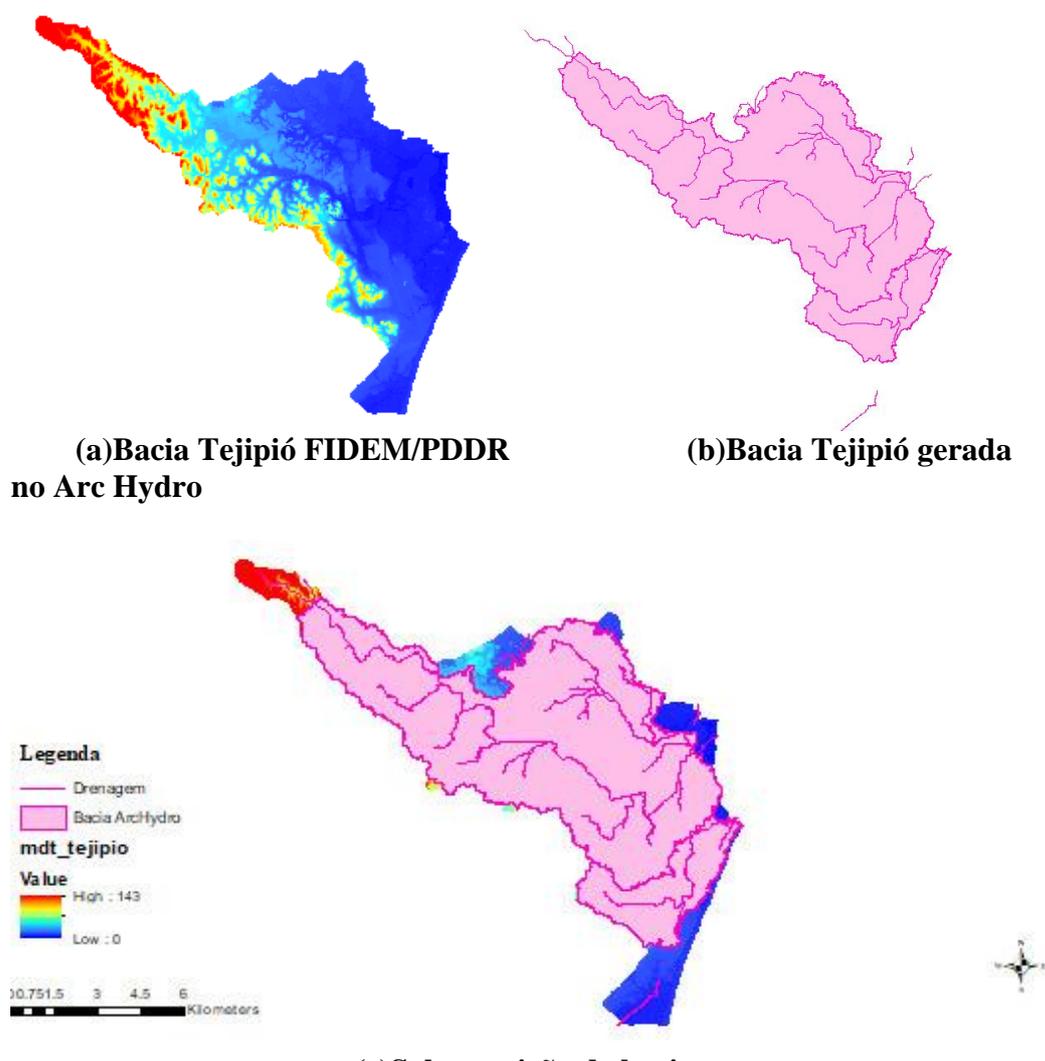
- a- Geração de delimitações em 3 bacias independentes (Figura 38), resultando numa área total menor que a delimitação da FIDEM/PDDR;
- b- Rede de drenagem compatível com a realidade, porém dividida em 3 bacias independentes desconectadas;

Esse fato deve-se provavelmente às informações contidas no MDE para ambientes densamente urbanizados, uma vez que a urbanização verticalizada deve proporcionar informações falsas de altitudes que deve estar ligada também ao posicionamento da obtenção das imagens aerofotogramétricas.

Na Figura 38 observa-se a comparação entre as duas delimitações, onde pode-se verificar alguns setores da bacia onde não foram contemplados na delimitação do *Arc Hydro* (b), em relação com a delimitação concebida pelo CONDEPE/FIDEM (1980) “a”. Podendo-se constatar em “c” (a sobreposição de “a” e “b”) regiões não contempladas como: a região de nascente do próprio rio Tejipió, parte da região de nascente do rio Jiquiá e do riacho Curado, a região de nascente do riacho do Setúbal e a região na foz do rio Tejipió. Essa análise favoreceu na definição da escolha da bacia processada pelo CONDEPE/FIDEM (1980).

Com relação a rede de drenagem da bacia do rio Tejipió, essa foi vetorizada a partir do HEC-GeoRAS a partir do MDT, e no caso das seções transversais, foi também utilizada as informações do Cadastro de Macrodrenagem, um dos objetivos do Plano Diretor de Drenagem do Recife – PDDR- (RECIFE, 2016), elaborado a partir de levantamentos topográficos georreferenciados. No Apêndice “Seções Transversais da Rede de Drenagem”, é apresentado as seções obtidas a partir da digitalização no HEC-GeoRAS, como as seções objeto do PDDR, que auxiliou na definição das cotas de fundo de rios e riachos da bacia do Tejipió.

Figura 38-Comparação entre delimitações da bacia do rio Tejipló.



Fonte: o autor.

### 4.3 Definição de vazões de rios e riachos no SWMM

Nessa primeira fase dos estudos, foram processadas as simulações hidráulica e hidrológica da bacia no modelo SWMM. O objetivo principal foi para obter informações sobre as vazões de rios e riachos da bacia, bem como de trechos desses corpos d'água.

#### 4.3.1 Propriedades dos objetos de drenagem

No ambiente do SWMM a bacia foi discretizada em 44 sub bacias referentes aos afluentes cadastradas e vetorizadas, conforme apresentadas na Tabela 5 (a, b, c e d), onde são apresentadas as propriedades de entrada dos objetos concebidos para o modelo SWMM. No Quadro 11 são relacionadas características (propriedades) com os elementos do

modelo proposto, enfatizando a necessidade da informação para os mesmos (sub bacias, conexões ou nós, condutos ou *links* e o exutório).

Quadro 11- Resumo de informações das características das sub bacias.

Características	Elementos do modelo concebido no SWMM			
	Sub bacia	Nós ou conexões	Condutos ou <i>links</i>	Exutório
Identificação	Sim	Sim	Sim	Sim
Pluviômetro	Sim	-	-	-
Identificação de jusante da sub bacia	Sim	-	-	-
Área da sub bacia	Sim	-	-	-
Largura média	Sim	-	-	-
Declividade (%)	Sim	-	-	-
Taxa de impermeável	Sim	-	-	-
Rugosidade-área impermeável	Sim	-	-	-
Rugosidade-área permeável	Sim	-	-	-
Taxa de depressão na área permeável	Sim	-	-	-
Taxa de depressão na área impermeável	Sim	-	-	-
Modelo de infiltração	Sim	-	-	-
Cota de radier (fundo)	-	Sim	-	Sim
Profundidade máxima	-	Sim	-	-
Forma da seção do conduto	-	-	Sim	-
Dados da seção do conduto	-	-	Sim	-
Comprimento do conduto	-	-	Sim	-
Rugosidade do conduto	-	-	Sim	-
Fluxo inicial	-	-	Sim	-
Tipo de condições de jusante	-	-	-	Sim
Curva ou série das condições de jusante	-	-	-	Sim

Fonte: O autor.

As junções ou nós, são objetos cuja função principal é a representação de confluências, além de conexões de sub bacias e trechos de tubulações, rios e canais. O principal dado de entrada é a cota de fundo, podendo ainda ser informada opcionalmente a área alagável acima da junção. Nesse estudo foram consideradas 84 junções incluindo o exutório principal, os dados de cota de fundo foram obtidos a partir das cotas de fundos das seções coincidentes com as junções.

Nessa simulação foram implantados 195 condutos que totalizaram cerca de 63 km e as informações referentes a seção e rugosidade é que caracteriza o conduto. Nesse estudo

foi adotado canais abertos com seção irregular, o que representa a maioria dos rios e riachos da bacia, mesmo para riachos que apresentam revestimento em concreto ou outro material semelhante, diferenciando-os na informação do coeficiente de Manning para margens e fundos.

As seções informadas foram as obtidas por vetorização no HEC-GeoRAS com algumas correções utilizando as cotas das seções levantadas topograficamente a cada 50 m. Tais correções foram utilizadas principalmente na região de planície da bacia (região limitada entre as altitudes de 0 a 10 m). A opção pelas seções vetorizadas no HEC-GeoRAS, deve-se principalmente ao fato de poder estendê-las visando abranger maior área propícia a inundações para os cenários proposto. Na Tabela 8, são apresentadas propriedades de entrada no SWMM referente a seções de alguns trechos de riachos. No modelo foram implantados 195 condutos. Na referida tabela são destacadas informações como: seus limites em relação aos nós (trechos); as extensões dos trechos (L); a declividade (S) e o coeficiente de atrito (coeficiente de Manning) de cada trecho. Essas informações tiveram como base o levantamento cadastral de macrodrenagem do Recife e avaliação das margens e leitos dos rios e riachos no local.

Tabela 8- Informações de entrada dos condutos (links) no SWMM.

Identificação	Trechos		Tipo	Comprimento - L (m)	Declividade -S (%)	Coeficiente de Manning - n
	Início	Final				
CBrito5	CBrito1	CBrito2	Canal	189.40	0.49	0.025
CBrito2	CBrito3	CBrito4	Canal	79.80	-4.37	0.025
CMariz9	CMariz1	CMariz2	Canal	484.30	-0.21	0.050
CMariz11	CMariz2	CMariz3	Canal	187.70	0.58	0.020
RFogo9	Rfogo1	Rfogo2	Canal	354.20	0.27	0.070
Torrões11	Tor1	Tor2	Canal	91.10	0.02	0.070
Torrões16	Tor2	Tor3	Canal	283.30	0.11	0.070
Torrões19	Tor3	Tor4	Canal	282.20	0.07	0.070
Torrões23	Tor4	Tor5	Canal	301.50	0.07	0.070
RFogo19	Rfogo2	Tor5	Canal	130.90	0.43	0.070
Torrões26	Tor5	Tor6	Canal	156.40	0.03	0.070
Torrões29	Tor6	Tor7	Canal	221.30	0.10	0.070
Chesf1	Ch1	Ch2	Canal	371.20	-0.30	0.100
Chesf4	Ch2	Ch3	Canal	224.10	0.66	0.100
Chesf5	Ch3	Tor7	Canal	37.20	1.67	0.100

Fonte: O autor.

Com relação a rugosidades dos leitos e margens dos rios e riachos, procurou-se estimá-las com base em estudos elaborados em 22 rios dos Estados Unidos por Barnes Jr (1987

p. 7) para a estimativa de valores de rugosidade. Nesse estudo o autor utilizou a Equação de Manning na determinação dos referidos coeficientes a partir da obtenção de dados de medição de velocidades e determinação de seções em trechos dos rios estudados, obtendo-se valores entre 0,024 a 0,079 para o coeficiente de Manning. Vale salientar, como já colocado anteriormente, que a bacia do rio Tejipió se caracteriza por apresentar rios e riachos, em sua maioria, em leito natural, mesmo os que apresentam revestimentos artificiais (concreto ou alvenaria revestida), eles se apresentam bastante assoreados e com vegetação em seus leitos, como é o caso do rio Jordão e riacho do Setúbal por exemplo. E foram ainda constatadas ocupações irregulares (moradias) das margens na maior parte dos trechos dos cursos d'águas da bacia, o que proporciona retenções dos escoamentos e conseqüentemente maiores coeficientes de Manning. Tais constatações possibilitaram estimar esse coeficiente entre 0,02 a 0,07 nos trechos apenas com vegetação nas margens e leitos sem intervenções, e 0,05 e 0,1 nos trechos urbanizados com ocupações das margens e leitos.

Vale aqui ressaltar que na fase de caracterização dos sistemas de drenagem de águas pluviais da bacia do Tejipió, foi optado apenas pela rede de macrodrenagem, uma vez que há poucas informações sobre os sistemas de microdrenagem. Com relação ao sistema de reservação com elevatória implantado no principal ponto de alagamento da bacia, foi também desconsiderado por apresentar problemas com relação à eficiência, haja vista que no local os alagamentos ainda persistem, mesmos os ocasionados apenas pela ocorrência das marés com altitudes superiores a 2,30 m.

#### 4.3.2 Calibração e Validação

Com o objetivo de calibrar o modelo proposto no SWMM foi utilizado eventos de precipitação do dia 22 de maio de 2014 e do dia 29 de junho de 2015 (Tabela 4), além dos dados de marés dos referidos dias. Na Tabela 9 são apresentados os dados de eventos de marés utilizados nas simulações dos dias 30/05/2015, 28/06/2015 e 29/06/2015 para as condições de contorno do exutório do sistema na bacia do Pina. Na Tabela 10, por sua vez, são apresentados os dados referentes aos eventos de precipitação e marés do dia 22 de maio de 2014. Vale salientar que nessa Tabela são apresentados dados com intervalo de 1 hora exceto os previstos pelo DHN para as máximas e mínimas do dia. Para os dados calculados, procurou-se manter o instante da ocorrência em consonância com o instante de ocorrência dos dados observados no sensor de nível de água do rio Tejipió.

Tabela 9- Evento de marés dos dias 30/05/2015, 28/06/2015 e 29/06/2015.

Dados de 30/05/2015			Dados de 28/06/2015			Dados de 29/06/2015		
Ocorrência	Marés (m)		Ocorrência	Marés (m)		Ocorrência	Marés (m)	
(h:min)	Prevista	Cota (IBGE)	(h:min)	Prevista	Cota (IBGE)	(h:min)	Prevista	Cota (IBGE)
00:00	1.73	0.586	00:00	1.90	0.759	00:00	1.99	0.699
00:58	1.96	0.822	00:58	1.82	0.682	00:58	2.06	0.916
01:33	2.00	0.860	01:38	1.81	0.668	01:38	2.10	0.960
01:58	1.99	0.845	01:58	1.61	0.466	01:58	2.09	0.949
02:58	1.83	0.694	02:58	1.58	0.443	02:58	1.93	0.791
03:58	1.55	0.414	03:58	1.30	0.164	03:58	1.62	0.481
04:58	1.21	0.073	04:58	1.28	0.137	04:58	1.23	0.094
05:58	0.89	-0.247	05:58	0.99	-0.151	05:58	0.86	-0.278
06:58	0.67	-0.469	06:58	0.96	-0.175	06:58	0.60	-0.544
07:58	0.60	-0.539	07:58	0.74	-0.403	07:58	0.50	-0.640
08:58	0.63	-0.514	08:58	0.72	-0.419	08:58	0.61	-0.535
09:58	1.00	-0.136	09:58	0.60	-0.535	09:58	0.89	-0.246
10:58	1.38	0.243	10:58	0.60	-0.540	10:58	1.29	0.149
11:58	1.75	0.613	11:58	0.65	-0.487	11:58	1.69	0.548
12:58	2.02	0.875	12:58	0.69	-0.447	12:58	1.98	0.844
13:58	2.10	0.959	13:58	0.87	-0.268	13:58	2.10	0.960
14:58	1.98	0.844	14:02	0.95	-0.192	14:02	2.10	0.960
15:58	1.70	0.560	14:58	1.21	0.066	14:58	2.01	0.871
16:58	1.32	0.177	15:58	1.30	0.157	15:58	1.75	0.606
17:58	0.93	-0.211	16:58	1.56	0.424	16:58	1.37	0.231
18:58	0.63	-0.506	17:58	1.65	0.506	17:58	0.98	-0.162
19:58	0.50	-0.637	18:58	1.85	0.712	18:58	0.67	-0.475
20:08	0.50	-0.640	20:17	1.90	0.763	20:17	0.50	-0.640
20:58	0.67	-0.470	20:58	1.99	0.853	20:58	0.55	-0.588
21:58	0.92	-0.220	21:58	2.00	0.860	21:58	0.79	-0.350
22:58	1.28	0.145	22:58	1.95	0.814	22:58	1.17	0.027
23:58	1.67	0.527	23:58	1.92	0.778	23:58	1.59	0.448

Fonte: O autor.

Tabela 10- Evento de registro de nível observados e marés dos dias 22/05/2014.

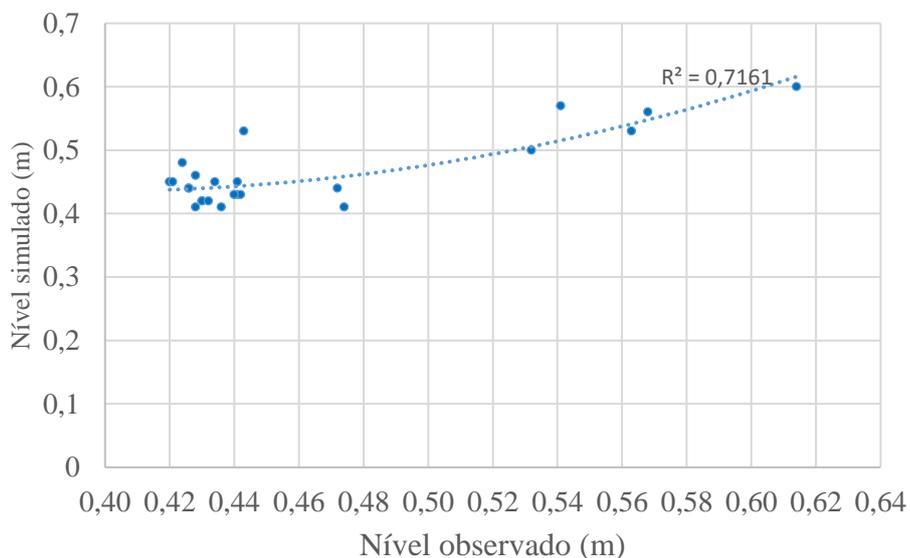
Ocorrência (h:min)	Nível observado (m)		Marés previstas (m)	
	Leitura	Cota IBGE	Cota DHN	Cota IBGE
00:16	0.47	-0.23	1.63	0.49
01:16	0.44	-0.27	1.35	0.21
02:16	0.43	-0.28	1.06	-0.08
03:16	0.43	-0.28	0.83	-0.31
04:36	0.43	-0.28	0.70	-0.44
05:36	0.43	-0.28	0.78	-0.36
06:36	0.44	-0.27	1.02	-0.12
07:36	0.44	-0.27	1.34	0.20
08:36	0.44	-0.27	1.66	0.52
09:36	0.47	-0.24	1.90	0.76
10:36	0.56	-0.14	2.00	0.86
10:41	0.57	-0.14	2.00	0.86
11:41	0.61	-0.09	1.92	0.78
12:41	0.54	-0.17	1.71	0.57
13:41	0.44	-0.26	1.41	0.27
14:41	0.42	-0.28	1.08	-0.06
15:41	0.43	-0.28	0.81	-0.33
17:21	0.42	-0.29	0.60	-0.54
18:21	0.42	-0.29	0.68	-0.46
19:21	0.43	-0.27	0.92	-0.22
20:21	0.43	-0.28	1.24	0.10
21:21	0.43	-0.28	1.56	0.42
22:21	0.44	-0.27	1.80	0.66
23:26	0.53	-0.18	1.90	0.76

Fonte: O autor.

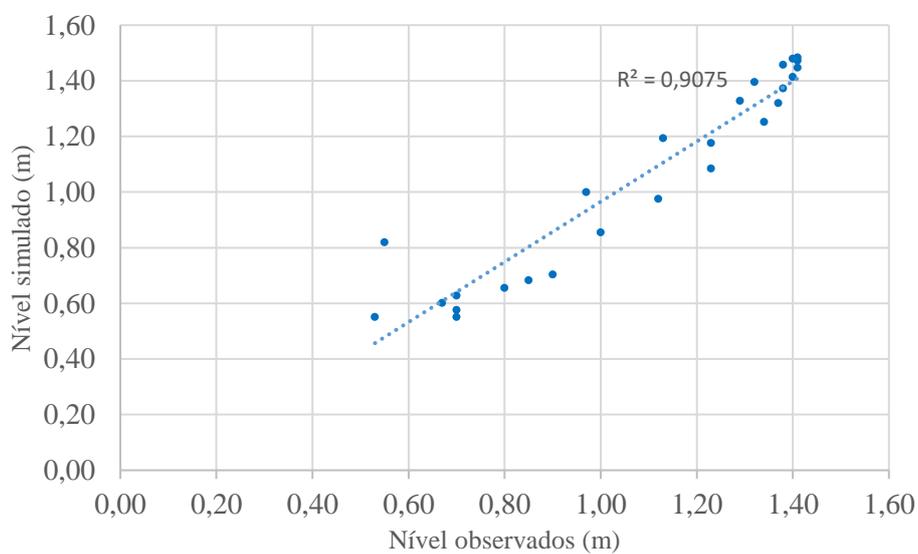
O processo de calibração baseou-se na obtenção de resultados de cargas simulados do nó “TjB10” (localizado próximo à estação de monitoramento de nível) ao longo do evento chuvoso, visando aproximá-los dos dados observados pela estação de monitoramento de nível para o mesmo período estudado. Esse processo fundamentou-se na técnica da tentativa de ajuste das curvas de cargas simuladas e nível observado a partir de ajustamento do coeficiente de Manning em vários trechos dos cursos d’águas (nas Tabelas 6<sup>a</sup> e 6<sup>b</sup> são apresentados os coeficientes ajustados). Na Figura 39 é apresentado a comparação dos dados após diversas simulações processadas, Na Figura 39-a é apresentada a primeira calibração com eventos de 22 de maio de 2014 cujo ajuste foi

obtido com coeficiente de correlação  $R = 0,7161$ , numa calibração com eventos de chuvas intensas, apresentado na Figura 39-b, o ajuste linear apresentou resultados mais satisfatórios obtendo um coeficiente de correlação  $R = 0,9075$ .

Figura 39-Curva de calibração entre dados de níveis do rio Tejiipió observados e simulados.



**a -Evento de 22 de maio de 2014.**



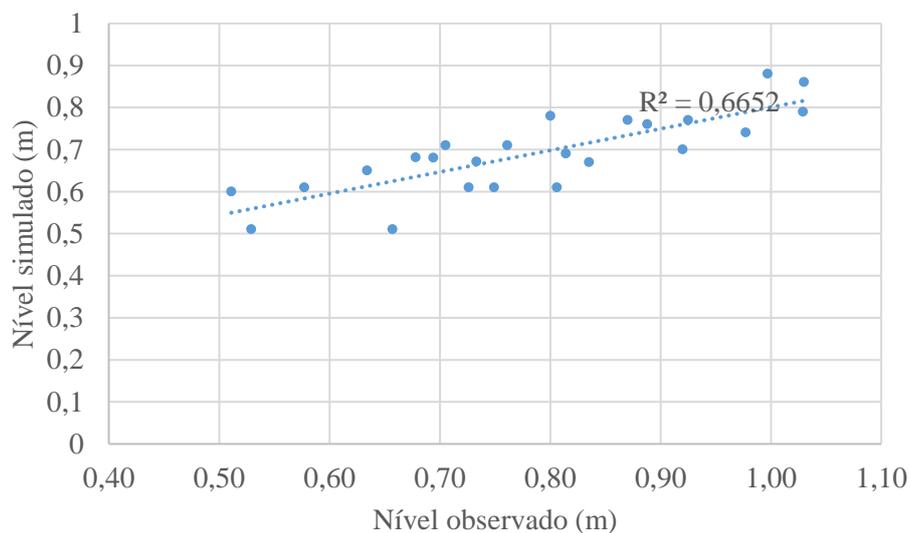
**b- Evento de 29 de junho de 2015.**

Fonte: O autor.

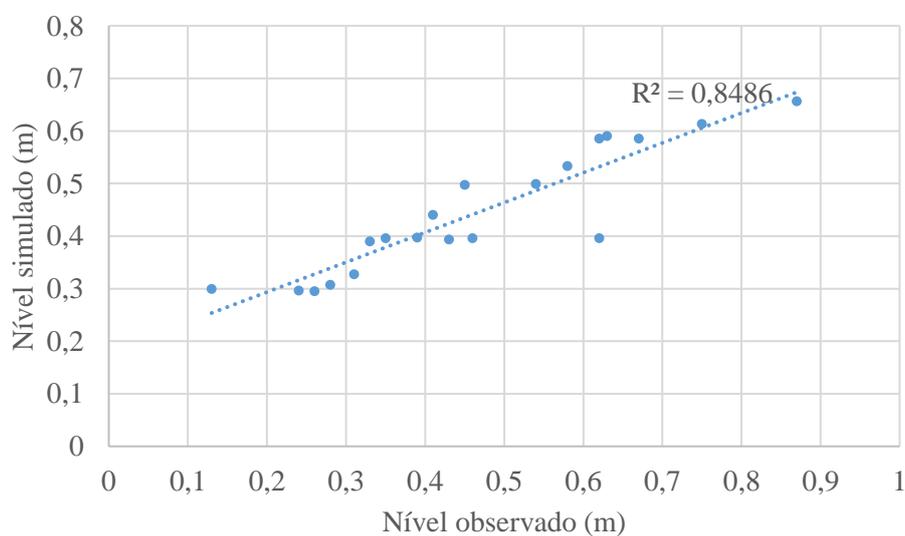
Para o procedimento de validação do modelo foram utilizados os eventos dos dias 30 de maio de 2015 e 28 de junho de 2015, conforme dados de eventos apresentados nas Tabelas 2 e 3 apresentadas no capítulo 3. Para o evento de 30 de maio de 2015 o coeficiente de

correlação linear foi de 0,6652, conforme é apresentado na Figura 40-a. Para o evento de 28 de junho de 2015, apresentado na Figura 40-b, o coeficiente linear foi de 0,8486, proporcionando, então, o aceite dos parâmetros ajustados como próximos da realidade do sistema.

Figura 40-Curva de validação entre dados de níveis do rio Tejipió observados e simulados.



a -Evento de 30 de maio de 2015.



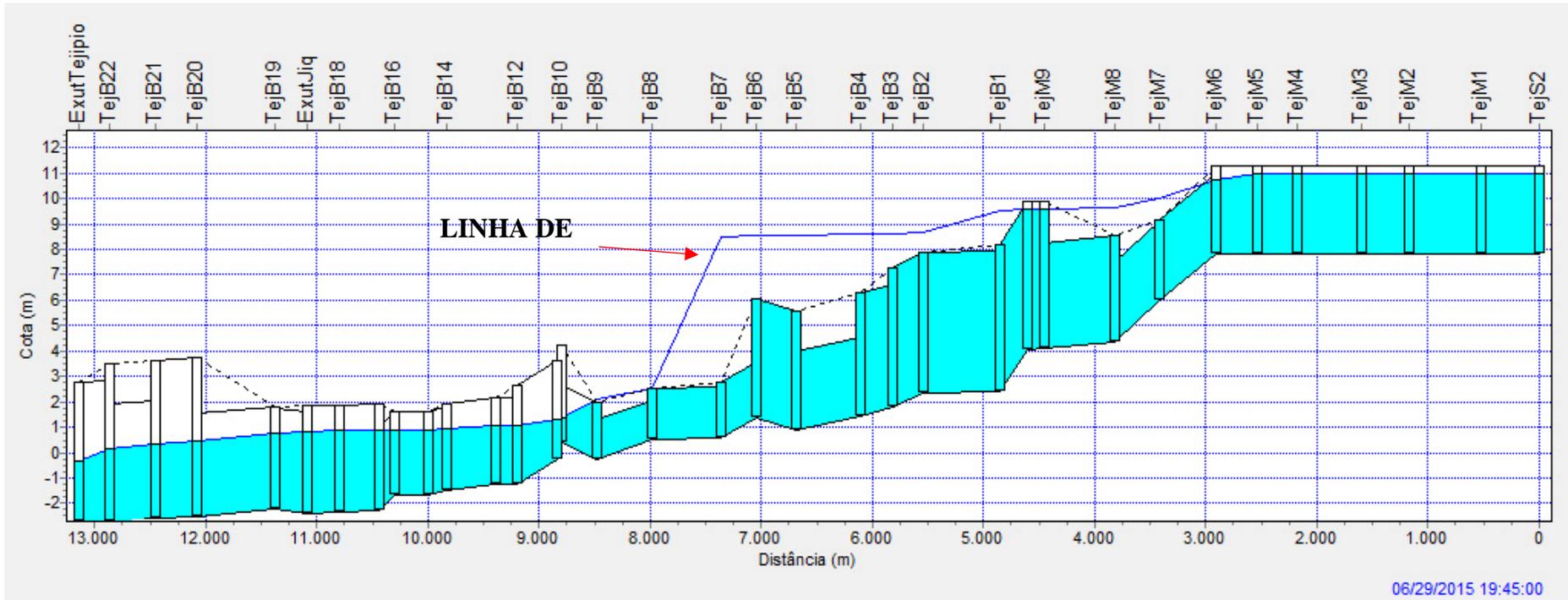
b -Evento de 28 de junho de 2015.

Fonte: O autor.

Na Figura 41 é apresentado o comportamento da calha do rio Tejipió no trecho compreendido entre a BR 232 (nó Tejm1) até a proximidade da junção com o rio Jiquiá (nó Tejb19), nela constata-se problemas de transbordamento da calha (linha de carga) entre o nó Tejm7 (rua Guanabara no Totó) e o nó Tejb10 (proximidades da av. Recife),

onde se verifica inundações de ruas próximas quando da ocorrência de chuvas intensas. Os resultados obtidos nessa simulação referente as vazões, vazões máximas, velocidades e profundidades, é apresentado no Apêndice A com título “Resultado da simulação no SWMM de 29 de junho de 2015”. Esses resultados são apresentados por trechos de rios e riachos o que possibilitou o detalhamento no HEC-RAS. Principalmente do rio Tejipió e dos principais contribuintes como, o rio Jiquiá, riacho São Leopoldo, riacho Guarulhos, riacho da Malária, riacho Maria Lúcia e o rio Moxotó.

Figura 41-Trecho do rio Tejipió com transbordamento da calha (simulação com dados de junho/2015).



Fonte: O autor.

Na Figura 42 pode-se observar o registro desses 3 pontos de inundações nas proximidades dos respectivos nós, simulados durante o evento do dia 29 de junho de 2015. Este registro apresentou uma chuva acumulada média (para as 5 estações consideradas na simulação) de 113,14 mm nas primeiras 12 horas do referido dia, o que ocasionou cheia na bacia do rio Tejipló com inundações em vários pontos, destacando os seguintes locais:

- 1- No bairro do Totó, nas proximidades da ponte sobre o rio Tejipló na rua Guanabara;
- 2- No bairro do Barro, na vila N. Sr<sup>a</sup>. De Lourdes;
- 3- Na av. Recife, com a av. Dom Helder, no bairro do IPSEP.



#### 4.3.3 Simulação com evento de maré de 11 de agosto de 2018

Essa simulação teve o objetivo de obter a região de inundação a partir de um dia com evento de maré alta (acima de 2,30 m), sem precipitações ou de baixa precipitação. Definiu-se então, pelo dia 11 de agosto de 2018 quando estavam previstas marés de sizígia de 2,60 m às 3:30 e 2,50 m às 16:00 h (ANEXO D -Tabua de Maré de 2018). Essas alturas de preamar, pelo histórico de logradouros das proximidades de estação de monitoramento de nível, impacta a região com alagamentos em diversas ruas do bairro do IPSEP incluindo a av. Recife. As informações obtidas em campo vieram a corroborar pela definição da escolha do dia, bem como auxiliar na delimitação da região alagada. A Tabela 11 apresenta os registros de maré e precipitação nesse dia, vale salientar que com relação às precipitações, no referido dia, das estações pluviométricas consideradas nesse estudo apenas a da CEMADEN de Areias registrou uma altura de precipitação de 0,2 mm.

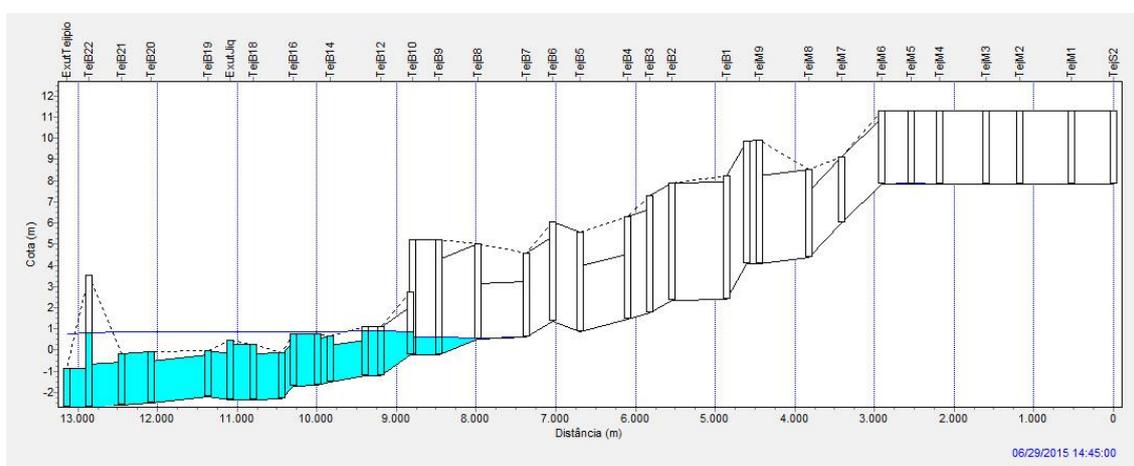
Tabela 11- Dados de marés e precipitação em 11 de agosto de 2018.

Hora (h:min)	Marés			Precipitação
	Fonte	DHN (m)	IBGE (m)	CEMADEN-Areias (mm)
00:15	calculada	1.25	1.25	0.00
01:00	calculada	1.70	1.70	0.00
02:00	calculada	2.23	2.23	0.00
03:00	calculada	2.55	2.55	0.00
03:30	DHN	2.60	2.60	0.00
04:00	calculada	2.57	2.57	0.20
05:00	calculada	2.29	2.29	0.00
06:00	calculada	1.79	1.79	0.00
07:00	calculada	1.16	1.16	0.00
08:00	calculada	0.57	-0.57	0.00
09:00	calculada	0.15	-0.99	0.00
10:00	DHN	0.00	-1.14	0.00
11:00	calculada	0.17	-0.97	0.00
12:00	calculada	0.62	-0.52	0.00
13:00	calculada	1.25	0.11	0.00
14:00	calculada	1.87	0.73	0.00
15:00	calculada	2.33	1.19	0.00
16:00	DHN	2.50	1.36	0.00
17:00	calculada	2.38	1.24	0.00
18:00	calculada	2.05	0.91	0.00
19:00	calculada	1.57	0.43	0.00
20:00	calculada	1.03	-0.11	0.00
21:00	calculada	0.55	-0.59	0.00
22:00	calculada	0.22	-0.92	0.00
23:00	DHN	0.10	-1.04	0.00

Fonte: O autor.

Com o modelo calibrado foi, então, procedida a simulação cujos resultados da modelagem hidrodinâmica, ainda no SWMM, mostram que as regiões da bacia com cotas superficiais próximas a um 1,00 m (IBGE), são impactadas pelo remanso causado pelas marés de sizígia. Nessa região, onde a predominância são áreas próximas às margens dos rios Tejiipió e Moxotó, pode-se destacar a av. Recife que, em alguns trechos desta via, se constatou alagamentos. Essa região localiza-se próximo as junções TejB10 e TejB11. Nos gráficos de linha de carga da simulação, mostrado na Figura 43, constata-se que, nestas junções, as cotas de linha de carga se aproximam de 1 m (IBGE), vindo a corroborar com o constatado em campo.

Figura 43-Perfil da linha d'água nas 12h de simulação no SWMM.



Fonte: O autor.

Na Tabela 12 apresenta dados de cargas (*datum* DHN) nas junções próximas de logradouros com cotas abaixo de 2,00 m (*datum* DHN). A Figura 44 (a) mostra um trecho da ortofotocarta (RECIFE, 2013), disponibilizada pela Prefeitura do Recife, nela pode-se verificar a região da av. Recife com a rua Antônio de Albuquerque no IPSEP. Na imagem pode-se constatar que nessa região há predominância de cotas entre 1,80 m e 2,30m (*datum* DHN), caracterizada como de baixas altitudes, suscetíveis a alagamentos devidos a remansos de marés de sizígia com cotas superiores a 2,00m, além das inundações ocasionadas por cheias do rio Tejiipió. As curvas de níveis foram vetorizadas a partir da base cartográfica CONDEPE/FIDEM (1974), conforme Figura 44 (b), onde as curvas de níveis se referenciam ao DHN (diretoria de Hidrografia e Navegação).

Tabela 12- Altitudes de água em junções do rio Tejipió.

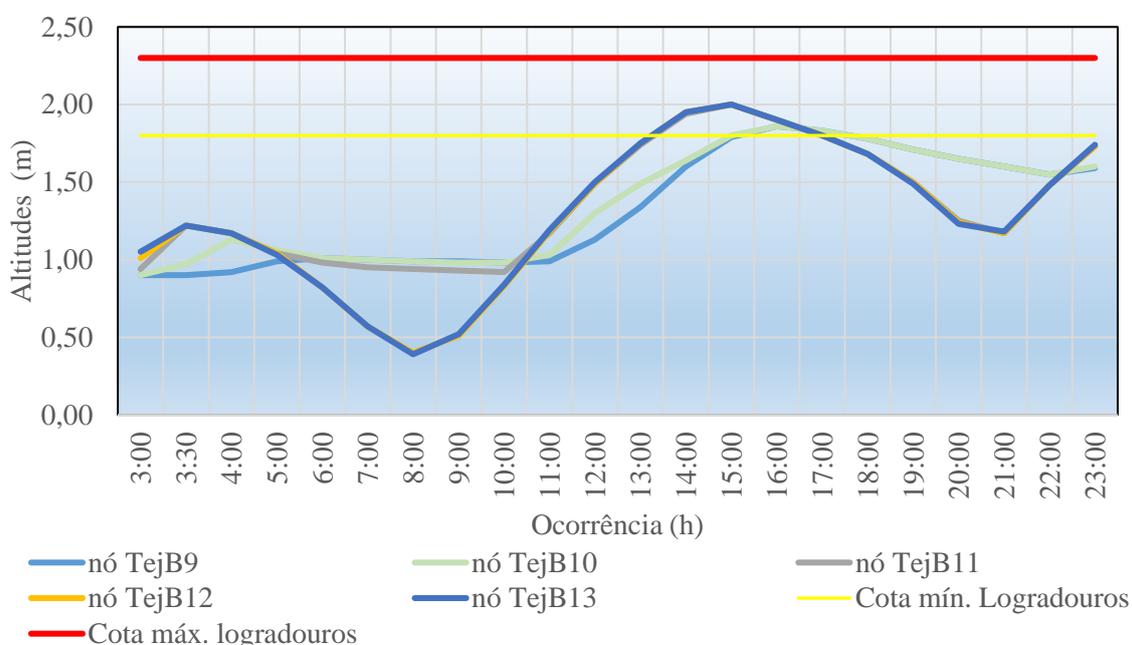
Tempo (h:min)	Cargas nas Junções (m)				
	TejB9	TejB10	TejB11	TejB12	TejB13
03:00	0.90	0.90	0.94	1.01	1.05
03:30	0.90	0.97	1.22	1.22	1.22
04:00	0.92	1.13	1.17	1.17	1.17
05:00	0.99	1.06	1.04	1.04	1.03
06:00	1.01	1.01	0.98	0.82	0.82
07:00	1.00	1.00	0.95	0.57	0.57
08:00	0.99	0.99	0.94	0.40	0.39
09:00	0.99	0.98	0.93	0.51	0.52
10:00	0.98	0.98	0.92	0.83	0.84
11:00	0.99	1.03	1.17	1.18	1.19
12:00	1.13	1.30	1.49	1.49	1.50
13:00	1.34	1.49	1.74	1.75	1.75
14:00	1.60	1.64	1.94	1.95	1.95
15:00	1.79	1.80	2.00	2.00	2.00
16:00	1.86	1.86	1.90	1.90	1.90
17:00	1.83	1.83	1.80	1.80	1.80
18:00	1.78	1.78	1.68	1.68	1.68
19:00	1.71	1.71	1.50	1.50	1.49
20:00	1.65	1.65	1.25	1.24	1.23
21:00	1.60	1.60	1.17	1.17	1.18
22:00	1.55	1.55	1.48	1.48	1.48
23:00	1.59	1.60	1.73	1.73	1.74

Fonte: O autor.



17:00 h há indicação de alagamentos com nível d'água acima da altitude de 1,80 m onde situa-se alguns logradouros nas proximidades do rio no bairro de Areias. Vale ressaltar que nessa tabela os dados de altitudes foram convertidos para o *datum* de referência do DHN, objetivando relacioná-las com as informações das ortofotocartas de 1974 fornecidas pelo CONDEPE/FIDEM. Visando complementar os resultados no SWMM, a Figura 45 apresenta o comportamento da altitude dos níveis de água do rio Tejipió, na região do bairro do IPSEP, com relação as altitudes mínima e máxima dos logradouros, podendo-se constatar que em logradouros com cotas superficiais entre 1,80 m e 2,00 m há permanência de alagamentos devido apenas às marés num período de aproximadamente 4 horas.

Figura 45-Comportamento das linhas de cargas nas junções do rio Tejipió na simulação com a maré do dia 11/08/2018.



Fonte: o autor.

#### 4.3.4 Simulações com a previsão do aumento do Nível Médio dos Mares

Nesse terceiro momento objetivou-se proceder simulações com os dados de previsão sobre o aumento do nível médio dos oceanos. De acordo com os dados publicados e já detalhados na Revisão Bibliográfica, se decidiu utilizar as previsões máximas para o cenário de 2065, que corresponde a um aumento de 38 cm, e para o cenário de 2100, que corresponde a um aumento de 82 cm. Tomou-se então o mesmo modelo concebido para o cenário com apenas evento de maré e procedeu-se a um incremento nas altitudes do evento de maré do dia 11 de agosto de 2018, correspondente aos respectivos aumentos do NMM. A Tabela 13 mostra os dados originais da maré de 11 de agosto de 2018, utilizados

na simulação anterior, apenas com o evento de maré e novos dados de uma maré com as altitudes incrementadas com 38 e 82 cm respectivamente, a serem utilizados para as condições de contorno no exutório do rio Tejipió para os cenários de 2065 e 2100.

Tabela 13- Eventos de marés para os cenários de 2065 e 2100.

Tempo (h:min)	Previsão de marés			Aumento do NMM (m)		Precipitação
	Fonte	DHN (m)	IBGE (m)	Ano 2065 (38 cm)	Ano 2100 (82 cm)	CEMADEN (mm)
00:15	calculada	1.25	0.11	0.49	0.93	0.00
01:00	calculada	1.70	0.56	0.94	1.38	0.00
02:00	calculada	2.23	1.09	1.47	1.91	0.00
03:00	calculada	2.55	1.41	1.79	2.23	0.00
03:30	DHN	2.60	1.46	1.84	2.28	0.00
04:00	calculada	2.57	1.43	1.81	2.25	0.20
05:00	calculada	2.29	1.15	1.53	1.97	0.00
06:00	calculada	1.79	0.65	1.03	1.47	0.00
07:00	calculada	1.16	0.02	0.40	0.84	0.00
08:00	calculada	0.57	-0.57	-0.19	0.25	0.00
09:00	calculada	0.15	-0.99	-0.61	-0.17	0.00
10:00	DHN	0.00	-1.14	-0.76	-0.32	0.00
11:00	calculada	0.17	-0.97	-0.59	-0.15	0.00
12:00	calculada	0.62	-0.52	-0.14	0.30	0.00
13:00	calculada	1.25	0.11	0.49	0.93	0.00
14:00	calculada	1.87	0.73	1.11	1.55	0.00
15:00	calculada	2.33	1.19	1.57	2.01	0.00
16:00	DHN	2.50	1.36	1.74	2.18	0.00
17:00	calculada	2.38	1.24	1.62	2.06	0.00
18:00	calculada	2.05	0.91	1.29	1.73	0.00
19:00	calculada	1.57	0.43	0.81	1.25	0.00
20:00	calculada	1.03	-0.11	0.27	0.71	0.00
21:00	calculada	0.55	-0.59	-0.21	0.23	0.00
22:00	calculada	0.22	-0.92	-0.54	-0.10	0.00
23:00	DHN	0.10	-1.04	-0.66	-0.22	0.00

Fonte: o autor.

Para esses cenários são apresentados resultado do comportamento dos níveis de água nas regiões entre o bairro do IPSEP e a foz do rio Jiquiá, para junções no rio Tejipió. Na região do bairro do IPSEP foram apresentados resultados da simulação, para o cenário de 2100, nas junções do riacho Arq. Maria Lúcia, nas junções do rio Moxotó.

Nos resultados referentes às cargas simuladas nas junções TejB9 a TejB13, para o cenário de 2065, apresentados na Tabela 14, constata-se um aumento médio de 26,6 % nos níveis de água em relação aos resultados da simulação nas mesmas junções para o cenário de

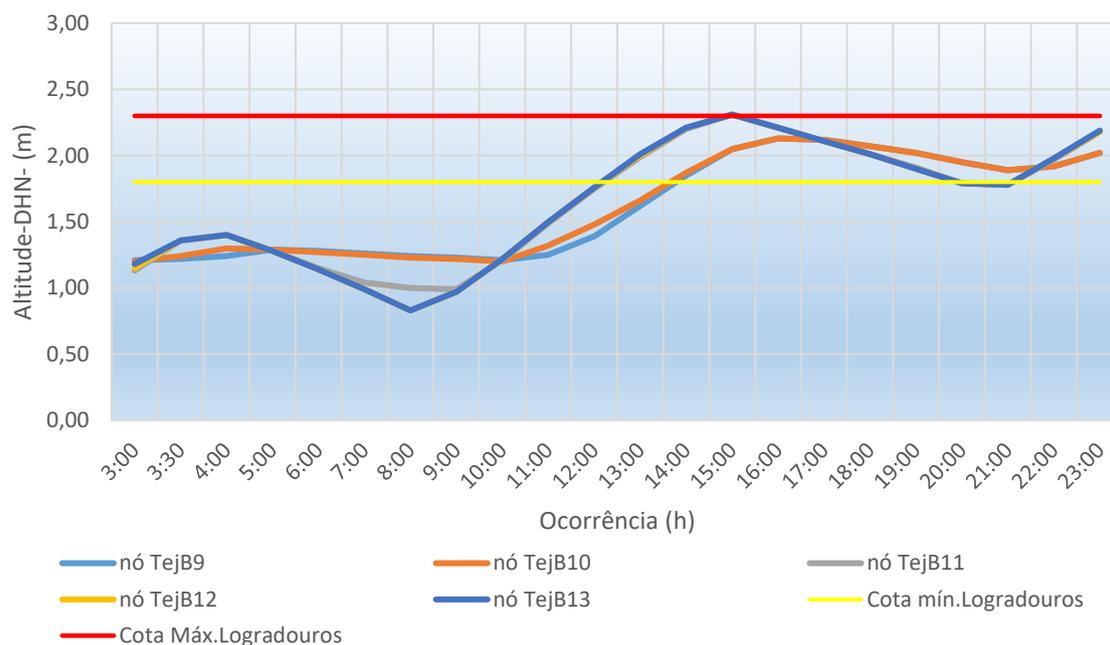
maré de 11 de agosto de 2018 (Tabela 12). Na Figura 46 pode-se constatar o comportamento das altitudes nessas junções, para o cenário de 2065, em relação às altitudes predominantes nos logradouros na região do bairro do IPSEP. Constata-se ainda que os níveis de água já alcançam a altitude limite de logradouros na localidade e com um período maior de permanência de água nesses logradouros, superior a 10 horas, destacando a av. Recife e várias ruas na Vila Arquiteta Maria Lúcia.

Tabela 14- Altitudes de água em junções do rio Tejipló para o cenário de 2065.

Tempo (h:min)	Carga nas junções (m)				
	TejB9	TejB10	TejB11	TejB12	TejB13
03:00	1.21	1.20	1.13	1.15	1.18
03:30	1.22	1.24	1.36	1.36	1.36
04:00	1.24	1.30	1.40	1.40	1.40
05:00	1.29	1.29	1.28	1.28	1.28
06:00	1.28	1.27	1.15	1.14	1.14
07:00	1.26	1.25	1.04	0.99	0.99
08:00	1.24	1.23	1.00	0.83	0.83
09:00	1.23	1.22	0.99	0.97	0.97
10:00	1.21	1.20	1.21	1.22	1.22
11:00	1.25	1.32	1.49	1.50	1.50
12:00	1.39	1.48	1.75	1.76	1.76
13:00	1.62	1.66	1.99	2.00	2.01
14:00	1.85	1.87	2.20	2.21	2.21
15:00	2.05	2.05	2.31	2.31	2.31
16:00	2.13	2.13	2.21	2.21	2.21
17:00	2.12	2.12	2.11	2.11	2.11
18:00	2.07	2.07	2.01	2.01	2.01
19:00	2.02	2.02	1.91	1.90	1.90
20:00	1.95	1.95	1.79	1.79	1.79
21:00	1.89	1.89	1.78	1.78	1.78
22:00	1.92	1.92	1.97	1.98	1.98
23:00	2.02	2.02	2.18	2.18	2.19

Fonte: o autor.

Figura 46-Comportamento das linhas de cargas nas junções do rio Tejipió na simulação com a aumento do NMM de 38 cm para o ano de 2065.

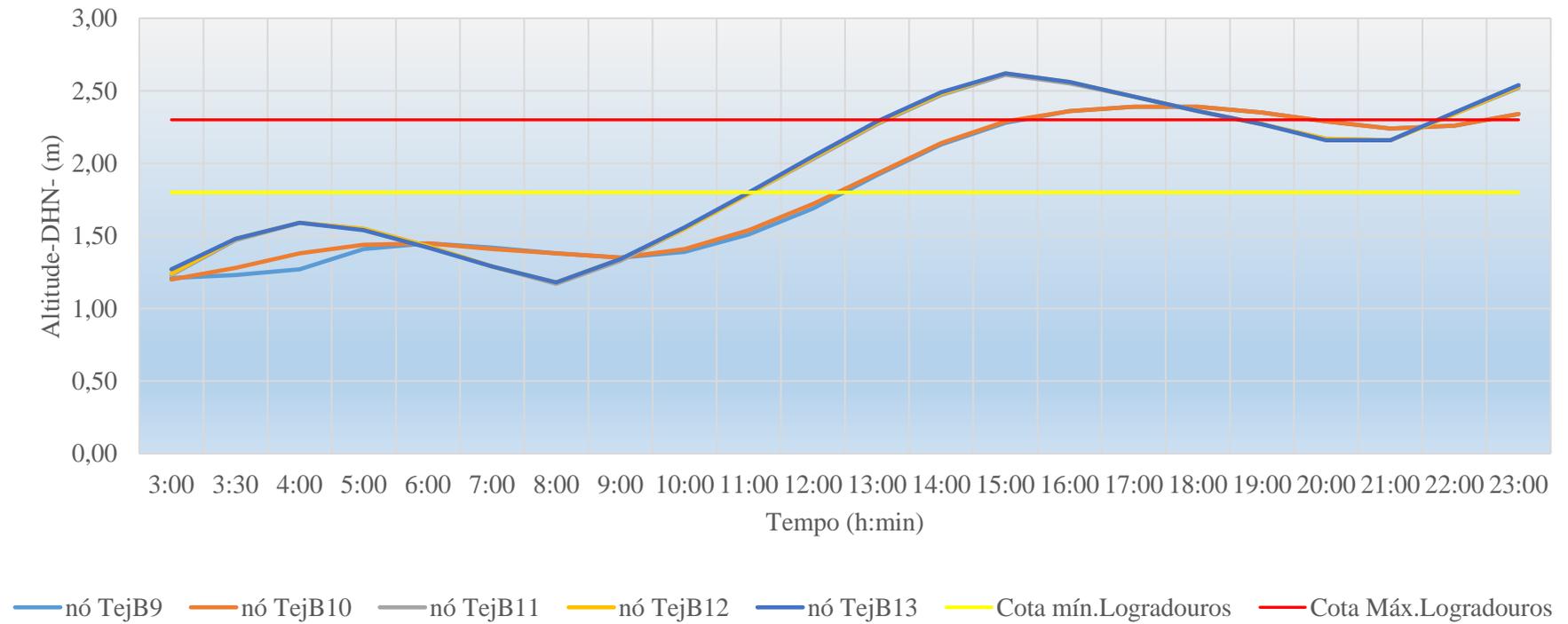


Fonte: o autor.

Para o cenário de 2100, foram procedidas análises em outras regiões da bacia com histórico de alagamentos apenas com eventos de marés altas. Na Figura 47 e Figura 48 são apresentados o comportamento das junções do rio Tejipió entre o Caçote (junção TejB9) até a junção após o exutório do rio Jiquiá (junção TejB19).

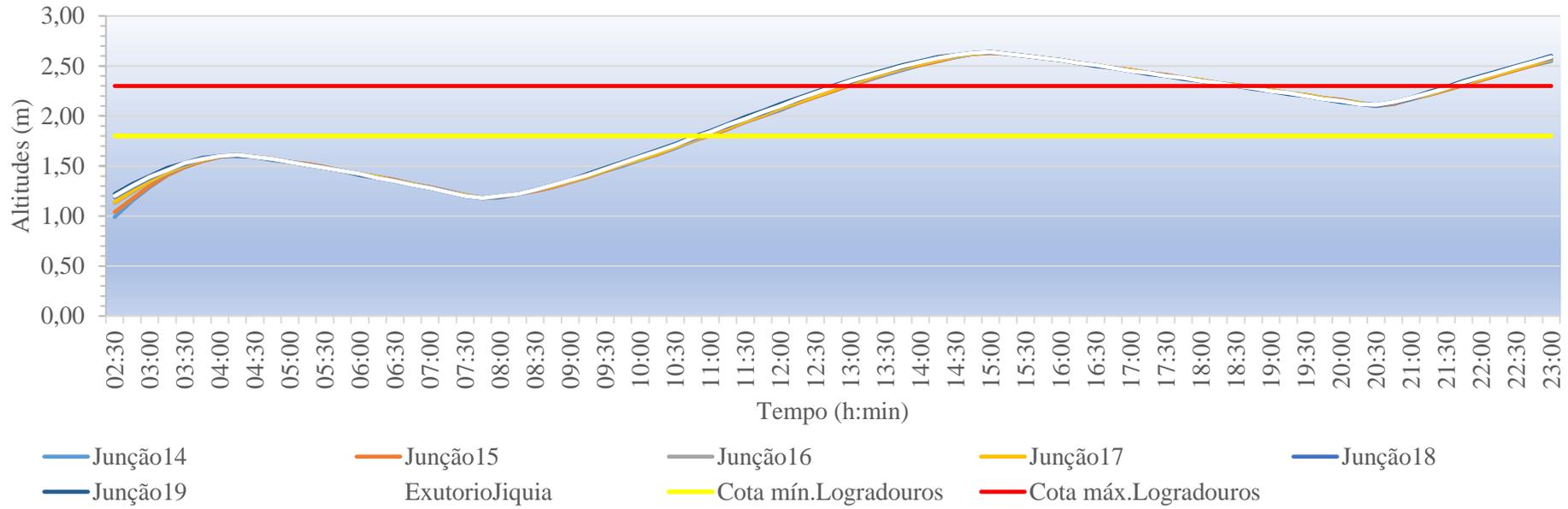
Os comportamentos das linhas de cargas (altitudes de água) mostram que regiões com cotas de 2,30 m apresentam inundações com uma lâmina d'água superior a 50 cm de água na superfície, e permanecendo nessa situação por mais de 12 horas. A simulação para esse cenário apresentou ainda um aumento de cerca de 40 % no nível de águas nas junções em relação a simulação para o cenário de 2018 (apenas o evento da maré de 11 de agosto de 2018). Nas Tabelas 15 e 16 pode-se verificar os dados de nível de água nas junções TejB9 a TejB19 com intervalo de 1 hora.

Figura 47-Comportamento das linhas de cargas nas junções TejB9 a TejB13 do rio Tejipió na simulação com aumento do NMM de 82 cm.



Fonte: o autor.

Figura 48-Comportamento das linhas de cargas nas junções Tejb14 a Tejb19 do rio Tejipió na simulação com aumento do NMM de 82 cm.



Fonte: O autor.

Tabela 15- Altitudes de água em junções do rio TejiipióTejB9 a TejB13 para o cenário de 2100.

Tempo (h:min)	Carga nas junções (m)				
	TejB9	TejB10	TejB11	TejB12	TejB13
03:00	1.21	1.20	1.23	1.24	1.27
03:30	1.23	1.28	1.47	1.48	1.48
04:00	1.27	1.38	1.59	1.59	1.59
05:00	1.41	1.44	1.55	1.55	1.54
06:00	1.45	1.45	1.43	1.43	1.42
07:00	1.42	1.41	1.29	1.29	1.29
08:00	1.38	1.38	1.17	1.18	1.18
09:00	1.35	1.35	1.33	1.34	1.34
10:00	1.39	1.41	1.55	1.55	1.56
11:00	1.51	1.54	1.79	1.79	1.80
12:00	1.69	1.72	2.03	2.04	2.05
13:00	1.92	1.93	2.27	2.28	2.29
14:00	2.13	2.14	2.47	2.48	2.49
15:00	2.28	2.29	2.61	2.62	2.62
16:00	2.36	2.36	2.55	2.56	2.56
17:00	2.39	2.39	2.46	2.46	2.46
18:00	2.39	2.39	2.36	2.36	2.36
19:00	2.35	2.35	2.27	2.27	2.27
20:00	2.29	2.29	2.17	2.17	2.16
21:00	2.24	2.24	2.16	2.16	2.16
22:00	2.26	2.26	2.34	2.34	2.35
23:00	2.34	2.34	2.52	2.53	2.54

Fonte: O autor.

Tabela 16- Altitudes de água em junções do rio TejipióTejB14 a TejB19 para o cenário de 2100.

Tempo (h:min)	Carga nas junções (m)						
	TejB14	TejB15	TejB16	TejB17	TejB18	ExutJiq	TejB19
03:00	1.29	1.30	1.34	1.35	1.38	1.39	1.40
03:30	1.49	1.49	1.50	1.51	1.52	1.53	1.53
04:00	1.59	1.59	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
05:00	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
06:00	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.41
07:00	1.29	1.29	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
08:00	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.20	1.20
09:00	1.34	1.34	1.35	1.35	1.36	1.36	1.36
10:00	1.56	1.57	1.57	1.57	1.59	1.59	1.60
11:00	1.81	1.81	1.82	1.82	1.84	1.84	1.85
12:00	2.06	2.07	2.07	2.08	2.10	2.10	2.12
13:00	2.31	2.31	2.32	2.32	2.34	2.35	2.36
14:00	2.51	2.51	2.52	2.52	2.54	2.54	2.55
15:00	2.63	2.63	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
16:00	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
17:00	2.46	2.46	2.46	2.46	2.45	2.45	2.45
18:00	2.36	2.36	2.36	2.36	2.35	2.35	2.35
19:00	2.26	2.26	2.26	2.26	2.25	2.25	2.25
20:00	2.16	2.16	2.15	2.15	2.15	2.15	2.14
21:00	2.17	2.17	2.17	2.17	2.17	2.18	2.18
22:00	2.36	2.36	2.37	2.37	2.39	2.39	2.40
23:00	2.55	2.56	2.56	2.57	2.58	2.59	2.60

Fonte: O autor.

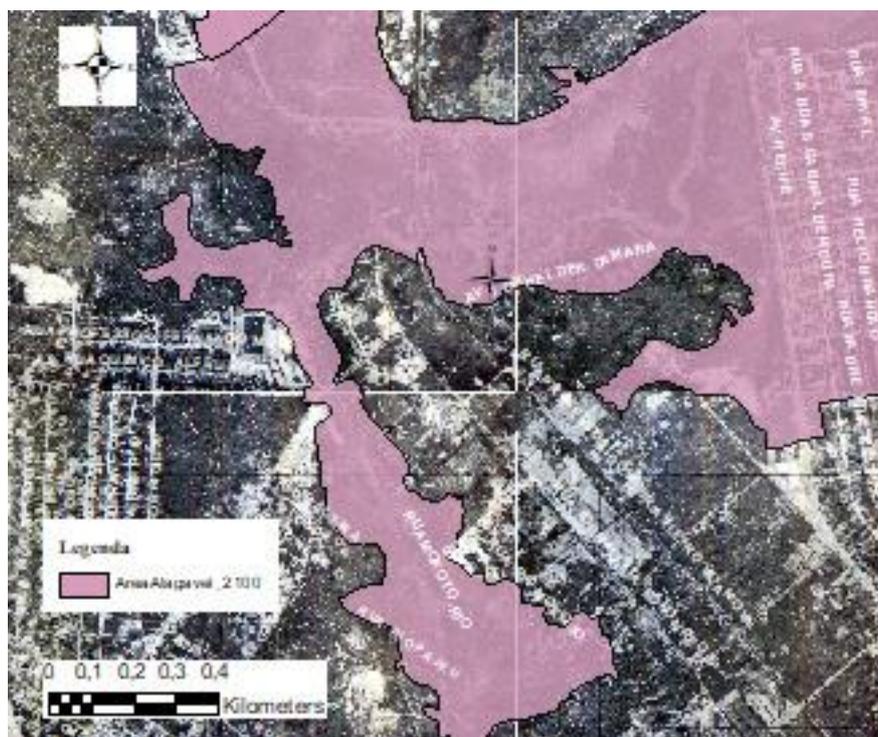
Para o cenário de 2100 foram feitas análises semelhantes para os riachos Arquiteta Maria Lúcia e para o rio Moxotó, nesse último, procurou-se focar a análise no trecho da região da av. Dois Rios, onde os níveis de alagamentos tem impactado inclusive com impedimento do tráfego de veículos grandes (ônibus e caminhões) em períodos de chuvas intensas. A Figura 49 (a), mostra a região inundada da nascente do rio até o trecho do rio Moxotó na confluência com a av. Dois Rios, elaborada a partir da delimitação das alturas de cargas pelas cotas de curvas de níveis da ortofotocarta 80-62 (CONDEPE/FIDEM, 1974). Na Figura 49 (b) pode-se verificar a mesma região inundada na imagem da ortofotocarta de 2013 (RECIFE, 2013). Essa delimitação baseou-se nas alturas de cargas máximas na simulação para o cenário de 2100. Na Tabela 17 e no gráfico da Figura 50, pode-se constatar que a maioria das junções alcançaram a cota de 2,47 m, com referência do DHN, permanecendo nessa cota por um período de aproximadamente 7 hora.

Tabela 17- Altitudes de água em junções do rio Moxotó MoX1 a MoX5 para o cenário de 2100.

Tempo (h:min)	Cargas nas Junções do riacho Maria Lúcia (m)					Cargas nas Junções do riacho Moxotó (m)				
	MaL1	MaL2	MaL3	MaL4	MaL4L	MoX1	MoX2	MoX3	MoX4	MoX5
00:15	1.85	0.92	0.91	0.77	0.76	1.72	2.47	2.37	1.35	1.38
01:00	1.83	0.91	0.9	0.77	0.76	1.74	2.39	2.37	1.35	1.36
02:00	1.82	0.9	0.89	0.77	0.77	1.75	2.38	2.37	1.36	1.35
03:00	1.82	0.89	0.88	0.85	0.87	1.75	2.38	2.37	1.37	1.35
04:00	1.81	1.38	1.38	1.39	1.39	1.76	2.38	2.36	1.37	1.38
05:00	1.81	1.55	1.55	1.55	1.55	1.76	2.37	2.36	1.39	1.44
06:00	1.81	1.45	1.45	1.44	1.44	1.76	2.37	2.35	1.4	1.45
07:00	1.81	1.32	1.32	1.32	1.32	1.77	2.37	2.35	1.41	1.41
08:00	1.81	1.21	1.21	1.21	1.21	1.77	2.37	2.35	1.41	1.38
09:00	1.81	1.29	1.29	1.29	1.29	1.77	2.37	2.34	1.41	1.37
10:00	1.81	1.49	1.49	1.49	1.49	1.77	2.37	2.34	1.41	1.41
11:00	1.81	1.75	1.75	1.75	1.75	1.77	2.37	2.34	1.43	1.54
12:00	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	1.77	2.37	2.34	1.52	1.72
13:00	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	1.77	2.37	2.33	1.75	1.93
14:00	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	1.77	2.37	2.33	1.94	2.13
15:00	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	1.78	2.37	2.33	2.1	2.28
16:00	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	1.78	2.37	2.33	2.27	2.35
17:00	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	1.78	2.36	2.34	2.38	2.39
18:00	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	1.78	2.36	2.38	2.39	2.39
19:00	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	1.78	2.36	2.38	2.36	2.35
20:00	2.17	2.17	2.17	2.17	2.17	1.78	2.36	2.38	2.31	2.29
21:00	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	1.78	2.36	2.38	2.25	2.24
22:00	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	1.78	2.36	2.37	2.25	2.26
23:00	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	1.78	2.36	2.37	2.31	2.34

Fonte: O autor.

Figura 49-Inundação no bairro do Ibura na travessia da av. Dois Rios com rio Moxotó para o cenário de 2100 (previsão do aumento do NMM em 82 cm).



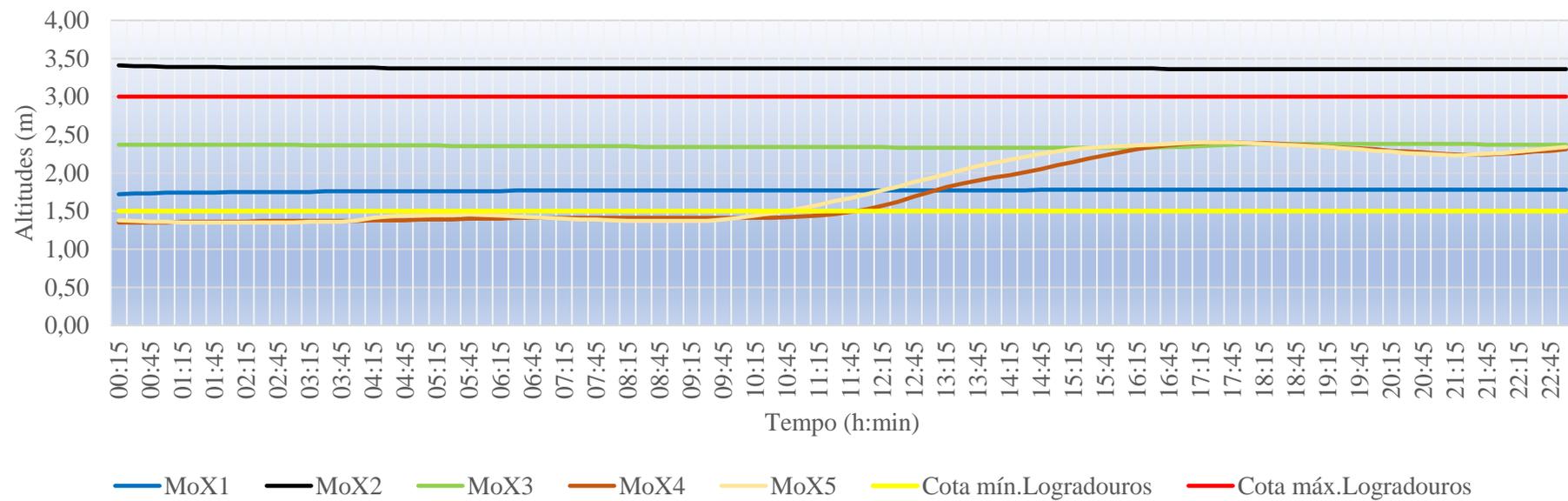
a- Região inundada na base ortofotográfica de 1974 (CONDEPE/FIDEM, 1974).



b- Região inundada na base ortofotográfica de 2013 (RECIFE, 2013).

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases cartográficas.

Figura 50-Comportamento das linhas de cargas nas junções Mox1 a Mox5 do rio Moxotó na simulação com aumento do NMM de 82 cm.



Fonte: O autor.

- No Apêndice B, C e D são apresentadas das vazões simuladas no SWMM referente aos cenários de 2018, 2065 e 2100.
- B- Simulação apenas com maré de 11 de agosto de 2018;
- C- Simulação apenas com maré de 11 de agosto de 2018 com incremento de 38 cm (cenário de 2065);
- D- Simulação apenas com maré de 11 de agosto de 2018 com incremento de 82 cm (cenário de 2100).

Nesses Apêndices verifica-se dados de vazões máximas por trechos de rios, velocidades máximas e vazões do modelo simulado. Com base nesses dados, foram determinadas as vazões para os trechos da geometria vetorizada no HEC-GeoRAS, haja vista que os trechos de rios e riachos nesse ambiente difere do ambiente SWMM, principalmente pela decisão de simular apenas os principais rios da bacia impactados por eventos de cheias e alagamentos. Logo os dados de entrada referente a vazões foram previamente analisados objetivando definir valores representativos para os trechos no HEC-RAS.

E no Apêndice E são apresentadas Tabelas e Figuras que mostram o comportamento dos níveis de água nas junções para os riachos Guarulhos e Arquiteta Maria Lúcia.

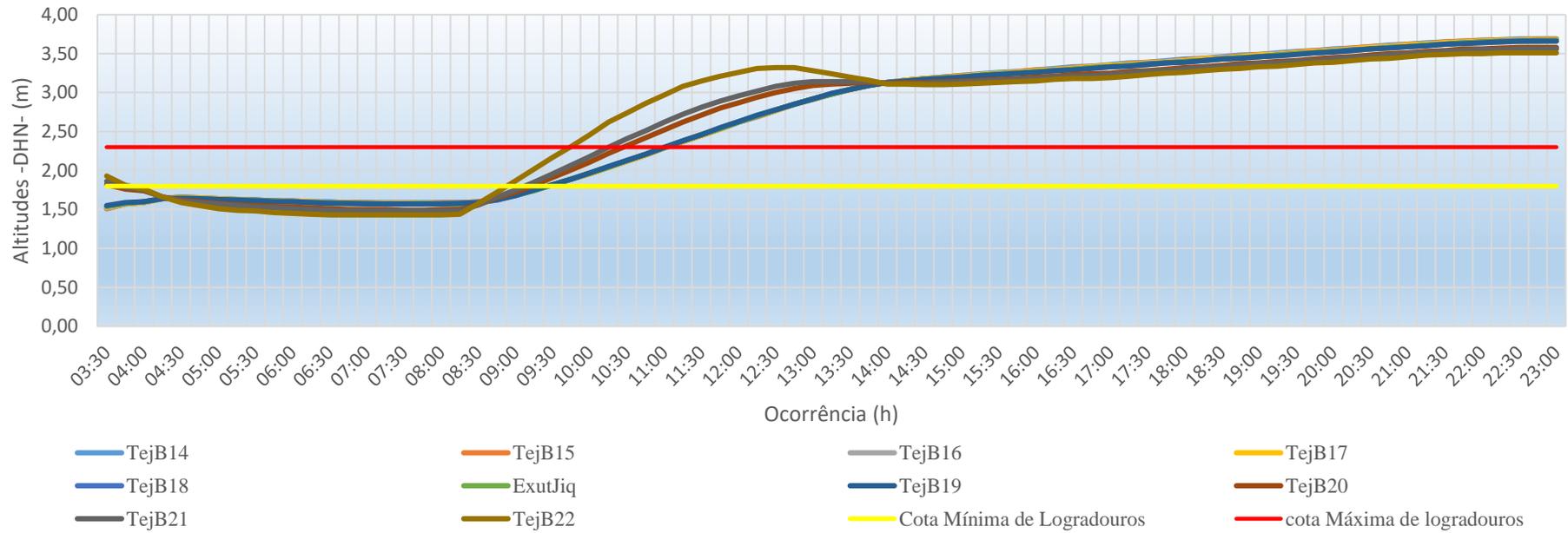
#### 4.3.5 Simulação para cenário de 2100 com chuvas de tempo de retorno de 25 anos

Complementado os processos de simulações no SWMM procedeu-se a uma modelagem com uma chuva com 25 anos de tempo de retorno no cenário de 2100, cuja condição de contorno no exutório do rio Tejipió foi estabelecida a curva de maré do dia 11 de agosto de 2018 com incremento de 82 cm correspondente a previsão de aumento do NMM. Primeiramente foi determinada a intensidade de chuva utilizando a equação de chuva estabelecida no atual Plano Diretor de Drenagem do Recife (equação 06). A definição da intensidade horária dependeu também da definição do tempo de duração a ser adotado. Procedeu-se então uma análise de tempo de duração dos eventos de chuvas intensas, com volume acumulado igual ou superior a 100 mm, ocorridos entre 2008 e 2017 na estação climatológica do INMET no Curado e apresentados no capítulo da Revisão Bibliográfica. A análise resultou que esses eventos ocorreram em um período médio de 17,67 h e que aplicado a equação, obteve-se a intensidade de 12,52 mm/h.

A Figura 51 mostra um dos resultados da simulação no SWMM com esse cenário, nela pode ser verificado o comportamento das cotas de nível de água nas junções ao longo do rio Tejipió, entre a comunidade do Caçote no bairro de Areias, até a proximidade da foz,

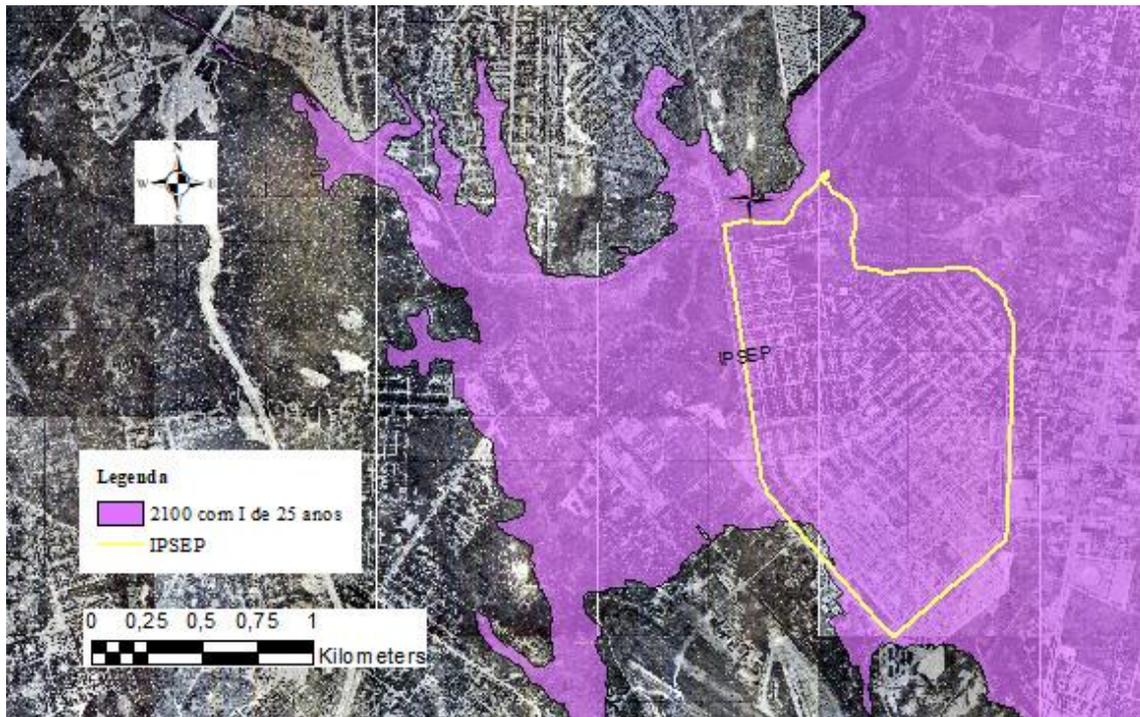
perfazendo uma extensão aproximada de 4,4 km. As cotas mostram, para o período simulado, níveis de inundações de regiões com cotas superiores a 3,50 m a partir das 19:45 h, e, considerando o início da inundação as 9:00 h, constata-se permanência da inundação por um período superior a 14 horas em relação ao tempo de simulação, representando mais de 60 % do período de simulação. A delimitação da região inundada a partir dessa cota referenciada pelo DHN, pode ser observada na Figura 52, onde procurou-se destacar o bairro do IPSEP, por ser atualmente a região mais propensa a inundações, seja por chuvas intensas ou por marés de sizígia. Na Figura 52-a a região é mostrada na base ortofotográfica de 1974, onde constam as curvas de níveis que serviram de base para a delimitação da região, e na Figura 52-b é mostrado na base mais atualizada obtida em 2013. (RECIFE, 2013). No Apêndice E é apresentado uma tabela com os dados de altitudes do nível de água nas junções TejB14 a TejB22 do rio Tejipió.

Figura 51-Comportamento dos níveis de águas nas junções do rio Tejipló em relação a cota mínima e máxima predominante na região, para o ano de 2100 com chuva de TR 25 anos.

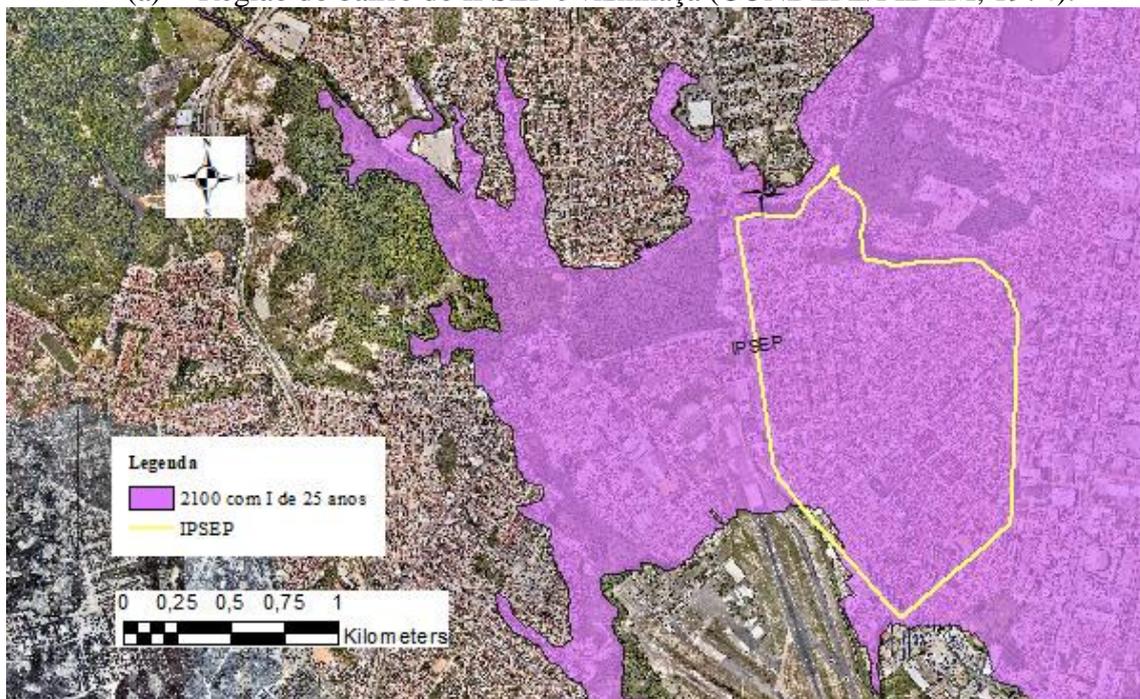


Fonte: O autor.

Figura 52-Região do bairro do IPSEP para o ano de 2100 com inundação para chuvas com TR 25 anos.



(a) – Região do bairro do IPSEP e vizinhança (CONDEPE/FIDEM, 1974).



(b) – Região do bairro do IPSEP e vizinhança (RECIFE, 2013).

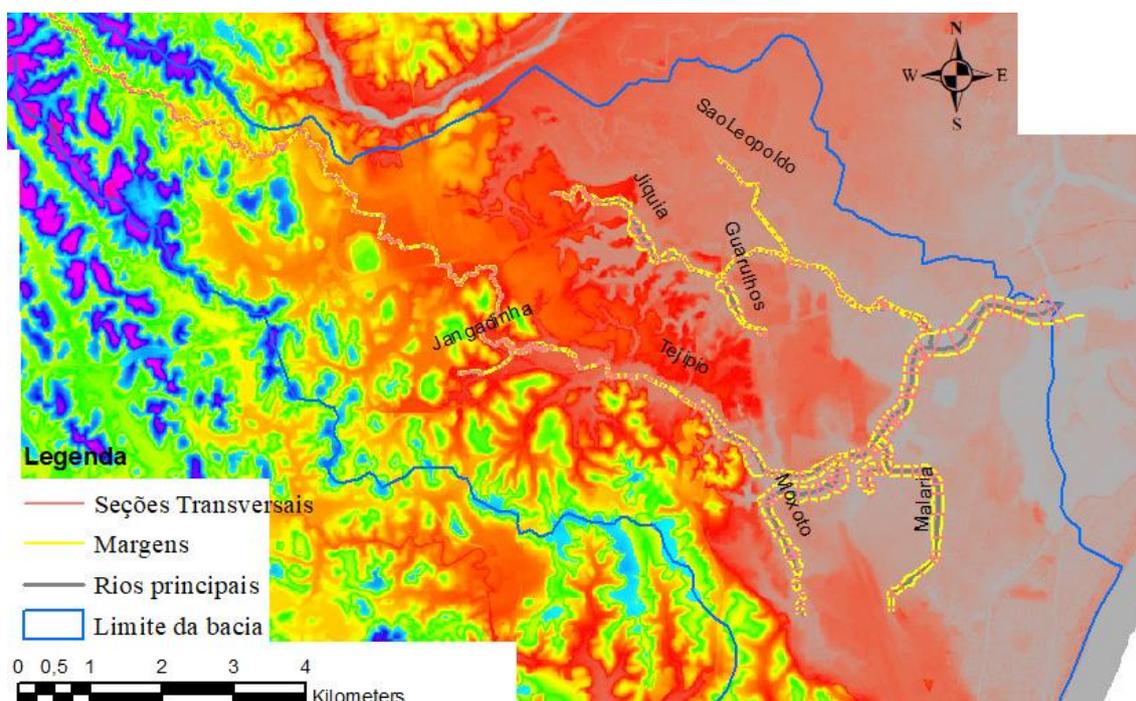
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases cartográficas CONDEPE/FIDEM (1974) e Recife (2013).

#### 4.4 Simulação no HEC-RAS e Determinação de Manchas de Inundação

Com as definições das vazões para os cenários a serem avaliados no SWMM, pode-se então dar início aos procedimentos para as simulações no HEC-RAS. Como já colocado no capítulo de Metodologia, o primeiro passo foi o de definir a rede de drenagem da bacia no ambiente do Arc Gis a partir da ferramenta HEC-GeoRAS, que se resume em vetorizar rios, riachos, margens e seções transversais, com base no MDT da bacia do rio Tejipió.

Vale salientar que no ambiente do HEC-RAS se decidiu por um modelo simplificado uma vez que, a concepção com a rede de drenagem com os mais de 40 cursos d'águas não obteve sucesso na simulação no HEC-RAS. Esse fato levou a redução gradativa de afluentes até conseguir estabilidade nas simulações, optando-se pela concepção de uma rede de drenagem que atendesse o rio principal e os afluentes que, por observações históricas de campo, apresentam cheias devido à eventos de chuvas intensas e alagamentos causados por remansos de marés. Essa concepção da rede de drenagem da bacia do rio Tejipió no HEC-GeoRAS é apresentada na Figura 53, onde definiu-se pela manutenção dos rios principais como: o rio Tejipió e o rio Jiquiá (principal afluente) e outros 3 afluentes diretos do rio Tejipió (riachos Jangadinha, rio Moxotó e riacho Malária) além do riacho Arquiteta Maria Lúcia (afluente do riacho Malária), e pelo riacho Guarulhos e riacho São Leopoldo, afluentes do rio Jiquiá.

Figura 53-Rede de drenagem da bacia do rio Tejipió definida no HEC-GeoRAS.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de MDT (PERNAMBUCO, 2016).

Para as condições de contorno das extremidades de cada trecho, foi adotado os seguintes parâmetros:

- Nos trechos iniciais de cada rio optou-se pela profundidade normal informando a declividade do respectivo trecho;
- Nos trechos intermediários a ferramenta estabelece automaticamente as condições hidráulicas da confluência;
- No trecho final do rio Tejipió (exutório) optou-se pela altitude máxima da curva da maré.

#### 4.4.1 Cenário de 2015 para evento de chuvas intensas com marés

Na simulação com o evento de chuvas intensas de 29 de junho de 2015, na Tabela 18 são apresentados os dados de entrada referente às vazões e a as condições de contorno de cada trecho. Na jusante do trecho final do rio Tejipió foi informada a altitude máxima (SA) de 0,988 m, referente a altura máxima da maré (*datum*-IBGE). A referida Tabela apresenta ainda os dados das condições de contornos (jusante e montante) de cada trecho.

Tabela 18- Vazões e condições de contorno para o evento 29 de junho de 2015.

seq.	Rio	Trecho	Estação	Q (m <sup>3</sup> /s)	Condições de contorno	
					montante	jusante
1	Guarulhos	1	1122.337	2.31	S = 0.001569	Junção 11
2	Jangadinha	1	924.2636	1.00	S = 0.003913	Junção 2
3	Jiquia	1	7362.547	7.89	S = 0.002671	Junção 11
4	Jiquia	2	4003.694	9.57	Junção 11	Junção 13
5	Jiquia	3	2842.99	18.75	Junção 13	Junção 9
6	Malaria	1	3310.356	5.77	S = 0.000868	Junção 7
7	Malaria	2	329.6809	6.52	Junção 7	Junção 5
8	MariaLucia	1	589.7436	2.00	S = 0.002763	Junção 7
9	Moxoto	1	3271.073	2.79	S = 0.000874	Junção 3
10	SaoLeopoldo	1	1993.68	5.98	S = 0.001651	Junção 13
11	Tejipio	1	25719.91	11.33	S = 0.006505	Junção 2
12	Tejipio	2	10040.37	12.89	Junção 2	Junção 3
13	Tejipio	3	4422.899	4.57	Junção 3	Junção 5
14	Tejipio	4	3744.239	14.09	Junção 5	Junção 9
15	Tejipio	5	2119.778	28.54	Junção 9	SA = 0.988

Nota: S - declividade, em m/m; SA - cota da superfície de água, em m.

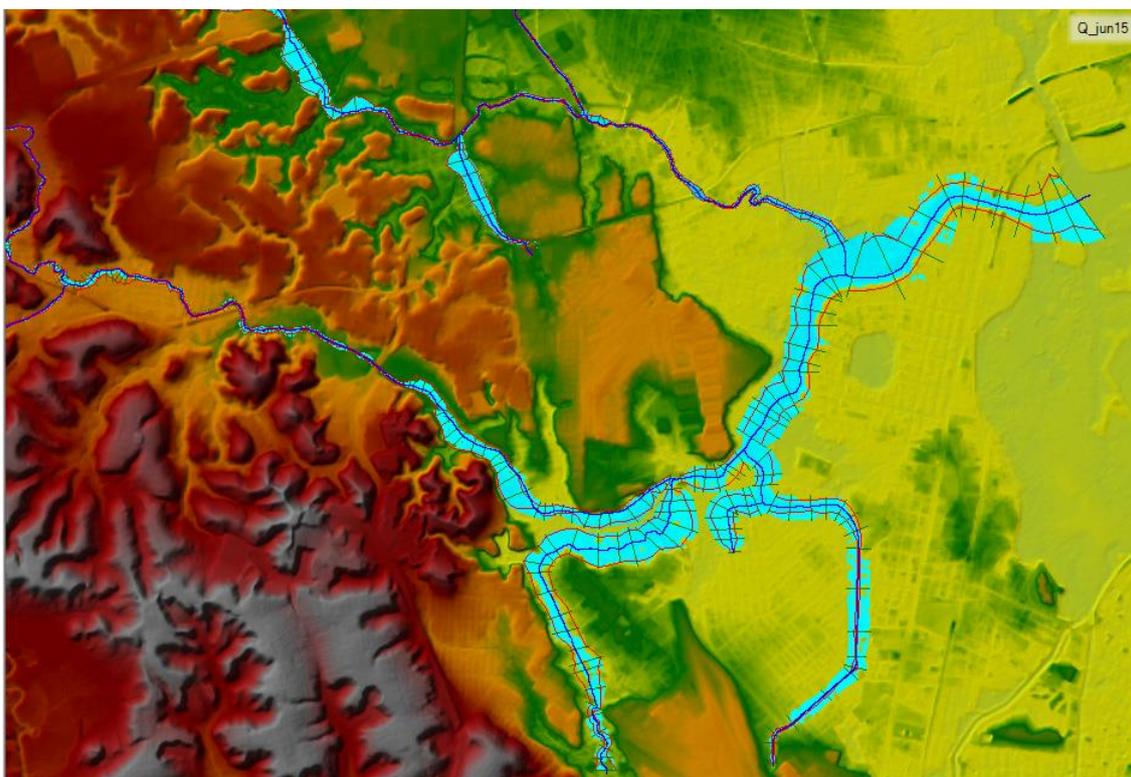
Fonte: O autor.

Os resultados da simulação no HEC-RAS corroboram com o indicado na simulação com o SWMM, na Figura 54 verifica-se a região inundada com o evento de chuvas intensas

do dia 29 de junho de 2015. Nessa simulação foram gerados níveis de água na bacia que podem ser observados na Figura 55, onde procurou-se apresentar seções representativas em pontos onde os impactos são maiores, e cujos transbordamentos das calhas atingem boa parte da população da bacia. Os pontos relacionados às seções são:

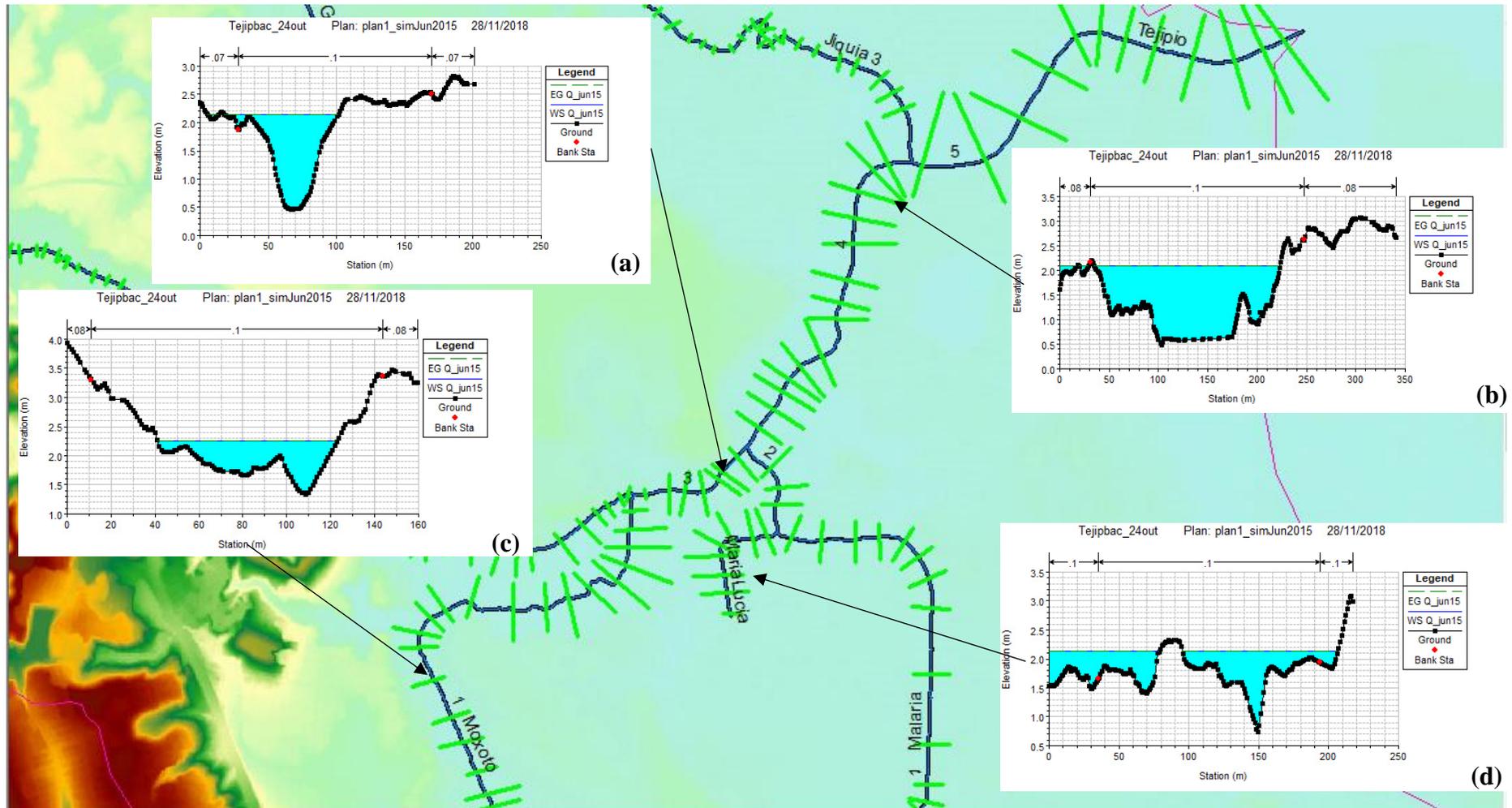
- (a) - Trecho 3 do rio Tejipió entre as confluências do rio Moxotó e do riacho da Malária, onde predomina ocupações das margens por população de baixa renda;
- (b) - Trecho 4 do rio Tejipió entre as confluências do riacho da Malária e o rio Jiquiá, também caracterizado com grande densidade populacional em suas margens;
- (c) – Trecho do rio Moxotó nas proximidades da av. Dois Rios, uma região que, em termos de ocupação, apresenta área urbanizada e ocupação de margens, com as inundações impedindo a circulação de veículos;
- (d) – Trecho do riacho Arquiteta Maria Lúcia que se caracteriza por ser uma área urbanizada, porém seriamente impactada pelas cheias na bacia.

Figura 54-Mancha de inundação para o evento de 29 de junho de 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

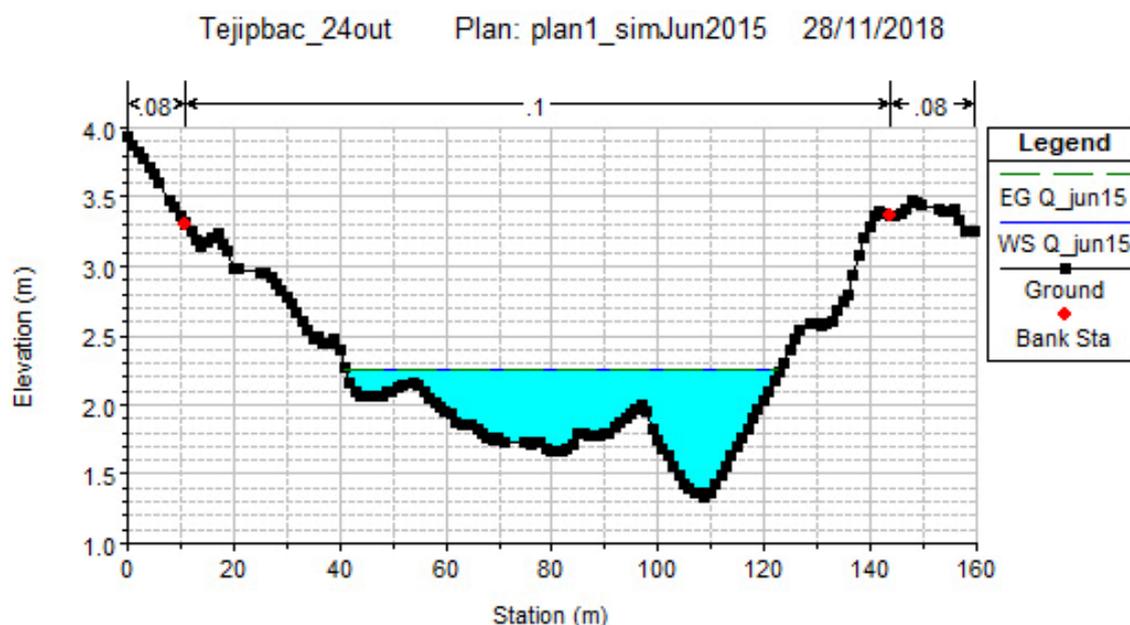
Figura 55-Seções representativas de grande impacto nos níveis de água (cenário 29 de junho de 2015).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

Na seção exemplificada para o rio Moxotó da Figura anterior (55 - c), e ampliada na Figura 56 a seguir, constata-se que o nível de água na av. Dois Rios alcança a cota de 2,24 m (IBGE), que representa 3,38 m para o *datum* do DHN, e o citado logradouro apresenta superfície com cotas variando entre 1,50 m e 3,00 m (DHN) nas proximidades do rio. Tal, possibilita alagamentos nessa região até as proximidades da cota simulada, o que corrobora com informações obtidas com moradores e comerciantes da localidade e técnicos da prefeitura do Recife.

Figura 56-Seção do rio Moxotó próximo à av. Dois Rios (cenário junho de 2015).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

#### 4.4.2 Cenário de 2018 para evento só com maré

Para a modelagem no HEC-RAS, para eventos apenas de maré, as vazões adotadas são apresentadas na Tabela 19, onde foram definidas a partir da análise das vazões geradas no SWMM para os trechos de cada rio. A referida tabela ainda apresenta as estações de referência dos trechos e as condições de contorno para cada trecho, que são os mesmos para os diversos cenários estudados, diferenciando apenas as condições do exutório do rio Tejipió que, nesse cenário, a altura de água adotada na bacia do Pina foi a altura máxima da maré do dia 11 de agosto de 2018, que corresponde a  $h = 1,46$  m referenciada ao *datum* do IBGE (2,60 m no *datum* DHN).

Os resultados dessa simulação são apresentados primeiramente na imagem da região de inundação apresentada na Figura 57, onde constata-se alagamentos em regiões ao longo dos rios Tejipió e Moxotó, além dos riachos Guarulhos e Arq. Maria Lúcia, cujas áreas

apresentam históricos de remansos causados por marés de sizígia com altitudes superior a 2,30 m (DHN).

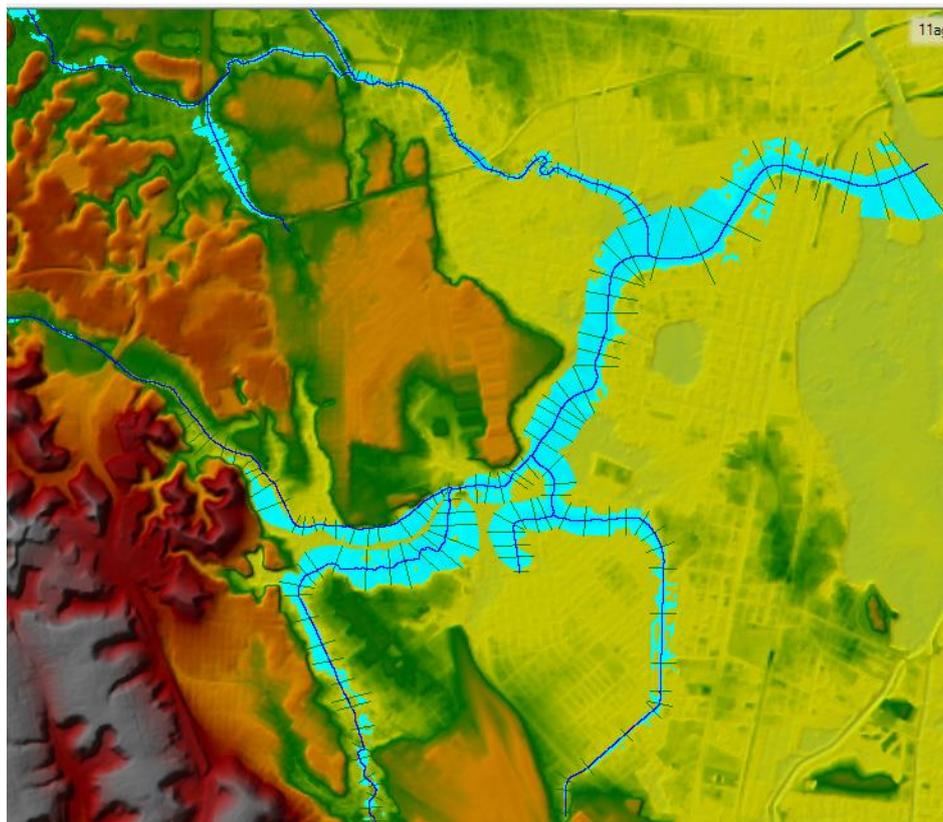
Tabela 19- Vazões e condições de contorno para o evento apenas de maré de 11 de agosto de 2018.

seq.	Rio	Trecho	Estação	Q	Condições de contorno	
				(m <sup>3</sup> /s)	montante	jusante
1	Guarulhos	1	1122.337	0.27	S = 0.001569	Junção 11
2	Jangadinha	1	924.2636	0.20	S = 0.003913	Junção 2
3	Jiquia	1	7362.547	0.47	S = 0.002671	Junção 11
4	Jiquia	2	4003.694	0.37	Junção 11	Junção 13
5	Jiquia	3	2842.99	3.18	Junção 13	Junção 9
6	Malaria	1	3310.356	0.52	S = 0.000868	Junção 7
7	Malaria	2	329.6809	3.01	Junção 7	Junção 5
8	MariaLucia	1	589.7436	0.44	S = 0.002763	Junção 7
9	Moxoto	1	3271.073	0.67	S = 0.000874	Junção 3
10	SaoLeopoldo	1	1993.68	0.27	S = 0.001651	Junção 13
11	Tejipio	1	25719.91	0.00	S = 0.006505	Junção 2
12	Tejipio	2	10040.37	0.00	Junção 2	Junção 3
13	Tejipio	3	4422.899	7.54	Junção 3	Junção 5
14	Tejipio	4	3744.239	9.61	Junção 5	Junção 9
15	Tejipio	5	2119.778	27.46	Junção 9	SA=1.46

Nota: S - declividade, em m/m; SA - cota da superfície de água, em m.

Fonte: O autor.

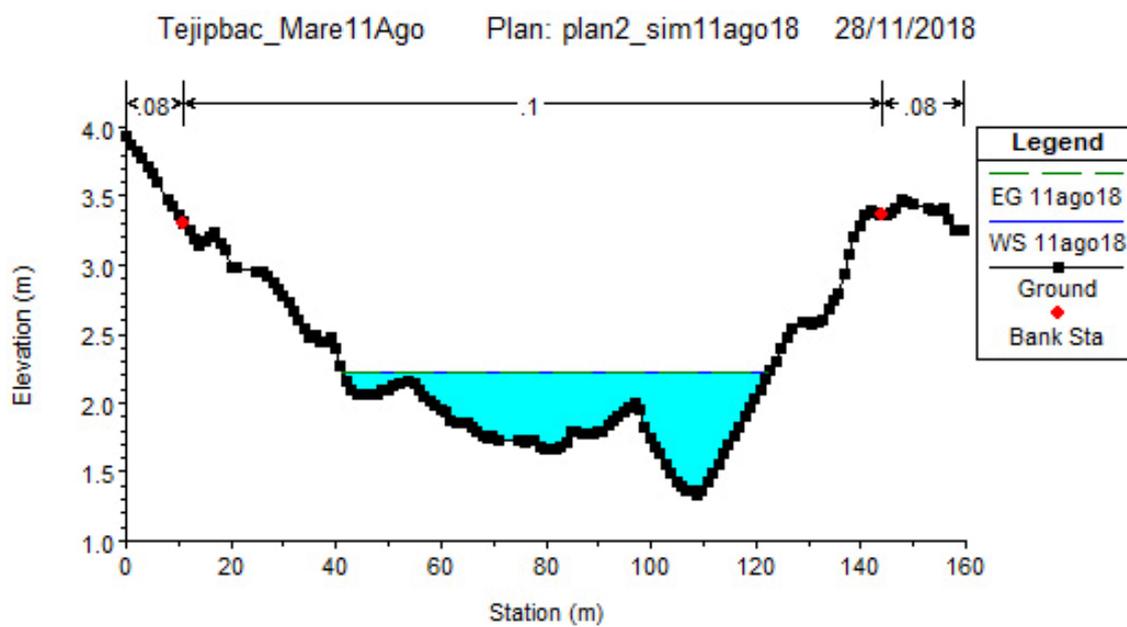
Figura 57-Mancha de inundação para o cenário de 11 de agosto de 2018 (incidência apenas do evento das marés).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

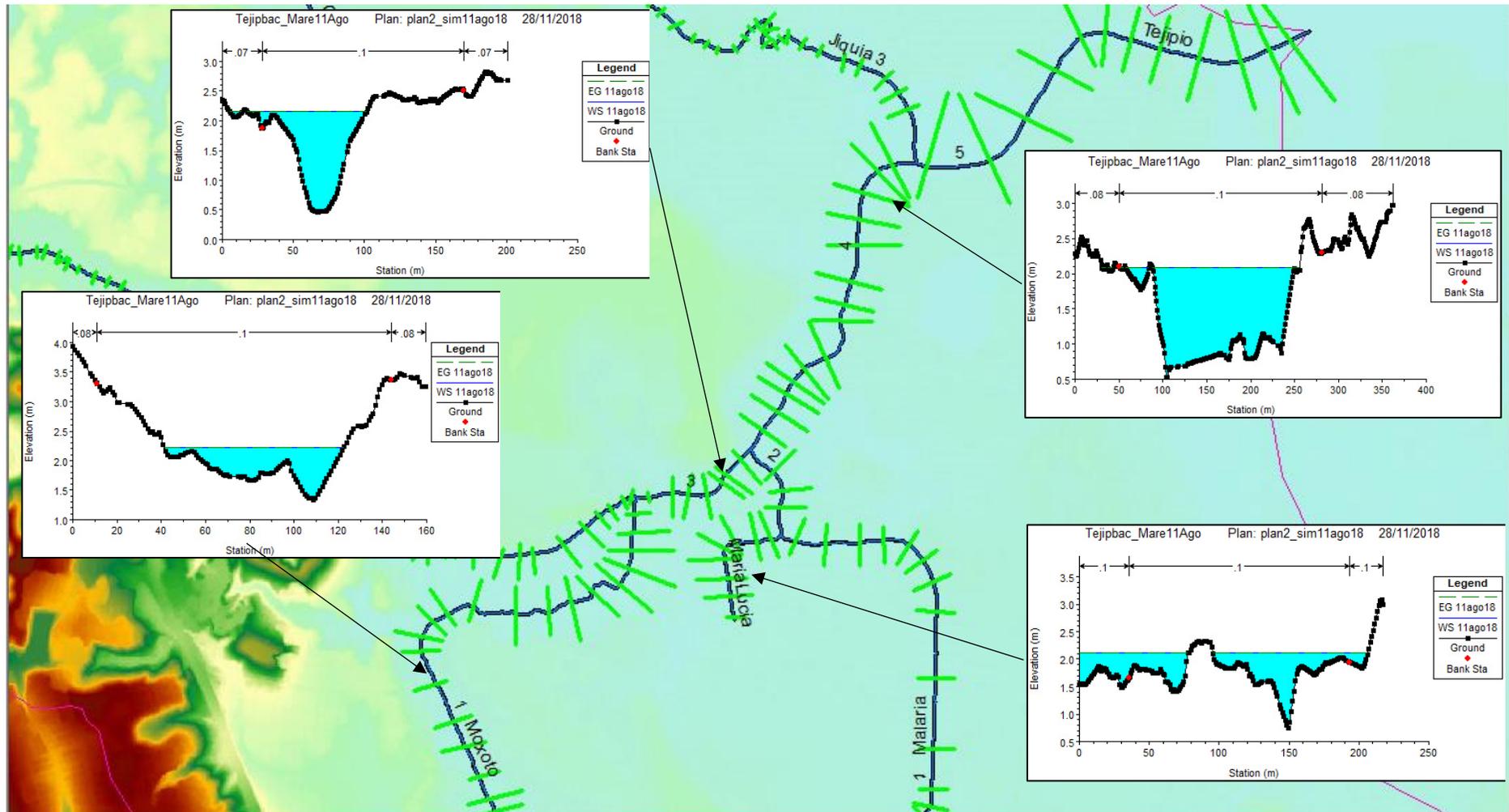
Foram definidas algumas seções representativas dos trechos de rios e riachos da bacia do rio Tejipió, para avaliar os níveis de água nessas seções, visando também apresentar uma análise comparativa entre os cenários com o evento de maré do dia 11 de agosto de 2018 e incrementos dessa maré com a previsão do aumento do nível médio dos mares (NMM). A Figura 58 é mostrado a seção transversal do rio Moxotó nas proximidades da av. Dois Rios, agora com novo nível de água, um pouco abaixo (2,22 m) do obtido na simulação anterior, e na Figuras 59 é apresentada a região da bacia onde é destacada as seções representativas de transbordamentos nessa região.

Figura 58-Seção do rio Moxotó próximo a av. Dois Rios (cenário 11 de agosto de 2018).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

Figura 59-Seções representativas de grande impacto nos níveis de água (cenário 11 de agosto de 2018).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

#### 4.4.3 Cenário de 2065 para evento de aumento do NMM em 38 cm

Para esse evento, os dados de entrada na simulação no HEC-RAS são apresentados na Tabela 19, que também contempla as condições de contorno de cada trecho, e a nova condição de contorno para o exutório do rio Tejipió, com previsão estimada do nível de água na bacia do Pina de 1,84 m.

Tabela 19- Vazões e condições de contorno para o evento de 2065.

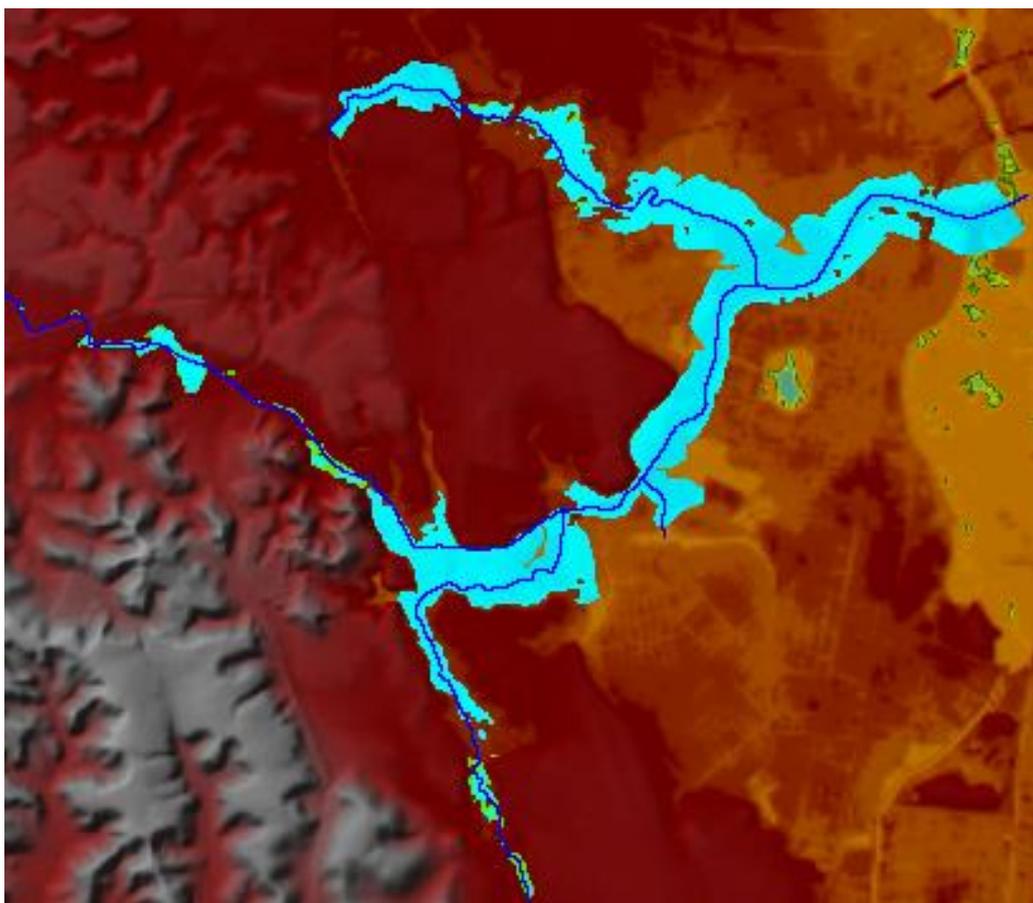
seq.	Rio	Trecho	Estação	Q	Condições de contorno	
				(m <sup>3</sup> /s)	montante	jusante
1	Guarulhos	1	1122.337	0.03	S = 0.001569	Junção 11
2	Jangadinha	1	924.2636	0.20	S = 0.003913	Junção 2
3	Jiquia	1	7362.547	0.05	S = 0.002671	Junção 11
4	Jiquia	2	4003.694	0.69	Junção 11	Junção 13
5	Jiquia	3	2842.99	2.73	Junção 13	Junção 9
6	Malaria	1	3310.356	0.66	S = 0.000868	Junção 7
7	Malaria	2	329.6809	2.86	Junção 7	Junção 5
8	MariaLucia	1	589.7436	0.44	S = 0.002763	Junção 7
9	Moxoto	1	3271.073	1.67	S = 0.000874	Junção 3
10	SaoLeopoldo	1	1993.68	0.09	S = 0.001651	Junção 13
11	Tejipio	1	25719.91	0.19	S = 0.006505	Junção 2
12	Tejipio	2	10040.37	0.04	Junção 2	Junção 3
13	Tejipio	3	4422.899	8.91	Junção 3	Junção 5
14	Tejipio	4	3744.239	9.61	Junção 5	Junção 9
15	Tejipio	5	2119.778	37.51	Junção 9	SA=1.84

Nota: S - declividade, em m/m; SA - cota da superfície de água, em m.

Fonte: O autor.

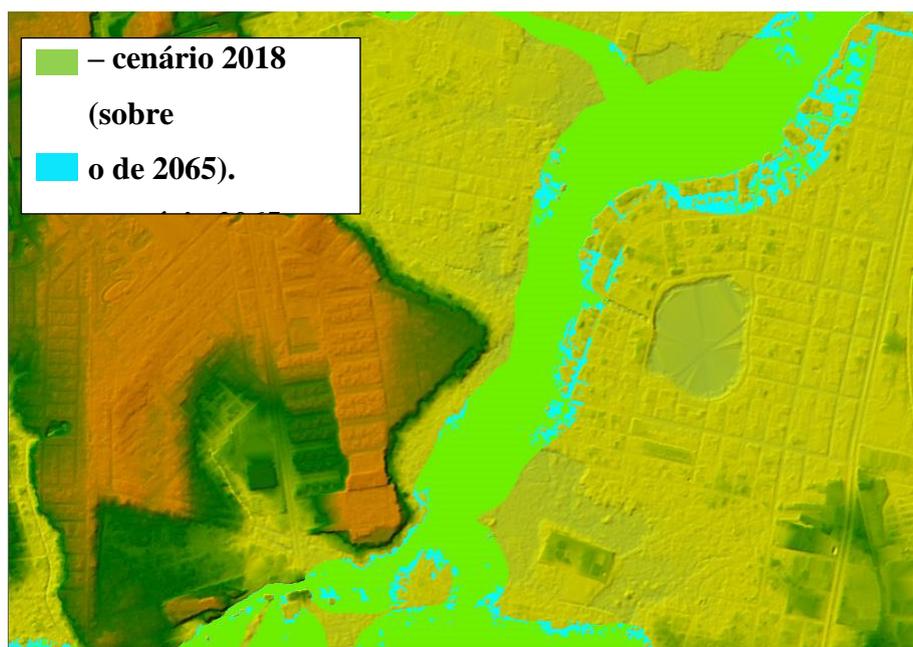
O resultado dessa simulação gerou a mancha de inundação apresentada na Figura 60. Uma comparação desse cenário com a mancha de inundação para o cenário de 2018 (só com maré), verifica-se um aumento da mancha de inundação, mostrada em ampliação na Figura 61, a região do rio Tejipió entre a av. Recife e a foz do rio Jiquiá. A mancha esverdeada, contida na mancha azul, representa o cenário apenas com maré de 11 de agosto de 2018, e a mancha azul a inundação para o cenário de 2065.

Figura 60-Mancha de inundação para o cenário de 2065.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

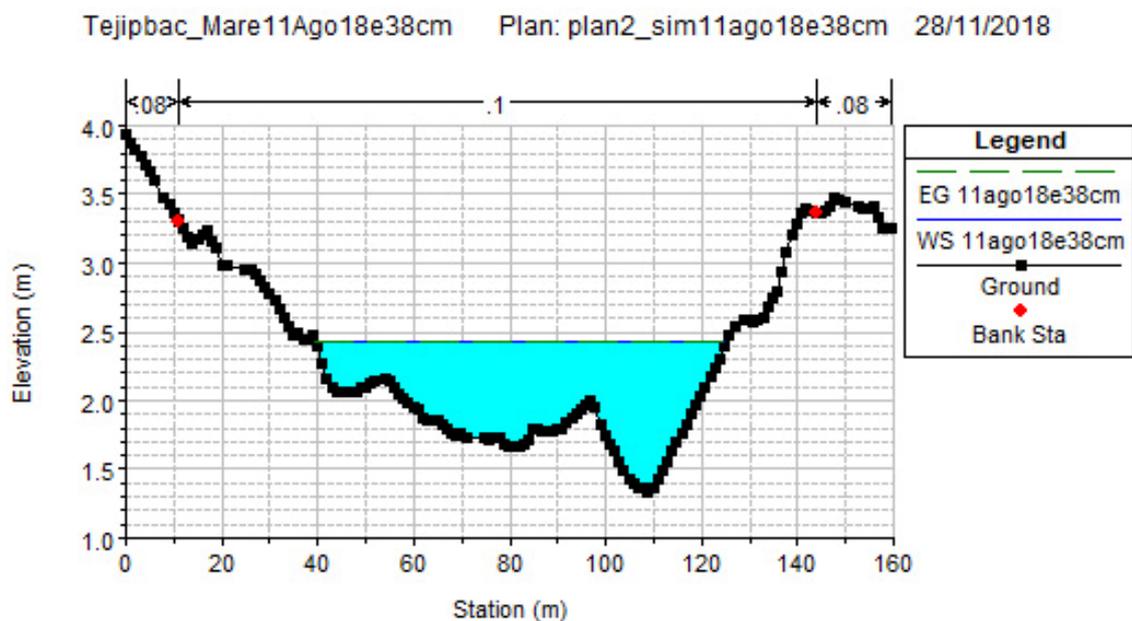
Figura 61-Sobreposição de manchas de inundação para cenários de 2018 e 2065.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

Na Figura 62 é mostrado a seção transversal do rio Moxotó nas proximidades da av. Dois Rios para o cenário de 2065, com novo nível de água acima da cota de 2,40 m (IBGE), equivalente a altitude de 3,54 m baseada no *datum* do DHN.

Figura 62-Seção do rio Moxotó próximo a av. Dois Rios (cenário 2065).



Fonte: O autor.

#### 4.4.4 Cenário de 2100 para evento de aumento do NMM em 82 cm

Para obtenção dos resultados de simulação para o cenário de um aumento do nível médio do mar em 82 cm, de acordo do IPCC, o modelo no HEC-RAS foi alimentado com os dados de vazão e de condições de contorno dos trechos de rios e riachos da bacia apresentados na Tabela 20, onde constata-se uma cota de água de 2,28 m no exutório do rio Tejipió, na bacia do Pina.

Tabela 20- Vazões e condições de contorno para o evento de 2100.

seq.	Rio	Trecho	Estação	Q	Condições de contorno	
				(m <sup>3</sup> /s)	montante	jusante
1	Guarulhos	1	1122.337	0.03	S = 0.001569	Junção 11
2	Jangadinha	1	924.2636	0.20	S = 0.003913	Junção 2
3	Jiquia	1	7362.547	0.05	S = 0.002671	Junção 11
4	Jiquia	2	4003.694	0.81	Junção 11	Junção 13
5	Jiquia	3	2842.99	3.31	Junção 13	Junção 9
6	Malaria	1	3310.356	0.74	S = 0.000868	Junção 7
7	Malaria	2	329.6809	3.27	Junção 7	Junção 5
8	MariaLucia	1	589.7436	0.70	S = 0.002763	Junção 7
9	Moxoto	1	3271.073	3.85	S = 0.000874	Junção 3
10	SaoLeopoldo	1	1993.68	0.09	S = 0.001651	Junção 13
11	Tejipio	1	25719.91	0.19	S = 0.006505	Junção 2
12	Tejipio	2	10040.37	0.04	Junção 2	Junção 3
13	Tejipio	3	4422.899	10.57	Junção 3	Junção 5
14	Tejipio	4	3744.239	11.05	Junção 5	Junção 9
15	Tejipio	5	2119.778	38.72	Junção 9	SA=2.28

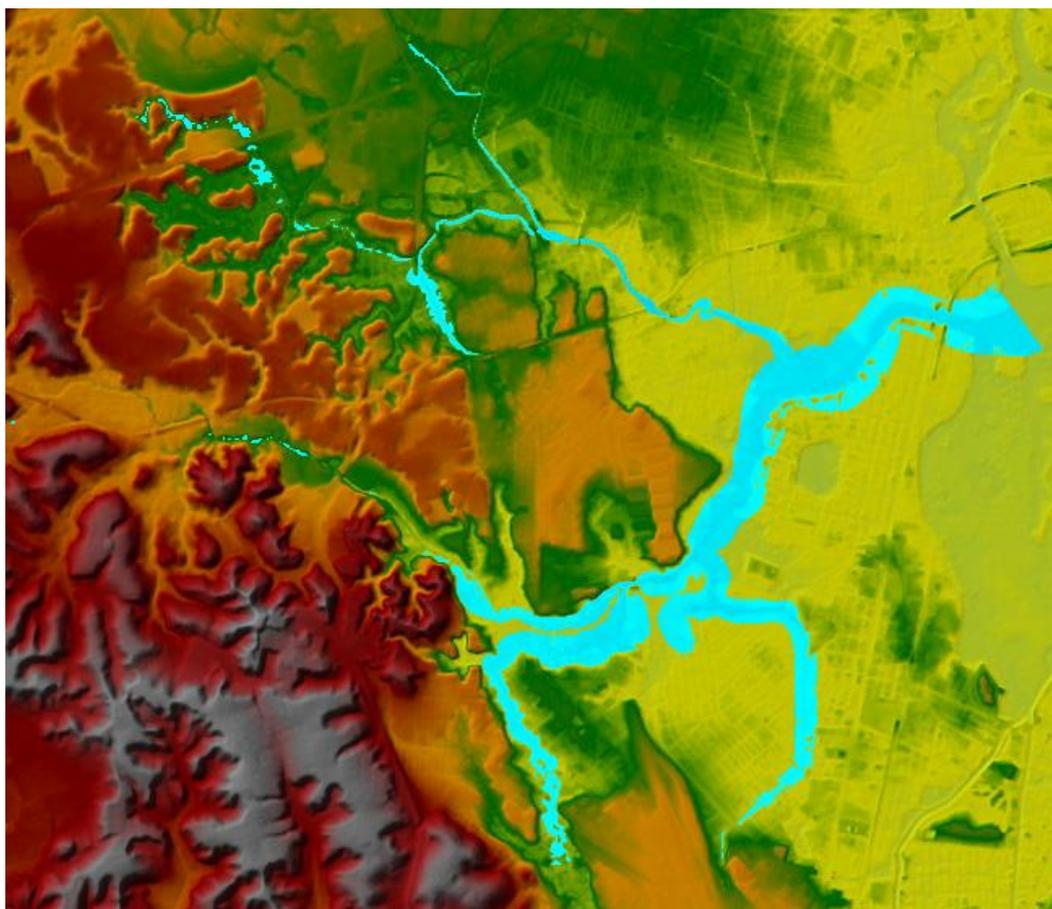
Nota: S - declividade, em m/m; SA - cota da superfície de água, em m.

Fonte: O autor.

O resultado referente às áreas inundáveis para esse cenário é apresentado na Figura 63. Na Figura 64 é mostrado um trecho ampliado comparando os cenários de 2018 com o de 2100. A mancha esverdeada contida na mancha azul representa o cenário de 2018, onde há atuação apenas do evento de marés, e a mancha azul, o cenário com aumento do NMM em 82 cm que abrange também a mancha esverdeada.

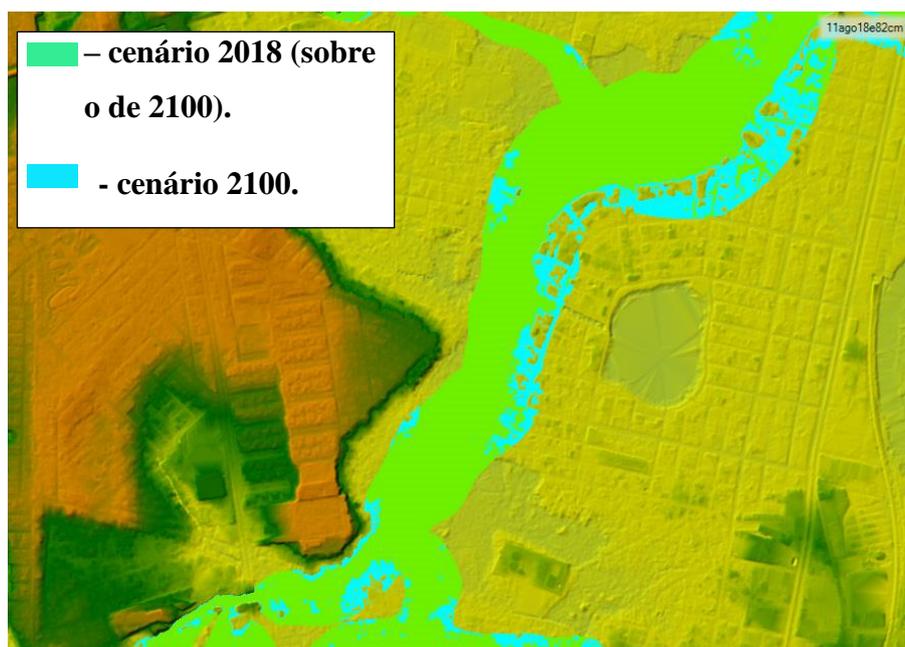
O novo nível de água no rio Moxotó com a confluência da ponte na av. Dois Rios pode ser verificado na Figura 65, onde constata-se um aumento de 40 cm aproximadamente em relação ao cenário de 2018, quando foi simulado o sistema apenas com o evento de maré. Em relação às cotas superficiais da região, esta será impactada com inundações até a cota 3,74 m (*datum* DHN) que corresponde a cota 2,60 m (*datum* IBGE).

Figura 63-Mancha de inundação para o cenário de 2100.



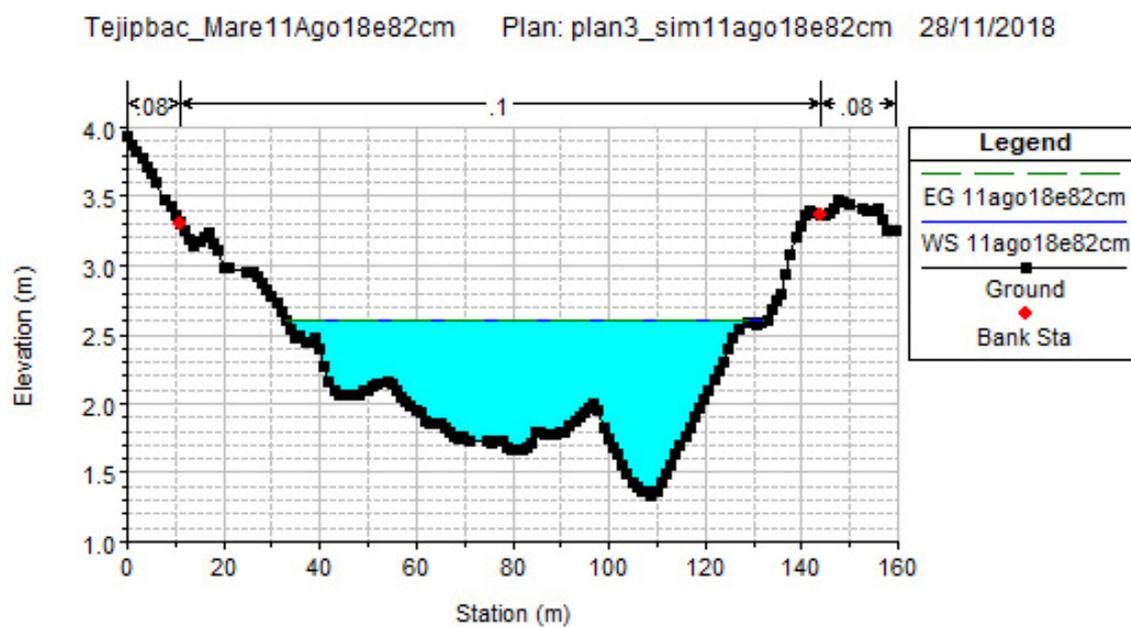
Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

Figura 64-Sobreposição de manchas de inundação para cenários de 2018 e 2100.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

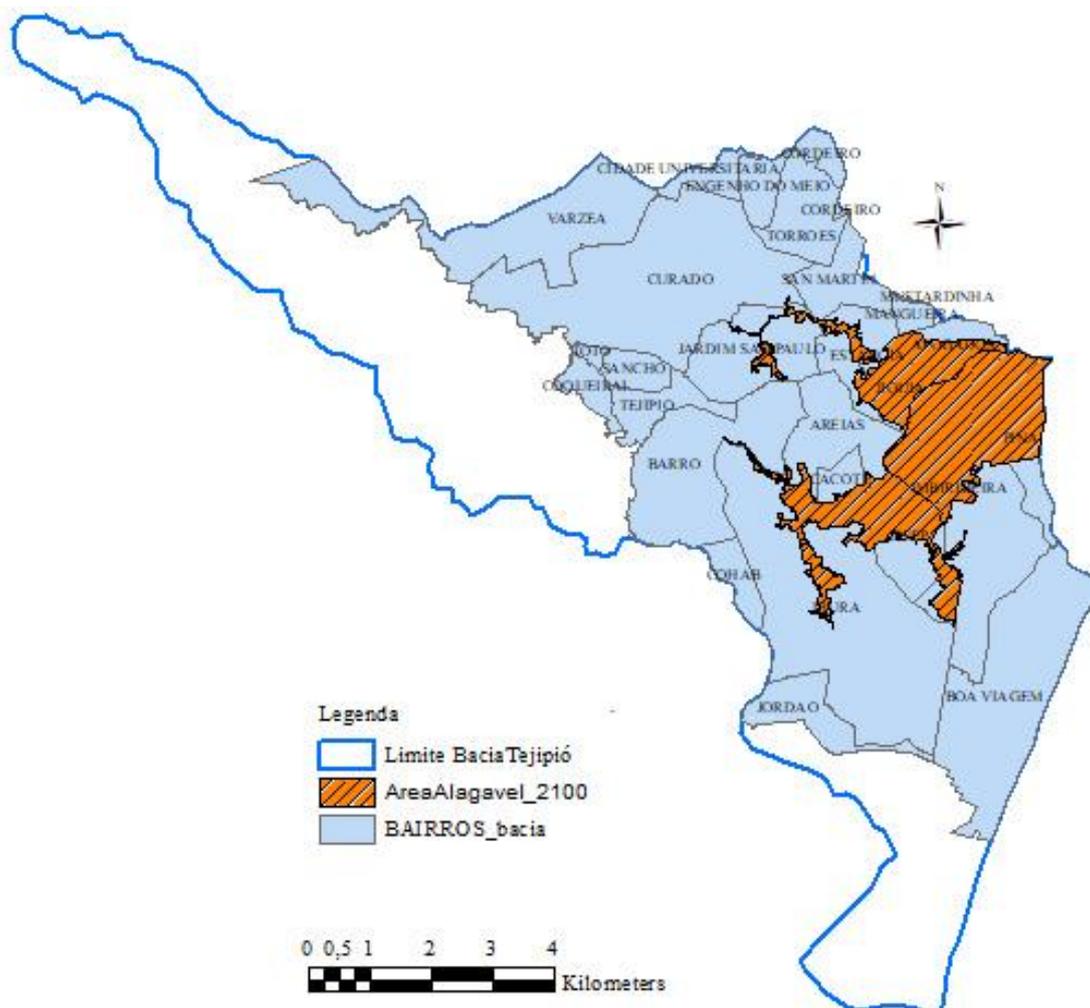
Figura 65-Seção do rio Moxotó próximo a av. Dois Rios (cenário2100).



Fonte: O autor.

A delimitação da região inundável na bacia do rio Tejipió para o cenário de 2100 pode ser observado na Figura 66. Esse procedimento baseou-se na vetorização da região a partir das altitudes de linha d'água obtidas nas simulações, dos principais rios e riachos da bacia.

Figura 66-Região de inundação para o evento de aumento do nível médio do mar previsto para 2100.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de base cartográfica (RECIFE, 2013).

#### 4.4.5 Cenário de 2100 com evento de precipitações de tempo de retorno de 25 anos

Nessa etapa final foi procedida uma simulação para o cenário de 2100 (evento de maré incrementado com 82 cm), com as vazões geradas no SWMM, para precipitações com tempo de retorno de 25 anos. A Tabela 21 são apresentados os dados dessas vazões por trecho de rio e respectiva condições limites dos trechos, foi inclusive considerado a mesma condição de contorno para o exutório do rio Tejipló, ou seja, a altitude máxima do evento de maré de 11 de agosto de 2018 incrementado com 82 cm. Um dos resultados dessa situação é mostrado na Figura 67 onde pode-se constatar a nova mancha de inundação na bacia do rio Tejipló.

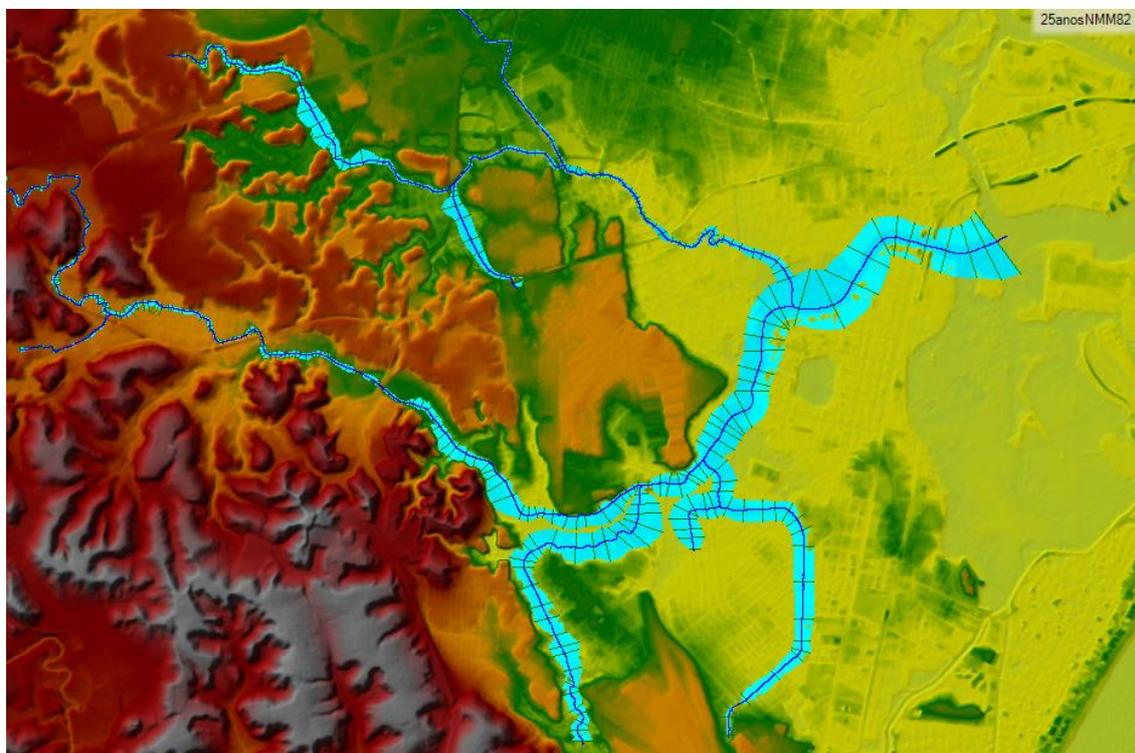
Tabela 21- Vazões e condições de contorno para o evento de 2100 com precipitações para T=25 anos.

seq.	Rio	Trecho	Estação	Q	Condições de contorno	
				(m <sup>3</sup> /s)	montante	jusante
1	Guarulhos	1	1122.337	6.69	S = 0.001569	Junção 11
2	Jangadinha	1	924.2636	1.84	S = 0.003913	Junção 2
3	Jiquia	1	7362.547	7.09	S = 0.002671	Junção 11
4	Jiquia	2	4003.694	16.36	Junção 11	Junção 13
5	Jiquia	3	2842.99	25.96	Junção 13	Junção 9
6	Malaria	1	3310.356	5.88	S = 0.000868	Junção 7
7	Malaria	2	329.6809	8.22	Junção 7	Junção 5
8	MariaLucia	1	589.7436	2.45	S = 0.002763	Junção 7
9	Moxoto	1	3271.073	18.51	S = 0.000874	Junção 3
10	SaoLeopoldo	1	1993.68	12.81	S = 0.001651	Junção 13
11	Tejipio	1	25719.91	5.44	S = 0.006505	Junção 2
12	Tejipio	2	10040.37	16.2	Junção 2	Junção 3
13	Tejipio	3	4422.899	16.12	Junção 3	Junção 5
14	Tejipio	4	3744.239	33.67	Junção 5	Junção 9
15	Tejipio	5	2119.778	42.71	Junção 9	SA=2.28

Nota: S - declividade, em m/m; SA - cota da superfície de água, em m.

Fonte: O autor.

Figura 67-Mancha de inundação para o cenário de 2100 com precipitações para TR=25 anos.



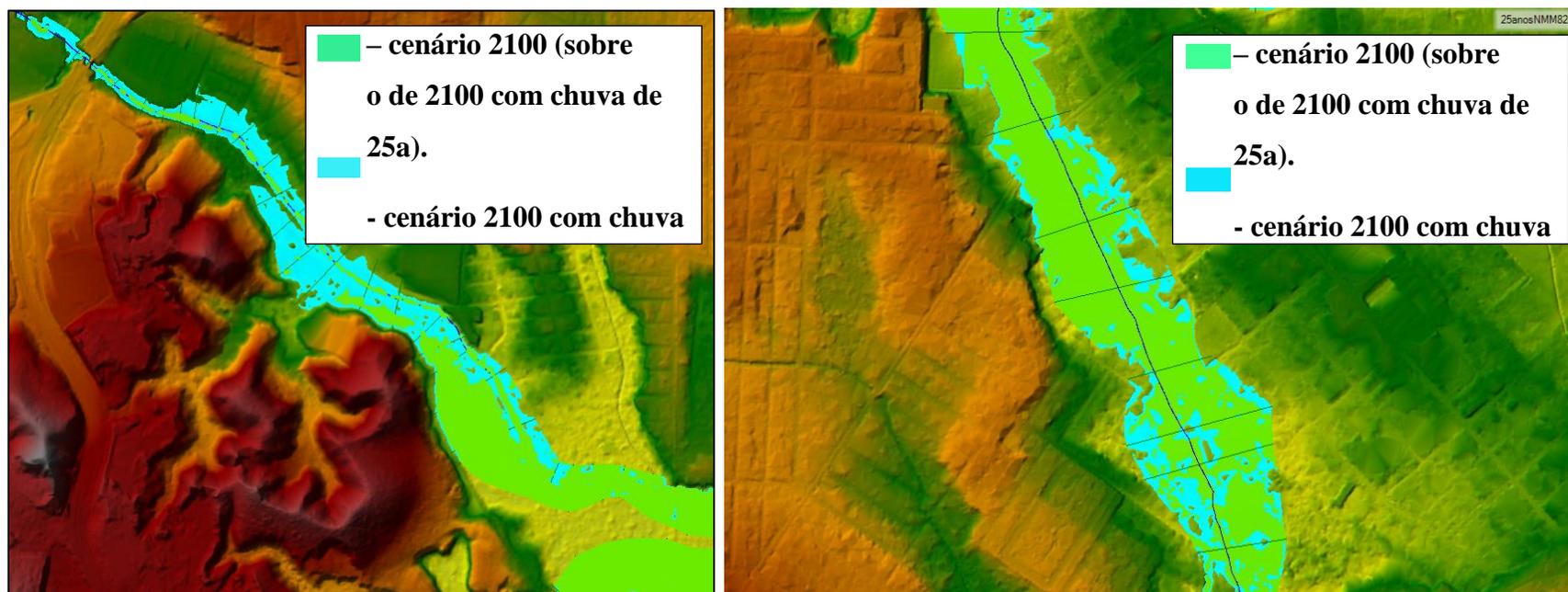
Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

Na Figura 68 procurou-se mostrar a diferença entre as manchas de inundações em trechos da bacia do rio Tejipió. Para o cenário de 2100 (apenas evento do aumento do NMM em 82 cm), região esverdeada, e para o cenário de 2100 com o evento de chuva para um tempo de retorno de 25 anos (mancha azulada). Esses trechos referem-se a:

- (a) Trecho do rio Tejipió entre a BR 101 e a av. Recife;
- (b) Trecho do rio Moxotó nas proximidades da av. Dois Rios.

Vale salientar que em primeiro plano é apresentada a região inundada para o cenário de 2100, sem o evento de chuvas intensas (mancha esverdeada). Na camada inferior (mancha azul), que abrange a região esverdeada, é apresentada a mancha de inundação para o mesmo cenário, e mais o evento de chuva com o tempo de retorno de 25 anos.

Figura 68-Sobreposição de manchas de inundação para cenário de 2100 em dois pontos distintos da bacia do rio Tejipió.



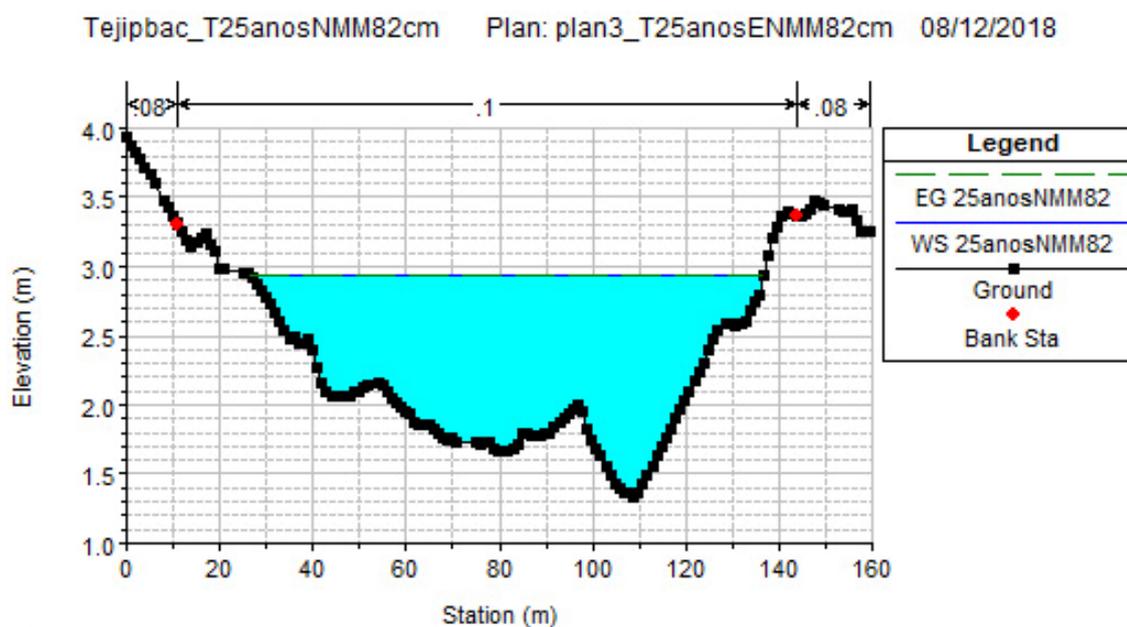
(a) Trecho do rio Tejipió entre a BR 101 e a av. Recife.

(b) Trecho do rio Moxotó nas proximidades da av.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do HEC-RAS.

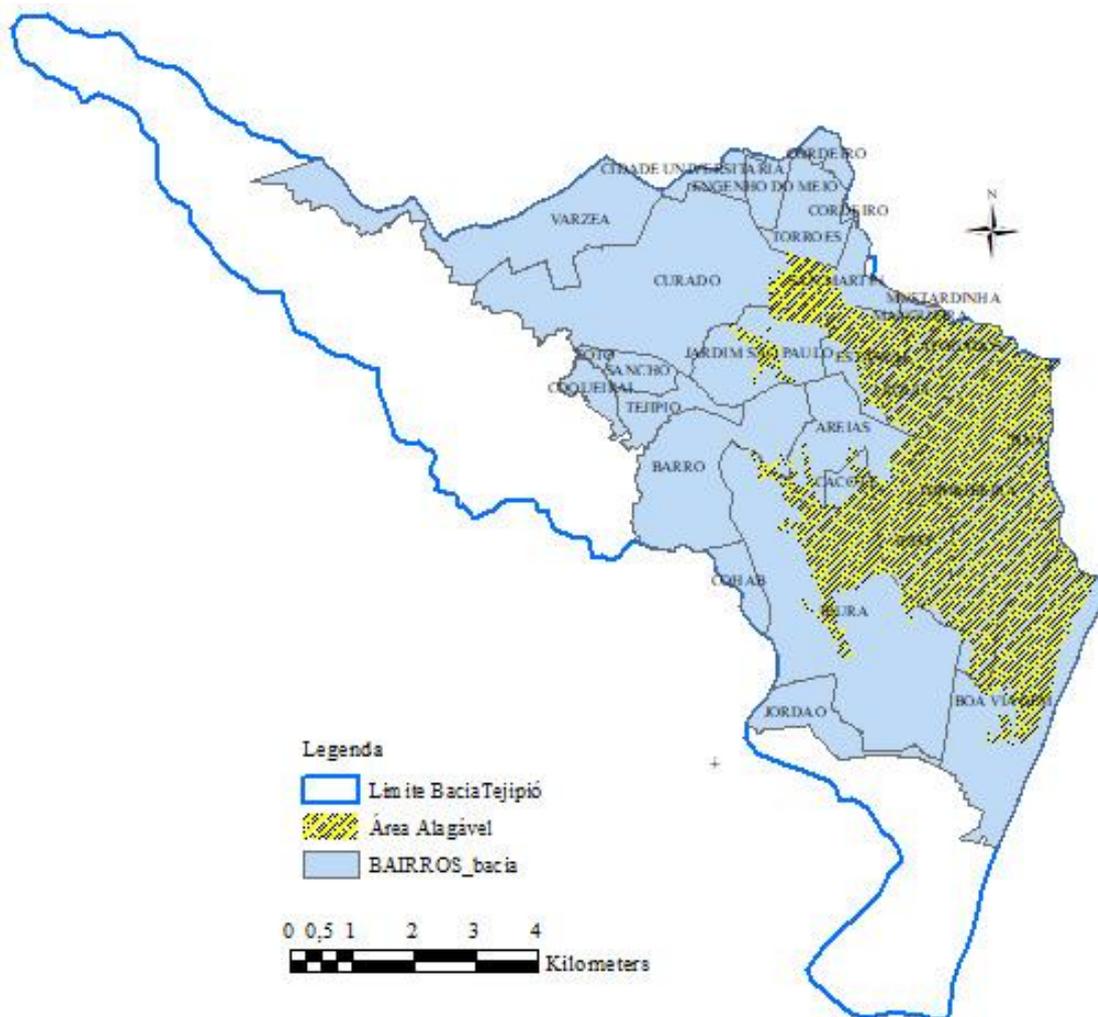
Na região do rio Moxotó próximo a confluência com a av. Dois Rios, o nível de água previsto nessa simulação pode ser constatado na seção apresentada na Figura 69, onde a cota máxima prevista para a área inundada é de aproximadamente 2,93 m, com base referencial do IBGE, o que equivale a uma cota de 4,07 com base no *datum* do DHN. Com base nas cotas de altitudes de água nas seções dos rios e riachos do modelo, foi vetorizado, no ambiente do ArcGis, a delimitação da região de inundação para o cenário de aumento do nível médio do mar para o cenário de 2100, com incidência de precipitações na bacia hidrográfica para um tempo de retorno de 25 anos. Na Figura 70 mostra o resultado desse traçado, na camada de bairros (RECIFE, 2013), que se baseou nas curvas de níveis constantes nas ortofotocartas (CONDEPE/FIDEM 91974).

Figura 69-Seção do rio Moxotó próximo a av. Dois Rios (cenário 2100 com chuvas de 25 anos).



Fonte: O autor.

Figura 70-Mancha de inundação da bacia do rio Tejiptó para o cenário de 2100 com chuvas para TR= 25 anos.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de base cartográfica (RECIFE, 2013).

## 5 CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que se refere à geomorfologia da bacia hidrográfica, verificou-se que a bacia do rio Tejipió apresenta eventos de alagamentos devido a cheias e/ou remansos ocasionados por ocorrências de marés. No trecho médio são constatados, ao longo de anos, alagamentos devidos principalmente às cheias do rio Tejipió, tanto na confluência com o riacho Jangadinha como nas mediações da rua Guanabara no bairro do Totó.

Na região da planície que contempla cerca de 50 % da bacia com predominância de cotas entre 2,00 m e 10,00 m, além das cheias do rio Tejipió e de seus principais afluentes, constata-se que os eventos de marés influenciam no regime de escoamentos desses rios e riachos, proporcionando também alagamentos em vários pontos, mesmo sem a ocorrência de precipitações, podendo ser citada regiões nas proximidades do próprio rio Tejipió, nas proximidades dos rios Jiquiá e Moxotó e dos riachos Guarulhos e Arquiteta Maria Lúcia.

Os eventos de alagamentos têm sido acompanhados por vários anos, e tem se constatado a intensificação desses eventos. E no caso da confluência da av. Recife com a av. Dom Helder Câmara, foram desenvolvidos projetos para mitigação dos problemas. Dentre eles, destaca-se a implantação de uma bacia de amortecimento com uma estação elevatória com comporta, que objetiva principalmente a proteção contra remansos das marés de sizígia. Porém constatou-se, em monitoramentos ao longo de anos, que essas intervenções não impediram a ocorrência de alagamentos na localidade pela ocorrência de marés de sizígia com cotas acima de 2,30 m (DHN).

As observações resultantes do monitoramento realizado, além de proporcionar a calibração e validação do modelo proposto para os processos de simulações para outros cenários, proporcionou algumas conclusões com relação ao comportamento do nível do rio, a partir de eventos de chuvas intensas e de marés de sizígia, bem como simulação de cenários com ocorrência desses eventos simultaneamente.

Além da obtenção dos níveis de alagamentos, foi possível avaliar o período médio de propagação da onda de remanso, ocasionada por uma maré de sizígia, até a estação de monitoramento, cujos resultados estabeleceram um tempo entre 46 e 55 minutos para que uma onda de remanso de evento de maré alta seja registrada na estação de monitoramento no Caçote.

Considerando a pior situação, o cenário para 2100, quando se prevê um aumento de 82 cm no nível médio dos mares, foram procedidas análises de impactos na bacia do Rio Tejipió no que se refere a subida do nível dos rios e riachos considerados no modelo para duas situações: um evento com maré alta e outro com a ocorrência simultânea de maré e uma precipitação ocorrendo em toda bacia.

Considerando apenas um evento de maré igual ao ocorrido no dia 11 de agosto de 2018, as simulações para o cenário de 2100 apresentaram níveis médios máximos (cotas DHN) de água nas seções de: 2,60 m para o rio Tejipió, rio Jiquiá e riachos Arquiteta Maria Lúcia e da Malária; 2,79 m para o riacho Guarulhos; e 2,39 m para o rio Moxotó. A delimitação com essas cotas resultou numa área de inundação de 9,08 km<sup>2</sup>, representando cerca de 17,54 % da região de planície da bacia hidrográfica. Nesse cenário constata-se, na simulação, alagamentos em partes de bairros como Afogados, Jiquiá, Imbiribeira, IPSEP, Ibura e Areias como os mais impactados.

Considerando para o cenário de 2100 (com maré igual a ocorrida no dia 11 de agosto de 2018) um evento pluviométrico com tempo de retorno de 25 anos, foi constatado nas simulações um nível médio máximo entre 3,60 m e 4,00 m nas seções dos mesmos corpos d'águas. Para esse cenário constatou-se nas simulações uma área alagada de 20,09 km<sup>2</sup> correspondendo a 38,80 % da região de planície da bacia hidrográfica, constatou-se ainda que bairros como IPSEP, Imbiribeira, Jiquiá e Afogados tiveram suas áreas quase que na totalidade inundadas por um período superior a 14 horas, tomando como base o período de 24 horas referente ao tempo de simulação, o que corresponde a mais de 60 % do período com água em logradouros dos bairros citados.

As simulações procedidas no SWMM em seu módulo hidrodinâmico e no HEC-RAS indicaram alagamentos em diversas áreas dessa região para os cenários propostos. Os resultados de altitudes das seções no HEC-RAS e das junções no SWMM apresentaram cotas semelhantes. Por exemplo, para o cenário de 2100 com evento pluviométrico com  $T = 25$  anos, no SWMM as cotas se estabeleceram entre 3,20 m e 3,80 m e no HEC-RAS as cotas se mantiveram próximas de 4,00 m para calha do rio Tejipió e afluentes localizados na região dos bairros do IPSEP, Ibura, Imbiribeira e Jardim São Paulo.

A alimentação do modelo com informações das características físicas dos rios e riachos e das sub bacias, é de grande importância no que diz respeito a representar a realidade do local, podendo ser utilizadas no planejamento de futuras intervenções.

Com base nos resultados das simulações para os cenários propostos no HEC-RAS, destaca-se a definição dos limites da região inundável a partir das cotas dos níveis de água simuladas para as seções dos rios. O lançamento dessas cotas numa base com curvas de níveis (ortofotocartas CONDEPE/FIDEM, 1974), proporcionou obter melhores resultados na definição de manchas de inundações. Haja vista que, a delimitação de manchas de inundação a partir do modelo no HEC-RAS é função da extensão das seções transversais. Procurou-se estender as seções o máximo possível com várias simulações, porém, em regiões com baixa declividade, a mancha de inundação pode se alargar bastante e alguns parâmetros do modelo no modo 1D, limitaram essa ação principalmente com relação ao número de pontos vetorizados das seções (limite de 500 pontos por seção).

O modelo da bacia concebido compõe uma ferramenta com capacidade de simular eventos de cheias, remansos causados pelos movimentos das marés, como também aumento dos níveis médios dos mares; possibilitando auxiliar nas tomadas de decisões na área de gestão pública, incluindo auxiliar e orientar órgãos de Defesa Civil dos municípios envolvidos com previsão de cheias e inundações para cenários referentes ao aumento do nível do mar.

As simulações procedidas para os cenários de elevação do nível médio do mar, de acordo com o IPCC, proporcionaram a obtenção de resultados onde pode ser constatado que a região baixa da bacia do rio Tejiipió (planície) será o setor que terá impactos diretos significativos principalmente para a questão habitacional.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Como não existem registros de vazão no rio Tejipió, a avaliação de parâmetros ficou limitada apenas aos dados registrados no sensor de nível instalado em um único ponto do rio Tejipió. A continuidade do monitoramento e a implantação em outros pontos de monitoramento na bacia, propiciará melhores resultados para calibração de modelos e consequente definição da região com influência das marés de sizígia.

O monitoramento com medições de vazões dos principais rios da bacia faz-se necessário para estabelecer condições de contorno para estudo de sub bacias isoladamente.

Recomenda-se analisar a possibilidade de usar a ferramenta de modelagem SWMM, incluindo o estudo de todas as sub bacias, o que provavelmente resultará em uma melhoria nos resultados. Haja vista que essa ferramenta propicia tanto a modelagem hidrológica como hidráulica, seu uso poderá ser assim aplicado separadamente para as regiões alagáveis.

Outro aspecto tem a ver com a geomorfologia da cidade, na parte baixa da bacia que se caracteriza como uma planície. Há uma dificuldade de conformação das seções, sendo necessário conceber seções com extensões maiores, o que não aconteceria em ambientes com relevo de altas elevações, em relação aos talwegues em que as seções se apresentam bem definidas. Portanto, recomenda-se no caso de bacias como as da cidade do Recife, a necessidade de se estender ainda mais as seções em vários pontos para que o modelo apresente manchas de inundações próximas da realidade.

Recomenda-se a incorporação de imagens de ortofotocartas ou de satélite para propiciar a melhor vetorização de rios e riachos no ambiente do HEC-GeoRAS.

Vale destacar a importância da base de dados espaciais de alta resolução aplicada nesse estudo, como o modelo digital do terreno concebido a partir da escala 1:1000, permitindo inclusive o planejamento de ocupação do território com definições de cotas ideais para orientar o processo de ocupação. Recomenda-se, portanto, o uso da tecnologia Lidar (*Light Detection And Ranging*) para mapeamento das elevações do terreno com boa precisão.

Recomenda-se ainda a realização de atividades para conscientização dos gestores públicos e da sociedade como um todo, quanto a necessidade de se buscar soluções e

recursos para amenizar os efeitos dos respectivos cenários aqui simulados. Dentre estas soluções, pode-se destacar a manutenção de áreas de preservação ambiental e as áreas de amortecimentos de cheias e de marés de sizígia, incentivando a aplicação de técnicas compensatórias de drenagem, visando a diminuição dos escoamentos superficiais. Vale a pena destacar, também, a necessidade de realização de atividades comunitárias como realizações de seminários que visem conscientizar a sociedade como um todo, principalmente a parcela desta que sofrerá diretamente os impactos devidos às mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

- AMBIENTE BRASIL.. Publicação eletrônica. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/natural/clima/clima - classificacao dos climas do brasil.html>> acesso em novembro de 2018.
- ACQUA-PLAN CONSULTORIA; CONDEPE/FIDEM (Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife).. **Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife**, disponível na EMLURB. Recife – PE, 1980.
- ALCOFORADO, R. G., **Simulação Hidráulico-hidrológica do Escoamento em Redes Complexas de Rios Urbanos: Suporte de Informações Espaciais de Alta Resolução**. 2006. 272 p. Tese de Doutorado – Recife – PE - 2006.
- ALENCAR, J. C. M.. **Datum Altimétrico Brasileiro**, DEGED (Departamento de Geodésia) - IBGE – Separata de Cadernos de Geociências, nº 5- Rio de Janeiro – Brasil, 5 p., 1990.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, F. M.. Revisão Geológica da Faixa Costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte e do seu Embasamento - A Formação Barreiras - **Boletim DGEO/UFPE - SERIE ESTUDOS E PESQUISAS**, v. 10, p. 77-88, 1991.
- ALMEIDA, E. R.. **Modelação Hidrológica de Inundações Urbanas baseada em Dados Geoespaciais de Alta Resolução**. 2015. 110 p. dissertação de Mestrado submetida a Universidade de Lisboa, 2015.
- ALMEIDA, I. K.; ANACHE, J. A. A.; ALMEIDA, V. R.; ALVES SOBRINHO, T.. Estimativa de Tempo de Concentração em Bacia Hidrográfica. *In XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. – Rio Grande do Sul, 2013 -9 p.
- BARNES Jr, H. H.. **Roughness Characteristics of Natural Channel**, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, Washington, 219 p., 1987.
- BARTH, F. T.; POMPEU, C. T.; FILL, H. D.; TUCCI, C. E. M.; KELMAN, J.; BRAGA, B. P. F.. **Modelos Para Gerenciamento de Recursos Hídricos**, edição: Nobel/ABRH - São Paulo – SP, 525 p. 1987.
- BASTOS, A. P.. **Análise dos Parâmetros do Modelo SWMM para Avaliação do Escoamento em duas bacias Periurbanas em Santa Maria**, 2007. 170 p. Dissertação de Mestrado disponível em < <http://cadastrhidro.ana.gov.br/arquivos/dissertacao>> Porto Alegre – RS, 2007.

BATES, P.; TRIGG, M.; NEAL, J.; DABROWA, A.. **LISFLOOD-FP User Manual - School of Geographical Sciences**, University of Bristol, University Road, Bristol, BS8 1SS, UK, 2013.

BRUNNER, G. W.; CEIWR-HEC, HEC-HAS. **River Analysis System User's Manual** – version 5.0 - 960 p., Davis, California – USA, 2016

CABRAL, J. J. S. P.; ALENCAR, A. V.. **Gestão de Território e Manejo Integrado das Águas Urbanas**, organizado por Escola Internacional da Água para o Desenvolvimento – *Hydroaid*, PP. 111 – 130, 2005.

CARNEIRO, P. R. F.; MIGUEZ, M. G.. **Controle de Inundações em Bacias Hidrográficas Metropolitanas**, Annablume, São Paulo – SP, 2011.

CEMADEN. Dados de Pluviômetros Automáticas – PCDs, disponível em:< <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>> acessado em novembro de 2017.

COLLODEL, M. G.. - **Aplicação do Modelo Hidrológico SWMM na Avaliação de Diferentes Níveis de Detalhamento da Bacia Hidrográfica Submetida ao Processo de transformação Chuva-Vazão**, 2009. 225 p. Dissertação de Mestrado – São Carlos – SP, 2009.

CONDEPE/FIDEM. **Mapa da cidade do Recife** produzido pelo Exército Brasileiro e incorporado ao acervo do CONDEPE/FIDEM, 1943.

CONDEPE/FIDEM. **Mapa da cidade do Recife** produzido pela Prefeitura do Recife e incorporado ao acervo do CONDEPE/FIDEM, 1965.

CONDEPE/FIDEM. **Aerofotogrametria da Região Metropolitana do Recife** - Governo do Estado de Pernambuco, – disponível em < <http://www.condepefidem.pe.gov.br/web/condepe-fidem/apresentacao19>>, 1974.

CONDEPE/FIDEM. **Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife**- Governo do Estado de Pernambuco, disponível na Emlurb – Recife. 1980.

COUTINHO, A. P.; LASSABATERE, L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; JARAMILLO, R. A.; CABRAL, J. J. S. P. **Hydraulic characterization and hydrological behaviour of a pilot permeable pavement in an urban centre**, Brazil. *Hydrological process*, 30, 4242 – 4254, 2016.

ENCIBRA S.A. ENGENHARIA DE CONSULTORIA; PREFEITURA DO RECIFE.. **Plano Diretor de Drenagem Urbana para a Cidade do Recife**, disponível na EMLURB. Recife – PE, 1978.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI, **Arc Hydro Geoprocessing Tools - Tutorial** - v 2.0 – 252 p., Redlands -California – USA, 2011.

FERNADEZ, P.; MOURATO, S.; MOREIRA, M.. Comparação dos Modelos HEC-RAS e Lisflood-FP na Delimitação de Zonas Inundáveis – **Revista Recursos Hídricos – APRH** (Associação Portuguesa de Recursos Hídricos) –34 (1), 63 a 73, 2013.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A.. **Hidrologia**, edição Edgard Blücher, São Paulo – Brasil, 291 p., 2011.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D.. Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela, **ABRH/RBRH-V11.N7**- Porto Alegre – RS, 2006.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D.; BRITES, A. P. Z.; PAIVA, R. C. D.. **Avaliação da Discretização em uma Bacia Hidrográfica Urbana, através do Modelo SWMM**, In XXI Congresso Latino-americano de Hidráulica, São Pedro – São Paulo-2004. Disponível em < <http://www.ufsm.br/iurh/Trabalhos%20publicados>> Santa Maria – RS, 10 p., 2004.

PERNAMBUCO.. PE3D – Dados de Ortofotos, MDE Raster, MDE XYZI, MDT Raster e MDT XYZ da Região Metropolitana do Recife – fornecidas pela Secretaria de Recursos Hídricos do Governo do Estado de Pernambuco, 2016.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, R. T.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N.. Trends in Intense Precipitation en the Climate Record – *American Meteorological Society, Journal of Climate*, 18, 1326 a 1350, 2005.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA).. **Censo Demográfico, 2010**, disponível em < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html>> acessado em novembro de 2017.

INSTITUTO HIDROGRÁFICO, **Tabela de Marés** – Generalidades, I, 199 págs., Lisboa – Portugal, 2018.

INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA).. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**, disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> acessado em novembro de 2017.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - **The Physical Science Basis** - Summary for Policymakers, 33 págs., pg. 18 – 21, 2013.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J.. **Cities and Flooding** - The World Bank, GFDRR (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery), Whashington, DC, 54 p.2012.

MARENGO, J. A.; SCHAEFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W.. **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil** – FBDS (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável) – disponível em: <[http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas.pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf)>, 76 p., 2009.

PEREIRA, L.; ALMEIDA, N. V.; SANTOS, C. A. G., Identificação de Áreas Susceptíveis a Inundação na Bacia do Rio Cuiá – PB, Artigo publicado no portal de Pesquisa *Researchgate.net/publications*, –acessado em 2018 e disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/305905095>> 13 p., 2006.

RECIFE.. **Estudo e Concepção do Plano de Manejo de Águas Pluviais do Recife** – PDDR-, disponível na EMLURB. Recife, 2016.

RECIFE.. **Aerofotogrametria da cidade do Recife** – Prefeitura do Recife, disponível na SEMOP -Secretaria da Mobilidade e Planejamento do Recife, 2013.

RECIFE.. **Plano Diretor do Recife - LEI No 17.511** - disponível em <<https://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/planodiretor/>>, 2008.

RECIFE.. **Atlas Ambiental do Recife** – Prefeitura do Recife/ Secretaria de Planejamento Urbanismo e Meio Ambiente, 157 p., 2000.

RAMOS, A. M.; AZEVEDO, J. R. G.. Equação de Chuvas Intensas para a cidade do Recife –Pernambuco. *In X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 2010.

RIBEIRO, S.K.; SANTOS, A.S.. **Mudanças Climáticas e Cidades**, Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116 p, 2016.

ROSSMAN, L. A.. **Storm Water Management Model User's Manual**, USA EPA (United States Environmental Protection Agency). Edição revisada disponível em <<http://www.epa.gov/epahome/scitech.htm>> - 353 p. - New York-USA, 2010.

SALEY, B.; BI, V. H. N; WADE, S.; VALERE, D. E.; KOUAME, F.; AFFIAN, K., **Cartographie du Risque D'Inondation par Une Approche Cpuplée de la Télédétection et des systems D'Informations Géographiques (SIG) dans le Département de Sinfra (Centre-Ouest de la Cote D'Ivoire) – Europe Scientific Journal**, vol. 10, No. 2 ISSN: 1857-7881 – p. 170 a 191, 2014.

SILVA JUNIOR, M. A. B., **Alternativas Compensatórias para Controle de Alagamentos em Localidade do Recife** 2015. dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, 138 p. – Recife – Pernambuco – 2015.

SILVA, EDUARDO C. DA ; CABRAL, JAIME J. DA S. P. ; FERNANDES, RONABSON C. ; GUSMÃO, LUCIANA DE O. ; AZEVEDO, JOSÉ R. G. DE . **Spatial variability of precipitation correlated with relief in Recife metropolitan region and surrounding areas**. Journal of Hyperspectral Remote Sensing , v. 6, p. 225-234, 2016.

SILVA, P. O.; CABRAL, J. J. P. S.. **Atenuação de Picos de Vazão em Área Problema: Estudo Comparativo de Reservatórios de Detenção em Lote, em Logradouros e em Grande Área da Bacia – ABRH - RBRH**, 19 (2), 7-18, 2014.

SOLINST CANADA. **User Guide - Levellogger Series** - Software Version 4, Canadá. 86 p., 2014.

SOLOMON, S.; PLATTNER, G.K.; KNUTTI, R.; FRIEDLINGSTEIN, P.. **Irreversible Climate Change due to Carbon Dioxide Emissions** – PNAS ( Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America) disponível em <[http://www.pnas.org/content/106/Supplement\\_2.toc](http://www.pnas.org/content/106/Supplement_2.toc)>, 106, (06), p. 1704 – 1709, 2009

SOUZA, R. M.; CRISPIM, D. C.; FORMIGA, K. T. M.. Estudo Comparativo entre os Modelos SWMM e HEC-Hms para Simulação de Escoamento Superficial – Caso de Estudo Bacia do Córrego Samambais, **REEC -Revista Eletrônica de Engenharia (2)**: p.1a11, 2012.

SOUZA, W. M.. **Impactos Socioeconômicos e Ambientais dos Desastres Associados às chuvas na Cidade do Recife-PE**, 2011. Tese de Doutorado- Campina Grande – PB, 140 p., 2011.

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE; VASP; PROSPEC; GEOFOTO.. **Cartas Topográficas** (Projeção UTM Córrego Alegre) de Recife, São Lourenço e Jaboatão, Cobertura aérea 1970/1971 (Folhas: SC.25-V-A-III-NO, SB.25-Y-C-V-4-SE e SC.25-V-A-II-2-NE), Recife -1971.

TUCCI, C. E. M.. **Modelos Hidrológicos**, edição UFRGS/ABRH, Porto Alegre – RS, 678 p., 2005.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C.. **Inundações Urbanas na América do Sul**, edição ABRH, Porto Alegre, RS-Brasil 156 p. 2003.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.. **Hidrologia Aplicada**, edição McGraw-Hill, São Paulo-Brasil, 245 p., 1975.

VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M.. **Human Domination of Earth's Ecosystems** – Science, New Series, 277, (5325), 494-499, 1997.

WATSON, R. T.; ZINYOWERA, M. C.; MOSS, R. H.; DOKKEN, D. J., **Impactos Regionales del Cambio Climático: Evaluación de la Vulnerabilidad** – Grupo de Trabajo II del IPCC, 27 p., 1997.

**APÊNDICE A – RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO SWMM DE 29 DE JUNHO DE 2015**

RIACHO/TRECHO	VAZÃO MAX.	OCORRÊNCIA	VELOCIDADE	VAZÃO	PROFUNDIDADE
	(m³/s)	(h)	(m/s)	(m³/s)	(m)
Guarulhos1	1.52	08:00	1.65	0.58	0.78
Guarulhos2	1.52	08:03	0.96	0.07	0.28
Guarulhos3	1.51	08:02	0.85	0.42	0.83
Guarulhos4	1.48	08:00	0.92	0.05	0.80
Guarulhos5	3.76	04:01	0.47	0.17	0.91
Guarulhos6	4.07	09:19	1.30	0.09	0.55
Jiquia1	2.30	04:08	0.44	0.25	0.80
Jiquia2	3.85	04:12	0.38	1.80	1.00
Jiquia3	3.20	09:34	0.49	0.82	0.98
Jiquia4	2.20	09:07	0.69	1.69	1.00
Jiquia5	2.24	10:18	1.06	0.06	0.74
Jiquia6	5.89	09:08	0.56	0.05	0.36
Jiquia7	5.76	09:11	0.65	0.32	0.63
Jiquia8	6.04	09:11	0.53	0.10	0.71
Jiquia9	5.81	09:10	0.78	0.01	0.54
Jiquia10	15.95	10:10	0.37	0.59	0.72
Jiquia11	16.20	10:14	0.36	0.73	0.70
Jiquia12	16.91	10:13	0.38	1.46	0.80
Jiquia13	16.54	10:32	0.32	1.16	0.93
Jiquia14	16.40	10:50	0.61	0.09	0.58
Jiquia15	16.32	11:00	0.51	0.68	0.61
Jiquia16	16.27	11:11	0.55	0.87	0.70
Jiquia17	16.38	11:30	0.60	0.19	0.73
Jiquia18	15.74	11:41	0.18	0.12	0.94
Jiquia19	14.21	11:44	0.38	0.59	0.92
Jiquia20	13.06	11:40	0.43	0.01	0.95
RioTejip1	2.54	04:40	0.21	0.41	0.80
RioTejip2	2.07	05:49	0.17	0.39	0.80
RioTejip3	2.91	11:44	0.17	0.62	0.80
RioTejip4	3.93	11:45	0.17	0.67	0.80
RioTejip5	4.44	11:47	0.24	1.56	0.80
RioTejip6	5.11	05:11	0.30	2.00	0.80
RioTejip7	23.62	09:20	0.88	9.45	0.74
RioTejip8	23.60	09:25	1.22	0.53	0.78
RioTejip9	23.59	09:29	0.99	0.60	0.79
RioTejip10	23.55	09:40	0.93	0.32	0.59
RioTejip11	23.79	09:45	0.78	0.06	0.46
RioTejip12	34.88	09:00	0.84	3.71	0.48
RioTejip13	36.46	09:05	1.13	0.23	0.57
RioTejip14	36.29	09:08	1.01	10.97	0.62
RioTejip15	36.11	09:09	1.11	0.27	0.74
RioTejip16	33.53	09:12	0.78	0.60	1.00
RioTejip17	30.14	09:14	0.67	0.10	0.88
RioTejip18	28.25	07:14	1.21	1.00	1.00

Resultado da simulação no SWMM de 29 de junho de 2015 (continuação).

RIACHO/TRECHO	VAZÃO MAX. (m <sup>3</sup> /s)	OCORRÊNCIA (h)	VELOCIDADE (m/s)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)	PROFUNDIDADE (m)
RioTejip19	3.87	07:24	0.63	1.82	1.00
RioTejip20	5.27	07:47	0.46	0.96	1.00
RioTejip21	5.45	00:00	1.55	10.61	0.95
RioTejip22	5.90	11:00	0.17	3.04	0.55
RioTejip23	6.81	09:25	0.19	0.20	0.51
RioTejip24	6.81	09:30	0.15	0.17	0.58
RioTejip25	7.94	07:40	0.16	8.62	0.58
RioTejip26	14.47	09:02	0.24	0.18	0.63
RioTejip27	14.30	09:09	0.20	0.25	0.76
RioTejip28	16.35	09:01	0.30	0.17	0.91
RioTejip29	17.60	09:01	0.23	0.03	0.79
RioTejip30	15.94	09:05	0.17	0.51	0.80
RioTejip31	24.97	18:39	0.11	0.25	0.83
RioTejip32	27.29	18:42	0.14	0.44	0.82
RioTejip33	29.87	18:31	0.14	0.23	0.56
RioTejip34	31.44	18:24	0.17	0.62	0.78
RioTejip35	94.58	01:00	0.49	2.12	0.66
MOXOTO1	0.59	02:08	0.41	0.05	0.58
MOXOTO2	0.53	00:00	0.33	0.01	0.51
MOXOTO3	0.58	11:50	0.27	0.02	0.59
MOXOTO4	1.39	07:52	0.40	0.04	0.56
MOXOTO5	2.13	00:00	0.70	0.01	0.60
Malaria1	6.24	07:49	0.43	1.27	0.99
Malaria2	5.33	10:13	0.31	0.94	0.89
Malaria3	5.50	10:17	0.31	0.33	1.00
Malaria4	4.66	00:04	0.36	0.50	0.97
Malaria5	15.85	00:01	1.04	0.33	0.86
MariaLucia1	2.26	08:01	0.61	0.11	0.65
MariaLucia2	2.26	08:08	0.30	1.49	1.00
MariaLucia3	2.26	08:09	0.33	0.47	0.97
MariaLucia4	5.14	09:27	0.29	0.86	1.00
CanalJordão1	0.53	08:19	0.32	0.00	0.20
CanalJordão2	30.01	09:01	2.43	0.22	0.33
CanalJordão3	29.95	09:03	1.86	0.13	0.34
CanalJordão4	29.79	09:08	1.31	0.21	0.44
CanalJordão5	29.42	09:17	1.12	0.21	0.63
CanalJordão6	50.95	00:58	0.47	0.06	0.50
RiachoJangadinha	26.68	09:02	0.95	0.03	0.49
RiachoLuxmburgo	0.26	00:00	0.51	1.62	1.00

**APÊNDICE B – RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO SWMM COM O EVENTO  
DE MARÉ DE 11 DE AGOSTO DE 2018**

TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)	TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)
CarlosBrito1	0.00	0.670	0.010	Curado3	0.06	0.390	0.010
CarlosBrito3	0.00	0.460	0.050	Curado4	0.00	1.250	0.000
CarneiroMariz1	0.00	0.090	0.000	Curado5	0.00	0.480	0.010
CarneiroMariz2	0.00	4.120	0.180	Curado6	0.09	0.380	0.010
RodaFogo1	0.00	0.870	0.020	Curado7	0.00	0.620	0.010
Torrões1	0.00	0.430	0.030	Curado8	0.00	0.180	0.020
Torrões2	0.00	0.640	0.020	Liberdade1	0.00	0.460	0.020
Torrões3	0.00	0.510	0.010	Liberdade2	0.00	1.130	0.070
Torrões4	0.00	0.390	0.020	Liberdade3	0.00	2.020	0.020
RodaFogo2	0.00	0.890	0.020	Curado9	0.00	1.060	0.090
Torrões5	0.00	0.280	0.040	30_outubro1	0.00	0.330	0.020
Torrões6	0.01	0.620	0.020	30_outubro2	0.00	0.690	0.090
Chesf1	0.00	0.340	0.010	Barreto1	0.00	0.570	0.210
Chesf4	0.00	0.630	0.270	Barreto2	0.00	0.780	0.060
Chesf5	0.00	0.440	0.010	Barreto3	0.00	0.270	0.000
21deAbril1	0.00	0.840	0.020	Barreto4	0.00	1.310	0.010
21deAbril2	0.00	0.530	0.020	Barreto5	0.00	0.700	0.000
21deAbril3	0.00	1.030	0.060	Areias1	0.00	0.890	0.010
21deAbril4	0.00	0.310	0.040	Areias2	0.00	0.640	0.010
Marinha1	0.00	0.360	0.040	Areias3	0.00	1.310	0.000
Marinha2	0.00	1.000	0.040	SãoLeopoldo1	0.00	0.130	0.000
Marinha3	0.00	1.810	0.040	SãoLeopoldo2	0.00	0.380	0.000
Marinha4	0.00	1.420	0.030	SãoLeopoldo3	0.00	0.210	0.010
Zepellin1	0.00	0.410	0.000	SãoLeopoldo4	0.02	0.450	0.000
Mangueira1	0.00	1.700	0.000	SãoLeopoldo5	0.03	0.160	0.020
Mangueira2	0.00	0.880	0.000	SãoLeopoldo6	0.05	0.390	0.000
Mangueira3	0.00	0.700	0.000	SãoLeopoldo7	0.00	1.400	0.010
SaoPedro1	0.00	0.400	0.030	JardSãoPaulo1	0.00	0.690	0.060
SaoPedro2	0.00	1.260	0.030	JardSãoPaulo2	0.00	1.960	0.130
SaoPedro3	0.94	0.250	0.030	JardSãoPaulo3	0.00	0.460	0.000
Sanbra1	0.00	0.540	0.040	JardSãoPaulo4	0.00	1.240	0.040
Sanbra2	0.00	1.190	0.220	Guarulhos1	0.00	0.790	0.080
Sanbra3	0.00	1.270	0.090	Guarulhos2	0.00	0.330	0.000
Sanbra4	0.00	0.540	0.100	Guarulhos3	0.00	0.610	0.080
Sanbra5	0.00	0.510	0.030	Guarulhos4	0.00	0.640	0.010
Sanbra6	0.00	0.390	0.060	Guarulhos5	0.00	0.440	0.020
Sanbra7	0.00	0.330	0.170	Guarulhos6	0.00	0.540	0.010
Sanbra8	0.00	0.730	0.320	Jiquia1	0.00	0.360	0.010
CarlosBrito2	0.00	0.450	0.030	Jiquia2	0.00	0.380	0.010
Sanbra9	0.00	0.770	0.150	Jiquia3	0.00	0.410	0.040
Sanbra10	0.00	1.720	0.100	Jiquia4	0.00	0.370	0.050
ITEP1	0.00	0.430	0.030	Jiquia5	0.00	0.700	0.010
ITEP2	0.00	0.340	0.030	Jiquia6	0.05	0.220	0.000
Curado1	0.00	0.170	0.000	Jiquia7	0.00	1.030	0.010
Curado2	0.01	0.420	0.020	Jiquia8	0.00	0.250	0.000

TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)	TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)
Jiquia9	0.00	0.190	0.000	RioTejip31	0.00	0.770	0.720
Jiquia10	0.62	0.140	0.000	RioTejip32	0.07	0.450	1.610
Jiquia11	0.61	0.170	0.010	RioTejip33	0.02	0.780	1.740
Jiquia12	0.61	0.210	0.020	RioTejip34	0.02	0.970	3.670
Jiquia13	0.61	0.190	0.020	RioTejip35	0.00	1.600	15.260
Jiquia14	0.60	0.280	0.000	Pacheco1	0.77	0.020	0.000
Jiquia15	0.59	0.180	0.020	Pacheco2	0.96	0.030	0.000
Jiquia16	0.59	0.260	0.020	Pacheco3	0.96	0.020	0.000
Jiquia17	0.58	0.380	0.010	QueiraDeus	0.96	0.030	0.000
Jiquia18	0.56	0.210	0.010	JardimPlanalto1	0.17	0.010	0.000
Jiquia19	0.96	0.770	0.230	JardimPlanalto2	0.88	0.000	0.000
Jiquia20	0.77	1.280	0.030	JardimPlanalto3	0.00	0.000	0.000
Sanbra11	0.01	0.130	1.180	JardimUchoa1	0.25	0.020	0.000
30_outubro3	0.00	2.150	0.030	JardimUchoa2	0.00	0.000	0.000
Marinha5	0.00	0.340	0.010	Laranjeiras1	0.79	0.250	0.000
Zepellin2	0.01	0.140	0.000	Laranjeiras2	0.78	0.020	0.000
Mangueira4	0.01	0.330	0.020	Laranjeiras3	0.96	0.030	0.040
SaoPedro4	0.95	0.110	0.020	Caçote1	0.47	0.020	0.000
21deAbril5	0.01	0.100	0.010	Caçote2	0.92	0.020	0.000
Torrões7	0.01	0.370	0.010	Caçote3	0.95	0.100	0.000
CarneiroMariz3	0.00	0.160	0.060	MOXOTO1	0.00	0.000	0.000
CarlosBrito4	0.00	0.110	0.110	MOXOTO2	0.00	0.000	0.000
ITEP3	0.01	0.120	0.050	MOXOTO3	0.00	0.000	0.000
RioTejip1	0.80	0.010	0.000	MOXOTO4	0.66	0.170	0.020
RioTejip2	0.96	0.000	0.000	MOXOTO5	0.66	0.060	0.000
RioTejip3	0.00	0.000	0.000	Ibura1	0.33	0.170	0.000
RioTejip4	0.00	0.000	0.000	Ibura2	0.58	0.240	0.000
RioTejip5	0.96	0.000	0.000	Ibura3	0.96	0.050	0.000
RioTejip6	0.96	0.030	0.000	Ibura4	0.96	0.000	0.000
RioTejip7	0.96	0.000	0.000	Malaria1	0.62	0.090	0.130
RioTejip8	0.45	0.000	0.000	Malaria2	0.59	0.120	0.090
RioTejip9	0.45	0.000	0.000	Malaria3	0.53	0.100	0.230
RioTejip10	0.00	0.000	0.000	Malaria4	0.54	0.190	0.420
RioTejip11	0.00	0.000	0.000	Malaria5	0.54	0.130	0.110
RioTejip12	0.26	0.000	0.000	MariaLucia1	0.57	0.030	0.010
RioTejip13	0.26	0.000	0.000	MariaLucia2	0.49	0.150	0.080
RioTejip14	0.00	0.000	0.000	MariaLucia3	0.49	0.080	0.050
RioTejip15	0.00	0.000	0.000	MariaLucia4	0.49	0.110	0.060
RioTejip16	0.00	0.000	0.000	CanalJordão1	0.17	0.000	0.000
RioTejip17	0.00	0.000	0.000	CanalJordão2	0.96	0.100	0.000
RioTejip18	0.00	0.000	0.000	CanalJordão3	0.05	0.720	0.030
RioTejip19	0.67	0.030	0.000	CanalJordão4	0.05	0.940	0.140
RioTejip20	0.63	0.040	0.000	CanalJordão5	0.04	1.150	0.290
RioTejip21	0.61	0.110	0.080	CanalJordão6	0.03	1.310	0.160
RioTejip22	0.61	0.320	2.890	Setubal1	0.05	0.680	0.040
RioTejip23	0.60	0.080	0.020	Setubal2	0.05	1.160	0.380
RioTejip24	0.12	0.390	0.530	Setubal3	0.04	1.120	0.290
RioTejip25	0.11	0.230	0.290	Setubal4	0.04	1.520	0.060
RioTejip26	0.11	0.300	0.160	Setubal5	0.04	0.810	0.040
RioTejip27	0.11	0.250	0.920	Iraque1	0.52	0.310	0.010
RioTejip28	0.09	0.130	0.090	Iraque2	0.52	0.110	0.010
RioTejip29	0.09	0.190	0.750	Iraque3	0.52	0.130	0.010
RioTejip30	0.00	0.720	1.710				

**APÊNDICE C – RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO SWMM COM O EVENTO DE MARÉ DE 11 DE AGOSTO DE 2018 INCREMENTADO COM 38 CM REFERENTE AO AUMENTO DO NMM/2065**

TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)	TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)
Carlos Brito1	00:00	0.26	0.00	Curado3	01:56	0.25	0.01
Carlos Brito3	00:01	0.14	0.01	Curado4	04:56	0.64	0.00
Carneiro Mariz1	00:01	0.09	0.00	Curado5	03:58	0.24	0.00
Carneiro Mariz2	00:00	3.38	0.14	Curado6	04:04	0.34	0.01
Roda Fogo1	00:00	0.39	0.00	Curado7	04:08	0.33	0.00
Torrões1	00:00	0.18	0.00	Curado8	04:45	0.09	0.00
Torrões2	00:00	0.27	0.00	Liberdade1	00:00	0.19	0.00
Torrões3	00:00	0.23	0.00	Liberdade2	00:05	0.41	0.01
Torrões4	00:14	0.13	0.00	Liberdade3	00:01	1.13	0.00
Roda Fogo2	00:03	0.51	0.00	Curado9	00:00	0.39	0.01
Torrões5	00:11	0.06	0.00	30_outubro1	00:00	0.17	0.00
Torrões6	00:48	0.19	0.00	30_outubro2	00:01	0.21	0.01
Chesf1	00:00	0.19	0.00	Barreto1	00:00	0.22	0.02
Chesf4	00:00	0.35	0.03	Barreto2	00:00	0.29	0.01
Chesf5	00:08	0.13	0.00	Barreto3	00:23	0.11	0.00
21 de Abril1	00:02	0.39	0.00	Barreto4	00:00	0.68	0.00
21 de Abril2	00:00	0.22	0.00	Barreto5	00:02	0.39	0.00
21 de Abril3	00:00	0.44	0.01	Areias1	00:00	0.35	0.00
21 de Abril4	00:04	0.09	0.00	Areias2	00:07	0.24	0.00
Marinha1	00:00	0.14	0.00	Areias3	00:10	0.70	0.00
Marinha2	00:00	0.26	0.00	São Leopoldo1	00:00	0.12	0.00
Marinha3	00:00	0.92	0.01	São Leopoldo2	00:01	0.74	0.00
Marinha4	14:16	0.30	0.00	São Leopoldo3	00:20	0.14	0.00
Zepellin1	00:00	0.15	0.00	São Leopoldo4	00:39	0.39	0.00
Mangueira1	00:00	9.14	0.00	São Leopoldo5	00:59	0.11	0.00
Mangueira2	00:00	0.45	0.00	São Leopoldo6	02:06	0.26	0.00
Mangueira3	15:19	0.17	0.00	São Leopoldo7	00:00	0.83	0.00
Sao Pedro1	16:58	4.96	6.81	Jard São Paulo1	00:00	0.38	0.01
Sao Pedro2	16:58		5.34	Jard São Paulo2	00:00	1.12	0.02
Sao Pedro3	16:59	0.95	0.43	Jard São Paulo3	00:00	0.20	0.00
Sanbra1	00:00	0.20	0.00	Jard São Paulo4	00:00	0.41	0.00
Sanbra2	00:01	0.63	0.02	Guarulhos1	00:00	0.26	0.01
Sanbra3	00:00	0.54	0.01	Guarulhos2	00:00	0.17	0.00
Sanbra4	00:00	0.24	0.01	Guarulhos3	00:00	0.28	0.01
Sanbra5	00:00	0.17	0.00	Guarulhos4	00:07	0.27	0.00
Sanbra6	00:07	0.11	0.00	Guarulhos5	00:13	0.18	0.00
Sanbra7	00:00	0.16	0.02	Guarulhos6	00:12	0.28	0.00
Sanbra8	00:00	0.35	0.03	Jiquia1	00:01	0.20	0.00
Carlos Brito2	00:03	0.20	0.01	Jiquia2	08:01	0.25	0.00
Sanbra9	00:01	0.38	0.02	Jiquia3	00:00	0.16	0.00
Sanbra10	00:06	0.49	0.01	Jiquia4	00:00	0.17	0.01
ITEP1	00:00	0.18	0.00	Jiquia5	00:00	0.23	0.00
ITEP2	00:01	0.08	0.00	Jiquia6	00:00	0.13	0.00
Curado1	00:00	0.19	0.00	Jiquia7	00:00	0.55	0.00
Curado2	00:35	0.22	0.01	Jiquia8	13:57	0.25	0.01

TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)	TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)
Jiquia9	13:59	0.10	0.00	RioTejip31	00:01	0.73	0.68
Jiquia10	14:01	0.21	0.01	RioTejip32	02:00	0.47	1.79
Jiquia11	14:03	0.23	0.02	RioTejip33	00:33	0.77	1.81
Jiquia12	14:07	0.28	0.05	RioTejip34	00:22	0.99	3.89
Jiquia13	14:11	0.25	0.05	RioTejip35	00:07	1.71	16.53
Jiquia14	14:10	0.33	0.00	Pacheco1	00:00	0.06	0.01
Jiquia15	14:09	0.21	0.04	Pacheco2	00:12	0.10	0.01
Jiquia16	14:06	0.20	0.05	Pacheco3	00:00	0.07	0.00
Jiquia17	14:04	0.14	0.01	QueiraDeus	00:00	0.07	0.00
Jiquia18	23:00	0.12	0.02	JardimPlanalto1	00:00	0.02	0.00
Jiquia19	12:24	0.59	0.25	JardimPlanalto2	00:36	0.04	0.03
Jiquia20	12:24	0.88	0.01	JardimPlanalto3	00:17	0.14	0.00
Sanbra11	13:15	0.05	0.18	JardimUchoa1	00:00	0.49	0.00
30_outubro3	00:00	0.89	0.00	JardimUchoa2	00:01	0.80	0.00
Marinha5	14:15	0.31	0.00	Laranjeiras1	00:00	0.34	0.00
Zepellin2	14:21	0.13	0.01	Laranjeiras2	00:05	0.12	0.01
Mangueira4	15:19	0.23	0.02	Laranjeiras3	16:11	0.11	0.58
SaoPedro4	16:59	0.17	0.20	Caçote1	00:00	0.07	0.03
21deAbril5	00:10	0.05	0.00	Caçote2	00:00	0.09	0.07
Torrões7	00:27	0.18	0.00	Caçote3	20:46	0.29	0.01
CarneiroMariz3	00:03	0.15	0.05	MOXOTO1	00:00	0.05	0.00
CarlosBrito4	00:08	0.04	0.04	MOXOTO2	00:00	0.10	0.00
ITEP3	00:15	0.06	0.01	MOXOTO3	01:11	0.03	0.00
RioTejip1	00:02	0.18	0.04	MOXOTO4	15:45	0.18	0.05
RioTejip2	00:12	0.06	0.01	MOXOTO5	15:39	0.07	0.01
RioTejip3	00:36	0.06	0.01	Ibura1	00:00	0.32	0.00
RioTejip4	00:20	0.09	0.02	Ibura2	00:00	0.20	0.00
RioTejip5	00:12	0.14	0.04	Ibura3	00:18	0.07	0.00
RioTejip6	00:02	0.37	0.09	Ibura4	00:00	0.07	0.00
RioTejip7	00:00	0.05	0.16	Malaria1	14:05	0.10	0.19
RioTejip8	00:00	0.12	0.01	Malaria2	14:05	0.11	0.12
RioTejip9	01:58	0.09	0.00	Malaria3	13:36	0.08	0.23
RioTejip10	03:59	0.03	0.00	Malaria4	13:04	0.20	0.39
RioTejip11	05:48	0.03	0.00	Malaria5	13:02	0.12	0.10
RioTejip12	00:00	0.09	0.00	MariaLucia1	12:30	0.10	0.01
RioTejip13	09:00	0.03	0.01	MariaLucia2	03:55	0.17	0.09
RioTejip14	00:00	0.05	0.00	MariaLucia3	03:55	0.10	0.05
RioTejip15	12:28	0.06	0.00	MariaLucia4	03:51	0.06	0.06
RioTejip16	14:11	0.04	0.00	CanalJordão1	00:00	0.08	0.00
RioTejip17	22:57	0.02	0.00	CanalJordão2	00:00	0.32	0.00
RioTejip18	23:00	0.03	0.00	CanalJordão3	01:11	0.92	0.05
RioTejip19	16:41	0.06	0.01	CanalJordão4	01:05	1.06	0.20
RioTejip20	15:11	0.06	0.00	CanalJordão5	00:54	1.28	0.37
RioTejip21	14:45	0.09	0.13	CanalJordão6	00:36	1.40	0.19
RioTejip22	14:49	0.40	5.19	Setubal1	01:09	0.84	0.07
RioTejip23	14:26	0.16	0.03	Setubal2	01:06	1.34	0.64
RioTejip24	14:04	0.35	0.62	Setubal3	00:53	1.26	0.39
RioTejip25	02:31	0.22	0.30	Setubal4	00:52	1.62	0.09
RioTejip26	02:28	0.30	0.18	Setubal5	00:52	0.91	0.06
RioTejip27	02:37	0.25	1.03	Iraque1	11:20	0.21	0.01
RioTejip28	02:13	0.14	0.11	Iraque2	11:22	0.53	0.01
RioTejip29	02:11	0.20	0.84	Iraque3	21:30	0.18	0.01
RioTejip30	00:01	0.69	1.75				

**APÊNDICE D – RESULTADO DA SIMULAÇÃO NO SWMM COM O EVENTO DE MARÉ DE 11 DE AGOSTO DE 2018 INCREMENTADO COM 82 CM REFERENTE AO AUMENTO DO NMM/2100**

TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)	TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA (h:min)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (m³/s)
CarlosBrito1	00:00	0.26	0.00	Curado3	01:56	0.250	0.010
CarlosBrito3	00:01	0.14	0.01	Curado4	04:43	0.640	0.000
CarneiroMariz1	00:01	0.09	0.00	Curado5	04:41	0.240	0.000
CarneiroMariz2	00:00	3.38	0.14	Curado6	04:07	0.340	0.010
RodaFogo1	00:00	0.39	0.00	Curado7	04:08	0.330	0.000
Torrões1	00:00	0.18	0.00	Curado8	04:45	0.090	0.000
Torrões2	00:00	0.27	0.00	Liberdade1	00:00	0.190	0.000
Torrões3	00:00	0.23	0.00	Liberdade2	00:05	0.410	0.010
Torrões4	00:14	0.13	0.00	Liberdade3	00:01	1.130	0.000
RodaFogo2	00:03	0.51	0.00	Curado9	00:00	0.390	0.010
Torrões5	00:11	0.06	0.00	30_outubro1	00:00	0.170	0.000
Torrões6	00:48	0.19	0.00	30_outubro2	00:01	0.210	0.010
Chesf1	00:00	0.19	0.00	Barreto1	00:00	0.220	0.020
Chesf4	00:00	0.35	0.03	Barreto2	00:00	0.290	0.010
Chesf5	00:08	0.13	0.00	Barreto3	00:23	0.110	0.000
21deAbril1	00:02	0.39	0.00	Barreto4	00:00	0.680	0.000
21deAbril2	00:00	0.22	0.00	Barreto5	00:02	0.390	0.000
21deAbril3	00:00	0.44	0.01	Areias1	00:00	0.350	0.000
21deAbril4	00:04	0.09	0.00	Areias2	00:07	0.240	0.000
Marinha1	00:00	0.14	0.00	Areias3	00:10	0.700	0.000
Marinha2	00:00	0.26	0.00	SãoLeopoldo1	00:00	0.120	0.000
Marinha3	00:00	0.92	0.01	SãoLeopoldo2	00:01	0.740	0.000
Marinha4	13:11	0.30	0.01	SãoLeopoldo3	00:20	0.140	0.000
Zepellin1	00:00	0.15	0.00	SãoLeopoldo4	00:39	0.390	0.000
Mangueira1	00:00	8.73	0.00	SãoLeopoldo5	00:59	0.110	0.000
Mangueira2	00:00	0.45	0.00	SãoLeopoldo6	02:06	0.260	0.000
Mangueira3	20:47	0.17	0.00	SãoLeopoldo7	00:00	0.830	0.000
SaoPedro1	17:40	0.77	0.67	JardSãoPaulo1	00:00	0.380	0.010
SaoPedro2	17:40	0.70	0.11	JardSãoPaulo2	00:00	1.120	0.020
SaoPedro3	17:38	0.55	0.53	JardSãoPaulo3	00:00	0.200	0.000
Sanbra1	00:00	0.20	0.00	JardSãoPaulo4	00:00	0.410	0.000
Sanbra2	00:01	0.63	0.02	Guarulhos1	00:00	0.260	0.010
Sanbra3	00:00	0.54	0.01	Guarulhos2	00:00	0.170	0.000
Sanbra4	00:00	0.24	0.01	Guarulhos3	00:00	0.280	0.010
Sanbra5	00:00	0.17	0.00	Guarulhos4	00:07	0.270	0.000
Sanbra6	00:07	0.11	0.00	Guarulhos5	00:13	0.180	0.000
Sanbra7	00:00	0.16	0.02	Guarulhos6	00:12	0.280	0.000
Sanbra8	00:00	0.35	0.03	Jiquia1	00:01	0.200	0.000
CarlosBrito2	00:03	0.20	0.01	Jiquia2	08:02	0.250	0.000
Sanbra9	00:01	0.38	0.02	Jiquia3	00:00	0.160	0.000
Sanbra10	00:06	0.49	0.01	Jiquia4	00:00	0.170	0.010
ITEP1	00:00	0.18	0.00	Jiquia5	00:00	0.230	0.000
ITEP2	00:01	0.08	0.00	Jiquia6	00:00	0.130	0.000
Curado1	00:00	0.19	0.00	Jiquia7	00:00	0.550	0.000
Curado2	00:35	0.22	0.01	Jiquia8	12:48	0.260	0.010

TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA	VELOCIDADE MÁXIMA	VAZÃO	TRECHO DE RIO OU RIACHO	TEMPO DE OCORRÊNCIA	VELOCIDADE MÁXIMA	VAZÃO
	(h:min)	(m/s)	(m³/s)		(h:min)	(m/s)	(m³/s)
Jiquia9	12:50	0.11	0.00	RioTejip31	00:01	0.74	0.68
Jiquia10	12:52	0.21	0.01	RioTejip32	01:54	0.50	1.99
Jiquia11	12:55	0.24	0.02	RioTejip33	00:34	0.78	1.90
Jiquia12	12:59	0.29	0.06	RioTejip34	00:20	1.02	4.09
Jiquia13	13:19	0.27	0.07	RioTejip35	00:07	1.81	17.90
Jiquia14	13:18	0.38	0.00	Pacheco1	00:00	0.06	0.01
Jiquia15	13:17	0.26	0.05	Pacheco2	00:12	0.10	0.01
Jiquia16	13:15	0.24	0.07	Pacheco3	00:00	0.07	0.00
Jiquia17	13:13	0.18	0.02	QueiraDeus	00:00	0.07	0.00
Jiquia18	13:12	0.12	0.03	JardimPlanalto1	00:00	0.02	0.00
Jiquia19	13:07	0.64	0.32	JardimPlanalto2	00:36	0.04	0.03
Jiquia20	13:06	0.88	0.01	JardimPlanalto3	00:17	0.14	0.00
Sanbra11	13:04	0.05	0.20	JardimUchoa1	00:00	0.49	0.00
30_outubro3	00:00	0.89	0.00	JardimUchoa2	00:01	0.80	0.00
Marinha5	13:11	0.31	0.00	Laranjeiras1	00:00	0.34	0.00
Zepellin2	13:19	0.13	0.01	Laranjeiras2	15:27	0.12	0.02
Mangueira4	20:46	0.19	0.04	Laranjeiras3	15:26	0.11	1.09
SaoPedro4	17:38	0.20	0.35	Caçote1	00:00	0.07	0.03
21deAbril5	00:10	0.05	0.00	Caçote2	00:00	0.09	0.07
Torrões7	00:27	0.18	0.00	Caçote3	03:06	0.29	0.00
CarneiroMariz3	00:03	0.15	0.05	MOXOTO1	00:00	0.05	0.00
CarlosBrito4	00:08	0.04	0.04	MOXOTO2	00:00	0.10	0.00
ITEP3	00:15	0.06	0.01	MOXOTO3	17:31	0.03	0.00
RioTejip1	00:02	0.18	0.04	MOXOTO4	15:37	0.18	0.12
RioTejip2	00:12	0.06	0.01	MOXOTO5	15:26	0.09	0.02
RioTejip3	00:36	0.06	0.01	Ibura1	00:00	0.32	0.00
RioTejip4	00:20	0.09	0.02	Ibura2	00:00	0.20	0.00
RioTejip5	00:12	0.14	0.04	Ibura3	00:18	0.07	0.00
RioTejip6	00:02	0.37	0.09	Ibura4	00:00	0.07	0.00
RioTejip7	00:00	0.05	0.16	Malaria1	12:57	0.09	0.20
RioTejip8	00:00	0.12	0.01	Malaria2	13:06	0.10	0.13
RioTejip9	01:58	0.09	0.00	Malaria3	13:06	0.11	0.27
RioTejip10	03:59	0.03	0.00	Malaria4	13:03	0.23	0.45
RioTejip11	05:48	0.03	0.00	Malaria5	13:02	0.13	0.12
RioTejip12	00:00	0.09	0.00	MariaLucia1	20:47	0.10	0.01
RioTejip13	09:00	0.03	0.01	MariaLucia2	03:45	0.19	0.12
RioTejip14	00:00	0.05	0.00	MariaLucia3	03:47	0.11	0.07
RioTejip15	12:28	0.06	0.00	MariaLucia4	17:40	0.06	0.09
RioTejip16	14:11	0.04	0.00	CanalJordão1	00:00	0.08	0.00
RioTejip17	23:00	0.02	0.00	CanalJordão2	00:00	0.31	0.00
RioTejip18	23:00	0.03	0.00	CanalJordão3	01:07	1.10	0.07
RioTejip19	15:47	0.09	0.02	CanalJordão4	01:02	1.20	0.28
RioTejip20	15:21	0.08	0.01	CanalJordão5	00:53	1.42	0.48
RioTejip21	14:51	0.08	0.20	CanalJordão6	00:36	1.50	0.24
RioTejip22	15:06	0.47	8.72	Setubal1	01:05	0.97	0.10
RioTejip23	14:47	0.16	0.05	Setubal2	01:05	1.49	0.95
RioTejip24	14:20	0.37	0.88	Setubal3	00:51	1.44	0.53
RioTejip25	02:29	0.23	0.32	Setubal4	00:51	1.75	0.12
RioTejip26	02:29	0.31	0.20	Setubal5	00:50	1.03	0.08
RioTejip27	02:28	0.26	1.15	Iraque1	03:56	0.20	0.01
RioTejip28	02:29	0.15	0.12	Iraque2	21:08	0.53	0.01
RioTejip29	02:04	0.20	0.91	Iraque3	21:08	0.18	0.02
RioTejip30	00:01	0.69	1.75				

**APÊNDICE E – ALTITUDES DE ÁGUA NAS JUNÇÕES DO RIO TEJIPIÓ  
ENTRE O CAÇOTE E A FOZ NO BAIRRO DE AFOGADOS PARA O  
CENÁRIO DE 2100 COM UMA CHUVA DE 25**

OCOR- RÊNCIA	JUNÇÕES DO RIO TEJIPIÓ - SWMM										
	(h)	TejB14	TejB15	TejB16	TejB17	TejB18	ExutJiq	TejB19	TejB20	TejB21	TejB22
03:30	0.37	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.40	0.41	0.68	0.72	0.79
03:45	0.43	0.43	0.43	0.43	0.44	0.44	0.44	0.45	0.62	0.65	0.67
04:00	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.60	0.61	0.62
04:15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.52	0.52	0.52
04:30	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.48	0.47	0.45
04:45	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.46	0.45	0.41
05:00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.44	0.43	0.37
05:15	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.42	0.41	0.35
05:30	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.41	0.39	0.34
05:45	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.40	0.38	0.32
06:00	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.39	0.37	0.31
06:15	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.38	0.36	0.30
06:30	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.37	0.35	0.29
06:45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44	0.36	0.34	0.29
07:00	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.36	0.34	0.29
07:15	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.36	0.34	0.29
07:30	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.35	0.34	0.29
07:45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.43	0.43	0.35	0.34	0.29
08:00	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.36	0.34	0.29
08:15	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.42	0.44	0.44	0.36	0.34	0.30
08:30	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.45	0.45	0.42	0.42	0.44
08:45	0.48	0.48	0.48	0.49	0.48	0.51	0.49	0.51	0.51	0.52	0.58
09:00	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.55	0.54	0.58	0.58	0.61	0.73
09:15	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.60	0.61	0.67	0.67	0.71	0.88
09:30	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.77	0.82	1.03
09:45	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.87	0.93	1.17
10:00	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.97	1.04	1.32
10:15	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91	0.90	0.91	0.91	1.08	1.16	1.48
10:30	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.18	1.27	1.60
10:45	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07	1.28	1.37	1.72
11:00	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.16	1.16	1.38	1.48	1.83
11:15	1.23	1.23	1.23	1.23	1.24	1.24	1.24	1.24	1.48	1.58	1.94
11:30	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32	1.32	1.57	1.67	2.01
11:45	1.39	1.39	1.39	1.39	1.40	1.40	1.41	1.41	1.66	1.75	2.07
12:00	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.49	1.49	1.73	1.82	2.12
12:15	1.55	1.55	1.56	1.56	1.56	1.56	1.57	1.57	1.80	1.88	2.17
12:30	1.63	1.63	1.63	1.63	1.64	1.64	1.64	1.64	1.86	1.94	2.18
12:45	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.91	1.98	2.18
13:00	1.77	1.77	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.95	2.00	2.14
13:15	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.85	1.85	1.97	2.00	2.10
13:30	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.98	2.00	2.06
13:45	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.99	2.00	2.02
14:00	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.98	1.98	1.97
14:15	2.02	2.02	2.02	2.02	2.01	2.01	2.01	2.01	1.99	1.98	1.97

OCOR- RÊNCIA	JUNÇÕES DO RIO TEJIPIÓ - SWMM									
	(h)	TejB14	TejB15	TejB16	TejB17	TejB18	ExutJiq	TejB19	TejB20	TejB21
14:30	2.04	2.04	2.04	2.04	2.03	2.03	2.03	1.99	1.98	1.96
14:45	2.06	2.06	2.05	2.05	2.05	2.05	2.04	2.00	1.99	1.96
15:00	2.08	2.08	2.07	2.07	2.06	2.06	2.06	2.01	2.00	1.97
15:15	2.10	2.09	2.09	2.09	2.08	2.08	2.08	2.02	2.01	1.98
15:30	2.12	2.11	2.11	2.11	2.10	2.10	2.09	2.03	2.02	1.99
15:45	2.13	2.13	2.12	2.12	2.11	2.11	2.11	2.04	2.03	2.00
16:00	2.15	2.15	2.14	2.14	2.13	2.13	2.12	2.06	2.04	2.01
16:15	2.17	2.16	2.16	2.15	2.14	2.14	2.14	2.07	2.06	2.03
16:30	2.19	2.18	2.17	2.17	2.16	2.16	2.15	2.09	2.07	2.04
16:45	2.20	2.20	2.19	2.19	2.18	2.18	2.17	2.10	2.08	2.04
17:00	2.22	2.21	2.21	2.21	2.19	2.19	2.19	2.11	2.09	2.05
17:15	2.24	2.23	2.22	2.22	2.21	2.21	2.20	2.13	2.11	2.07
17:30	2.25	2.25	2.24	2.24	2.23	2.22	2.22	2.14	2.13	2.09
17:45	2.27	2.26	2.26	2.25	2.24	2.24	2.24	2.16	2.14	2.11
18:00	2.29	2.28	2.27	2.27	2.26	2.26	2.25	2.18	2.16	2.12
18:15	2.30	2.30	2.29	2.29	2.27	2.27	2.27	2.19	2.18	2.14
18:30	2.32	2.31	2.31	2.30	2.29	2.29	2.29	2.21	2.19	2.16
18:45	2.34	2.33	2.32	2.32	2.31	2.31	2.30	2.23	2.21	2.17
19:00	2.35	2.35	2.34	2.34	2.32	2.32	2.32	2.24	2.23	2.19
19:15	2.37	2.36	2.36	2.35	2.34	2.34	2.33	2.26	2.24	2.20
19:30	2.39	2.38	2.37	2.37	2.36	2.36	2.35	2.27	2.26	2.22
19:45	2.40	2.40	2.39	2.39	2.37	2.37	2.37	2.29	2.27	2.24
20:00	2.42	2.41	2.41	2.40	2.39	2.39	2.38	2.31	2.29	2.25
20:15	2.43	2.43	2.42	2.42	2.41	2.40	2.40	2.32	2.31	2.27
20:30	2.45	2.45	2.44	2.44	2.42	2.42	2.42	2.34	2.32	2.29
20:45	2.47	2.46	2.46	2.45	2.44	2.44	2.43	2.36	2.34	2.30
21:00	2.48	2.48	2.47	2.47	2.45	2.45	2.45	2.37	2.36	2.32
21:15	2.50	2.49	2.49	2.48	2.47	2.47	2.46	2.39	2.37	2.34
21:30	2.51	2.51	2.50	2.50	2.48	2.48	2.48	2.40	2.39	2.35
21:45	2.52	2.52	2.51	2.51	2.50	2.50	2.49	2.42	2.40	2.36
22:00	2.53	2.53	2.52	2.52	2.51	2.51	2.50	2.42	2.41	2.36
22:15	2.54	2.54	2.53	2.53	2.52	2.51	2.51	2.43	2.41	2.37
22:30	2.55	2.54	2.54	2.53	2.52	2.52	2.52	2.44	2.42	2.37
22:45	2.55	2.55	2.54	2.54	2.53	2.52	2.52	2.44	2.42	2.37
23:00	2.55	2.55	2.54	2.54	2.53	2.53	2.52	2.44	2.42	2.37

## APÊNDICE F – DADOS COLETADOS DO NÍVEL DO RIO TEJIPIÓ

PROJETO	ESTAÇÃO	REGISTRO DE DADOS		TEMP. (?C)	NÍVEL	
					Reg.(cm)	IBGE(m)
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:03:56	30.2	60.7	-0.1
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:08:56	30.2	60.4	-0.103
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:13:56	30.2	60	-0.107
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:18:56	30.2	59.8	-0.109
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:23:56	30.2	59.3	-0.114
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:28:56	30.2	58.7	-0.12
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:33:56	30.2	58	-0.127
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:38:56	30.2	57.4	-0.133
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:43:56	30.2	56.7	-0.14
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:48:56	30.2	55.9	-0.148
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:53:56	30.2	55.3	-0.154
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	00:58:56	30.2	54.2	-0.165
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:03:56	30.2	53.4	-0.173
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:08:56	30.2	52.6	-0.181
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:13:56	30.2	51.7	-0.19
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:18:56	30.2	51.1	-0.196
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:23:56	30.2	50.3	-0.204
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:28:56	30.2	49.6	-0.211
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:33:56	30.2	48.9	-0.218
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:38:56	30.2	48.4	-0.223
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:43:56	30.2	47.4	-0.233
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:48:56	30.2	46.7	-0.24
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:53:56	30.2	45.9	-0.248
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	01:58:56	30.2	45	-0.257
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:03:56	30.2	44.4	-0.263
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:08:56	30.2	43.8	-0.269
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:13:56	30.2	43	-0.277
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:18:56	30.2	42.5	-0.282
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:23:56	30.2	42	-0.287
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:28:56	30.2	41.6	-0.291
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:33:56	30.2	41.3	-0.294
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:38:56	30.2	41.1	-0.296
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:43:56	30.2	41	-0.297
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:48:56	30.2	40.9	-0.298
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:53:56	30.2	40.7	-0.3
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	02:58:56	30.2	40.6	-0.301
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:03:56	30.2	40.6	-0.301
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:08:56	30.2	40.5	-0.302
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:13:56	30.2	40.4	-0.303
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:18:56	30.2	40.5	-0.302
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:23:56	30.2	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:28:56	30.2	40.3	-0.304

PROJETO	ESTAÇÃO	REGISTRO DE DADOS		TEMP. (°C)	NÍVEL	
					Reg.(cm)	IBGE(m)
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:33:56	30.2	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:38:56	30.2	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:43:56	30.2	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:48:56	30.2	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:53:56	30.2	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	03:58:56	30.2	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:03:56	30.3	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:08:56	30.2	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:13:56	30.2	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:18:56	30.2	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:23:56	30.2	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:28:56	30.2	40.4	-0.303
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:33:56	30.2	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:38:56	30.2	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:43:56	30.3	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:48:56	30.3	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:53:56	30.2	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	04:58:56	30.2	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	05:03:56	30.2	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	05:08:56	30.2	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	05:13:56	30.2	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	05:18:56	30.2	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	05:23:56	30.2	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	05:28:56	30.2	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	06:28:56	30.3	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	07:28:56	30.3	40	-0.307
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	08:28:56	30.3	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	09:28:56	30.3	40	-0.307
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	10:28:56	30.3	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	12:28:56	30.3	46	-0.247
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	13:28:56	30.3	40.4	-0.303
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	14:28:56	30.4	39.8	-0.309
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	14:58:56	30.4	39.8	-0.309
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	15:28:56	30.4	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	15:58:56	30.4	39.6	-0.311
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	16:28:56	30.4	39.6	-0.311
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	16:58:56	30.4	39.8	-0.309
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	17:58:56	30.4	39.9	-0.308
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	18:58:56	30.4	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	19:58:56	30.3	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	20:58:56	30.3	40.3	-0.304
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	21:58:56	30.3	40.5	-0.302
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	22:58:56	30.3	40.5	-0.302
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/26	23:58:56	30.3	46.3	-0.244
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	00:03:56	30.3	46.3	-0.244

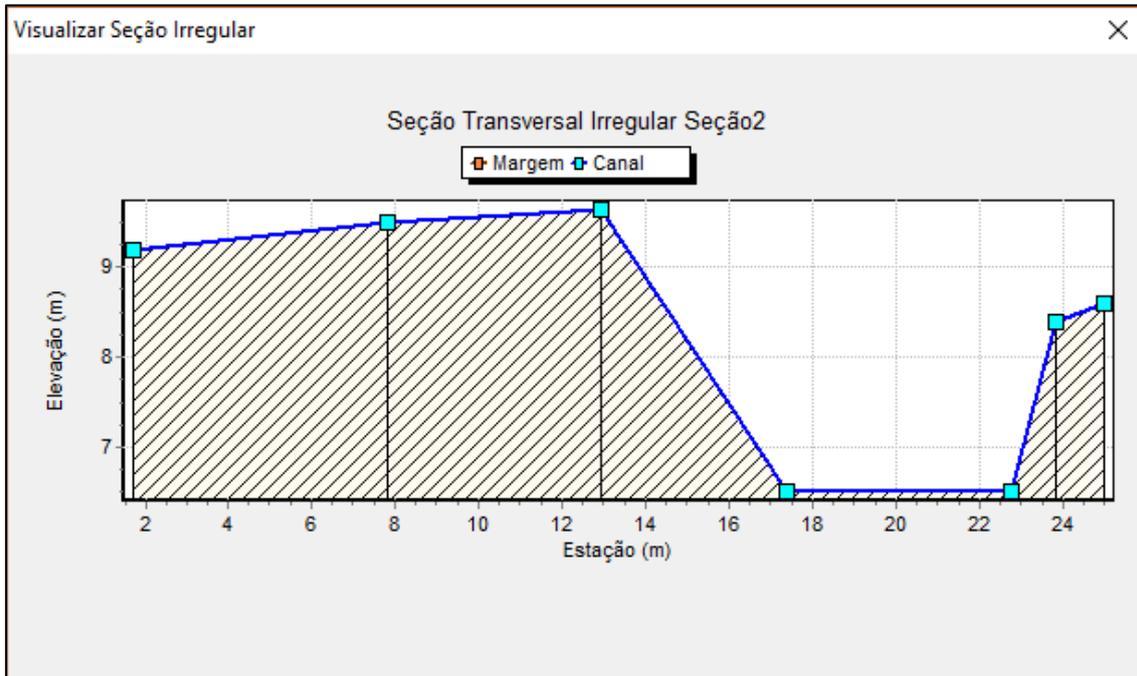
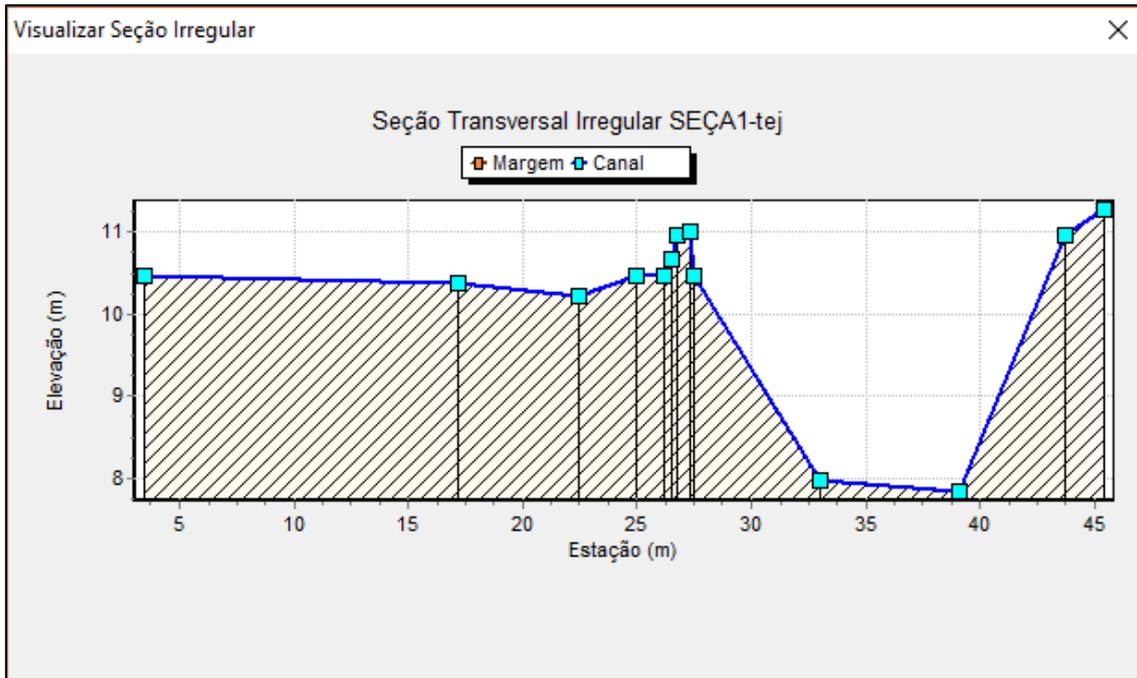
PROJETO	ESTAÇÃO	REGISTRO DE DADOS		TEMP. (?C)	NÍVEL	
					Reg.(cm)	IBGE(m)
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	00:58:56	30.3	47.5	-0.232
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	01:03:56	30.3	46.7	-0.24
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	01:58:56	30.2	44	-0.267
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	02:03:56	30.2	43.3	-0.274
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	02:58:56	30.1	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	03:03:56	30.1	40.2	-0.305
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	03:58:56	30.1	40	-0.307
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	04:03:56	30.1	40	-0.307
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	04:58:56	30.1	40	-0.307
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	05:03:56	30.1	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	05:58:56	30.1	39.8	-0.309
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	06:23:56	30.1	39.9	-0.308
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	06:58:56	30.2	40.1	-0.306
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	07:23:56	30.2	40	-0.307
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	07:58:56	30.2	39.9	-0.308
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	08:23:56	30.2	39.8	-0.309
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	08:58:56	30.2	39.9	-0.308
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	09:23:56	30.2	39.8	-0.309
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	09:58:56	30.2	39.5	-0.312
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	10:23:56	30.2	39.5	-0.312
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	10:58:56	30.2	39.3	-0.314
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	11:23:56	30.2	39.3	-0.314
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	11:58:56	30.3	44.3	-0.264
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	12:23:56	30.3	48.6	-0.221
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	12:58:56	30.3	49.2	-0.215
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	13:23:56	30.3	48.1	-0.226
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	13:58:56	30.3	47.5	-0.232
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	14:23:56	30.3	44.4	-0.263
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	14:58:56	30.3	39.5	-0.312
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	15:23:56	30.3	39.1	-0.316
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	15:58:56	30.3	38.9	-0.318
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	16:23:56	30.3	39	-0.317
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	16:58:56	30.3	39	-0.317
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	17:23:56	30.3	39.1	-0.316
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	17:58:56	30.3	39	-0.317
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	18:48:56	30.3	38.9	-0.318
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	18:58:56	30.3	39.1	-0.316
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	19:48:56	30.3	39.1	-0.316
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	19:58:56	30.3	39	-0.317
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	20:48:56	30.3	39.2	-0.315
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	20:58:56	30.3	39.1	-0.316
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	21:48:56	30.3	39.8	-0.309
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	21:58:56	30.3	39.8	-0.309
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	22:48:56	30.3	39.6	-0.311
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	22:58:56	30.3	39.6	-0.311

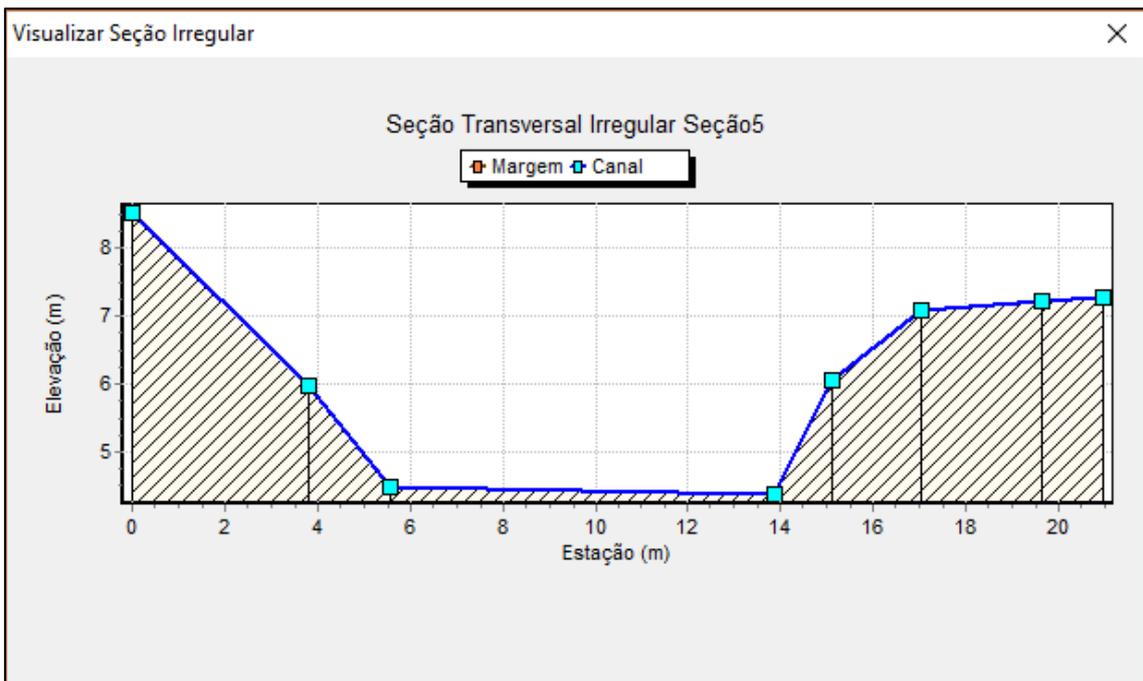
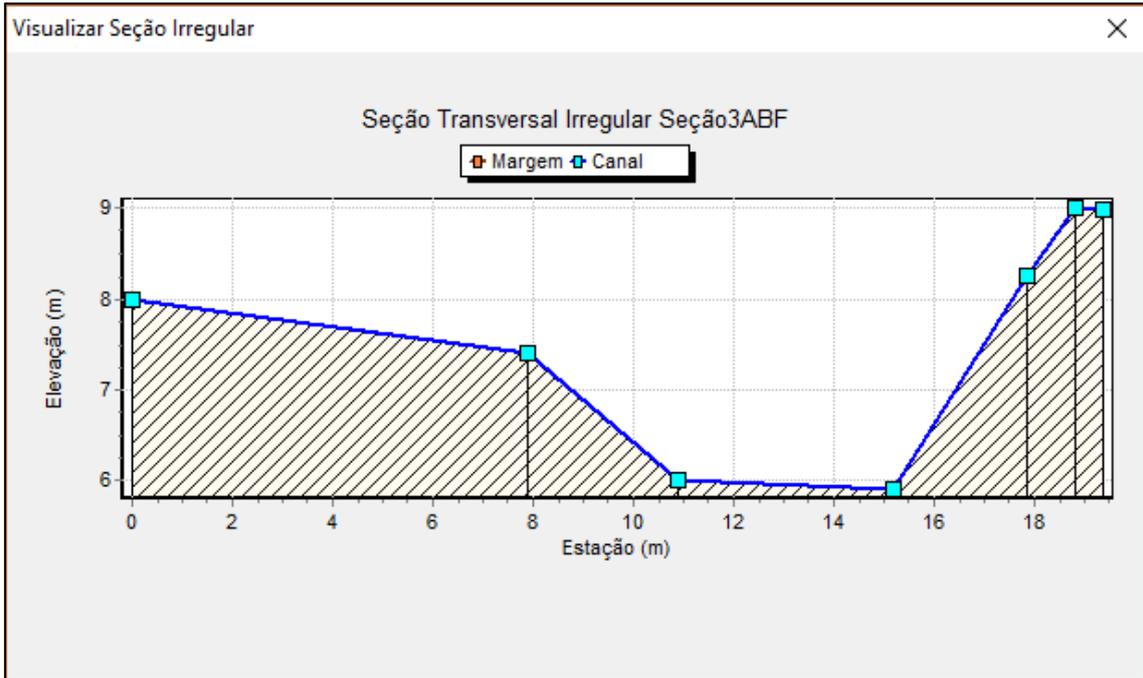
PROJETO	ESTAÇÃO	REGISTRO DE DADOS		TEMP. (°C)	NÍVEL	
					Reg.(cm)	IBGE(m)
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	23:48:56	30.3	40.5	-0.302
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/27	23:58:56	30.3	43.3	-0.274
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	00:53:56	30.2	54.9	-0.158
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	00:58:56	30.2	55.7	-0.15
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	01:53:56	30.2	57.5	-0.132
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	01:58:56	30.2	57.5	-0.132
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	02:53:56	30.2	47.8	-0.229
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	02:58:56	30.2	46.7	-0.24
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	03:53:56	30.2	40	-0.307
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	03:58:56	30.2	39.9	-0.308
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	04:53:56	30.2	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	04:58:56	30.2	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	05:53:56	30.3	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	05:58:56	30.3	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	06:58:56	30.2	39.6	-0.311
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	07:13:56	30.2	39.5	-0.312
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	07:58:56	30.2	39.6	-0.311
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	08:13:56	30.2	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	08:58:56	30.3	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	09:13:56	30.2	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	09:58:56	30.3	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	10:13:56	30.3	39.5	-0.312
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	10:58:56	30.3	39.5	-0.312
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	11:13:56	30.3	39.6	-0.311
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	11:58:56	30.3	39.6	-0.311
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	12:13:56	30.3	39.5	-0.312
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	12:58:56	30.3	48.5	-0.222
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	13:58:56	30.3	59.6	-0.111
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	14:13:56	30.3	59.1	-0.116
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	14:58:56	30.2	51.3	-0.194
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	15:13:56	30.3	47	-0.237
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	15:58:56	30.3	39.6	-0.311
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	16:13:56	30.3	39.5	-0.312
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	16:58:56	30.3	39.3	-0.314
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	17:13:56	30.3	39.4	-0.313
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	17:58:56	30.3	39.6	-0.311
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	18:13:56	30.3	39.7	-0.31
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	18:58:56	30.3	39.9	-0.308
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	19:33:56	30.1	49.7	-0.21
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	19:58:56	29.9	61.2	-0.095
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	20:33:56	29.7	69.4	-0.013
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	20:58:56	29.7	71.8	0.011
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	21:33:56	29.7	69.8	-0.009
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	21:58:56	29.7	67.1	-0.036
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	22:33:56	29.7	68.6	-0.021
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	22:58:56	29.8	71.8	0.011
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	23:33:56	29.8	82	0.113
RIO TEJIPIO	DLU CAÇOTE	2015/06/28	23:58:56	27.6	96	0.253

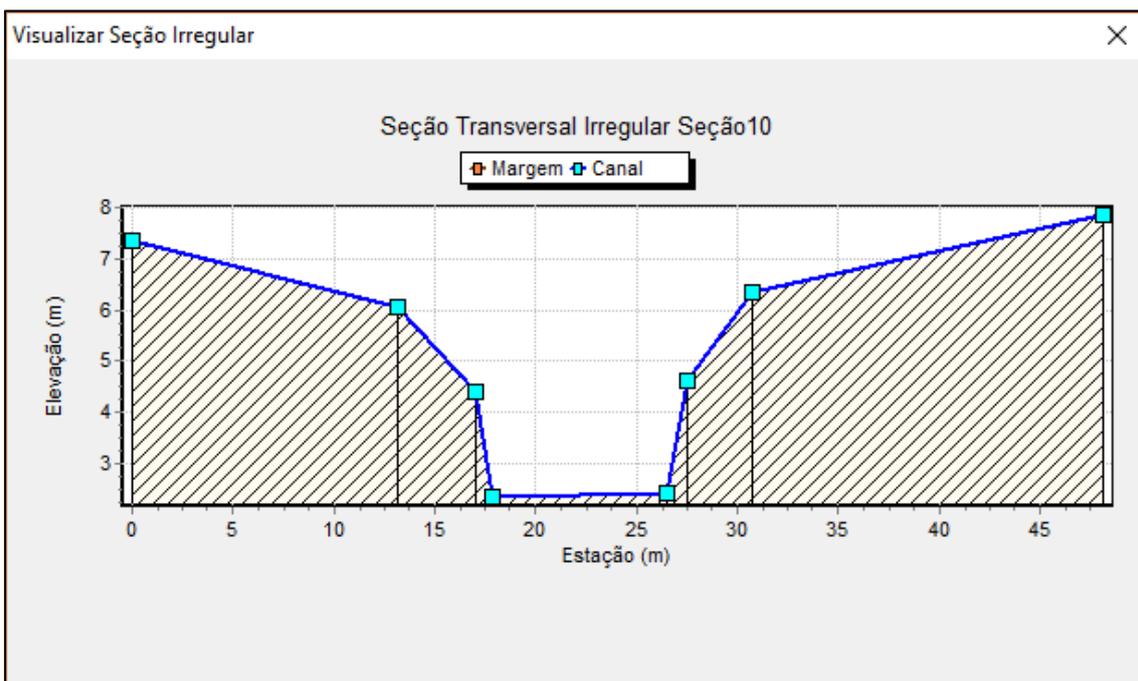
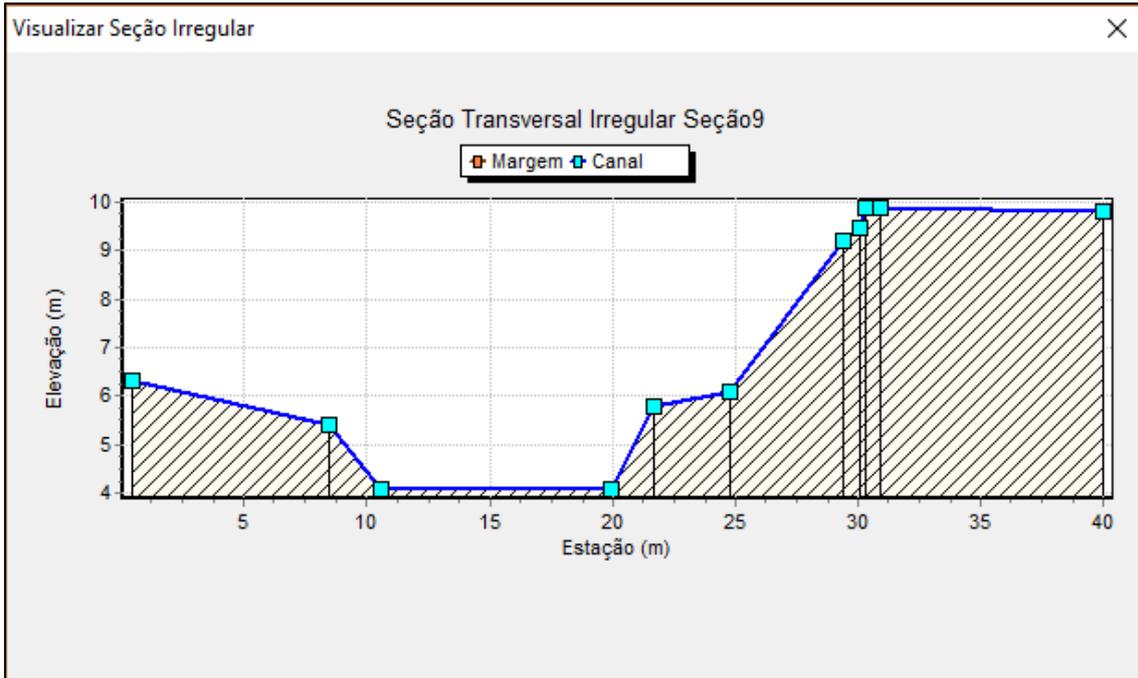
**APÊNDICE G – SEÇÕES DOS RIOS E RIACHOS MODELADOS**

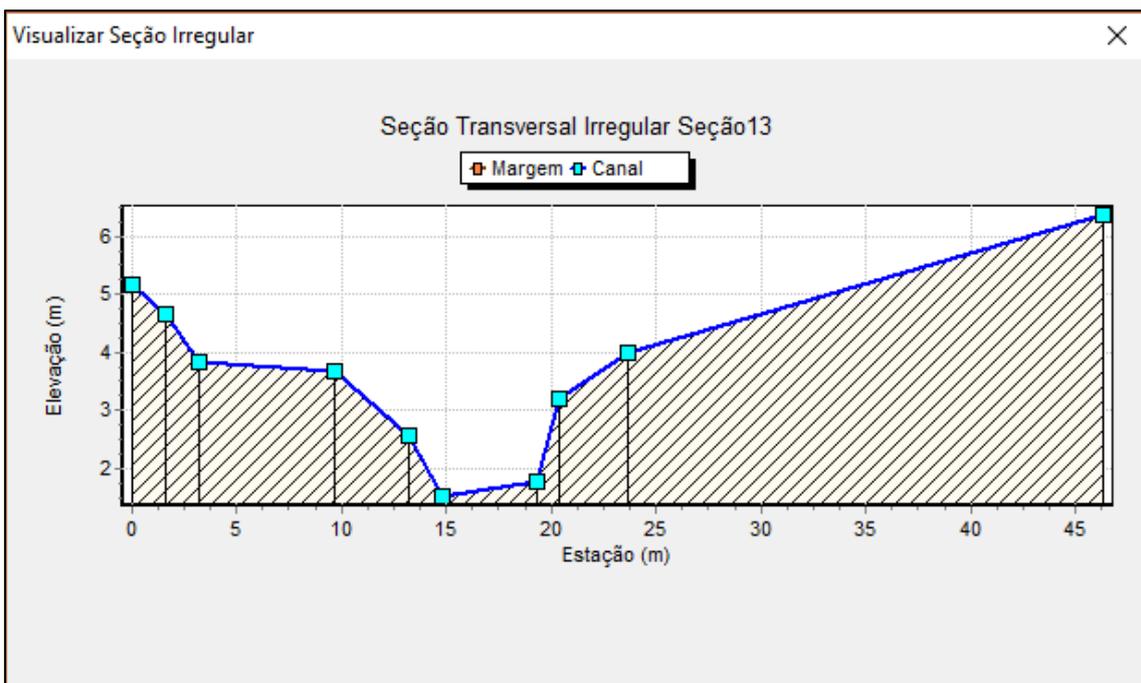
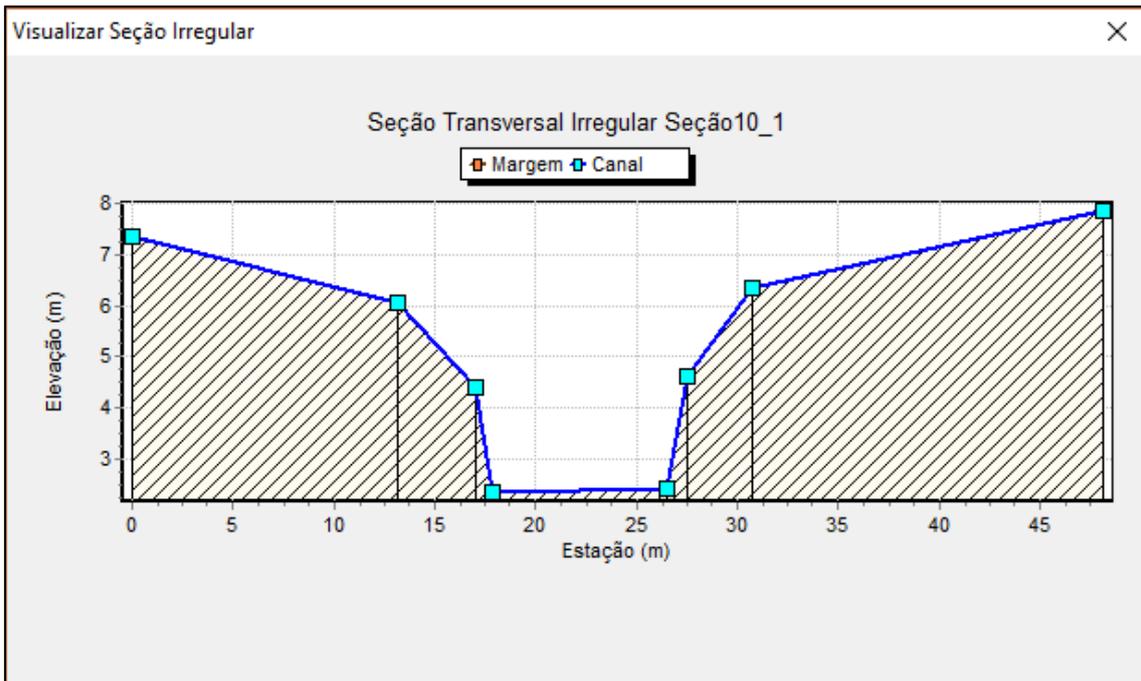
Seções SWMM

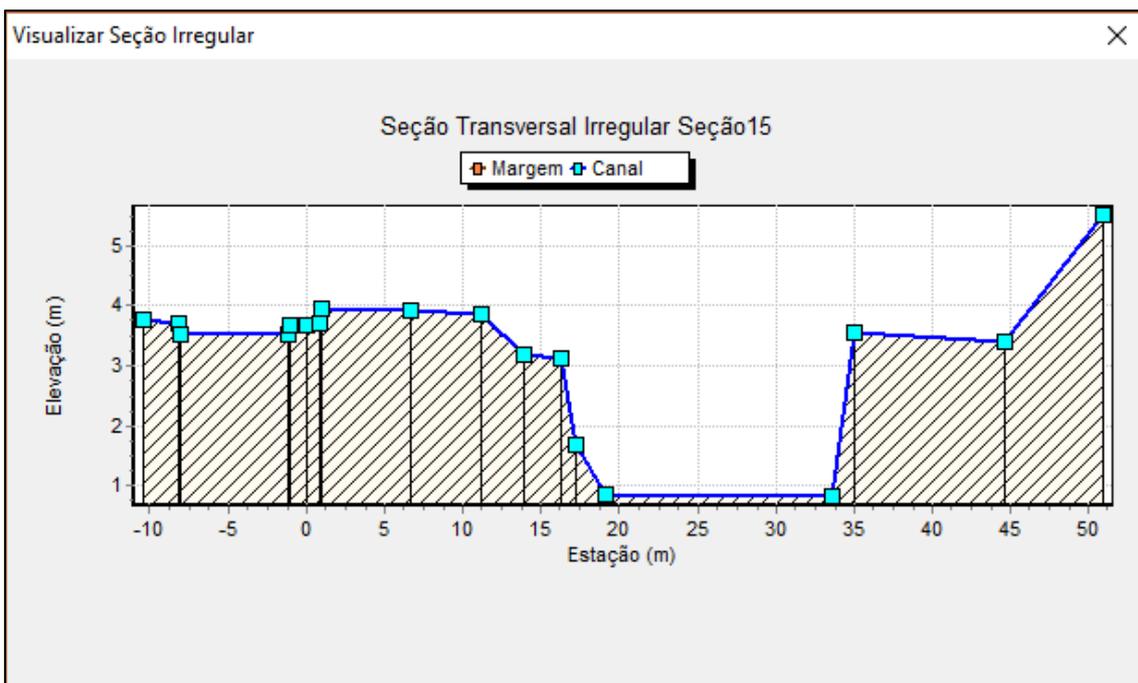
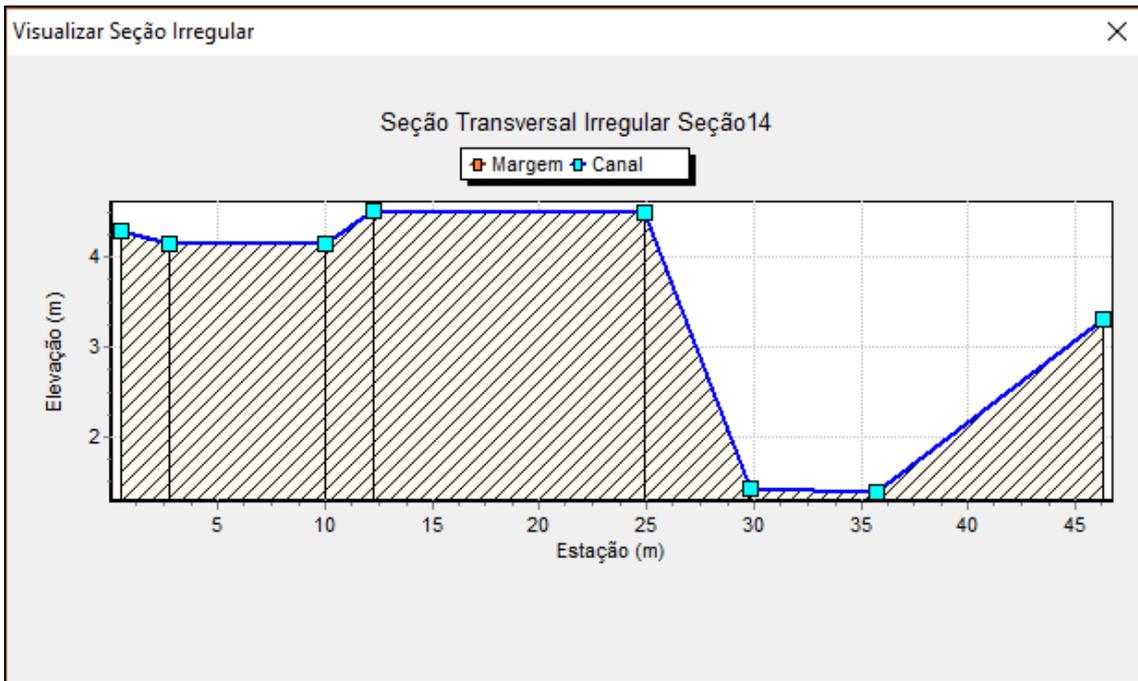
Rio Tejipió

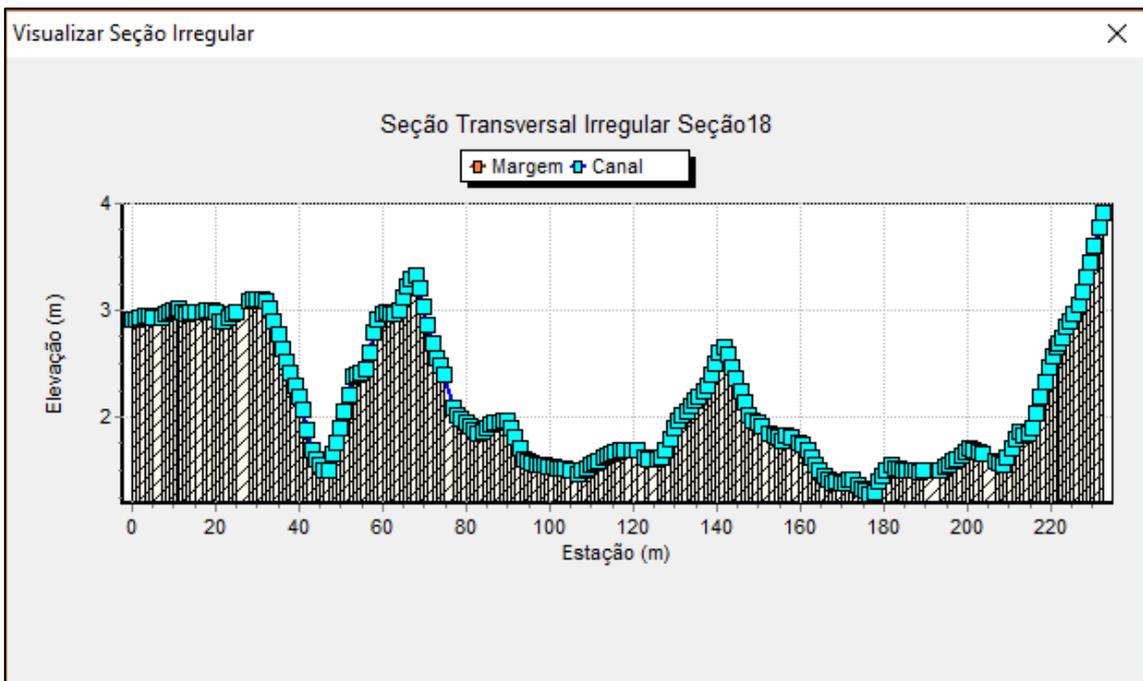
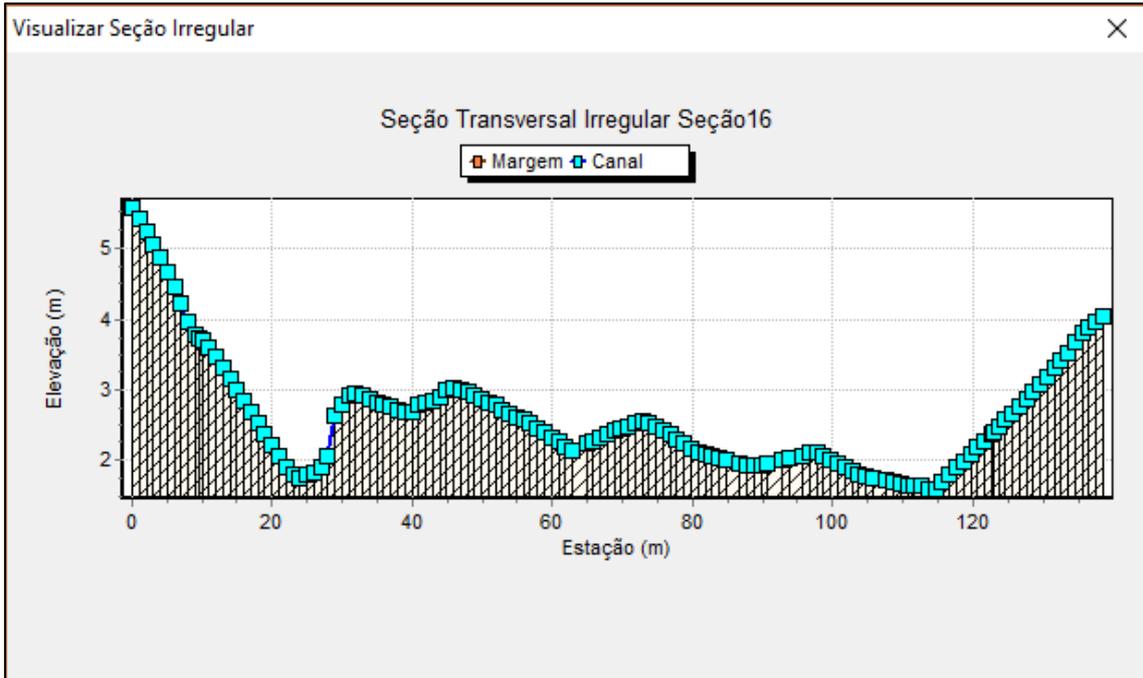


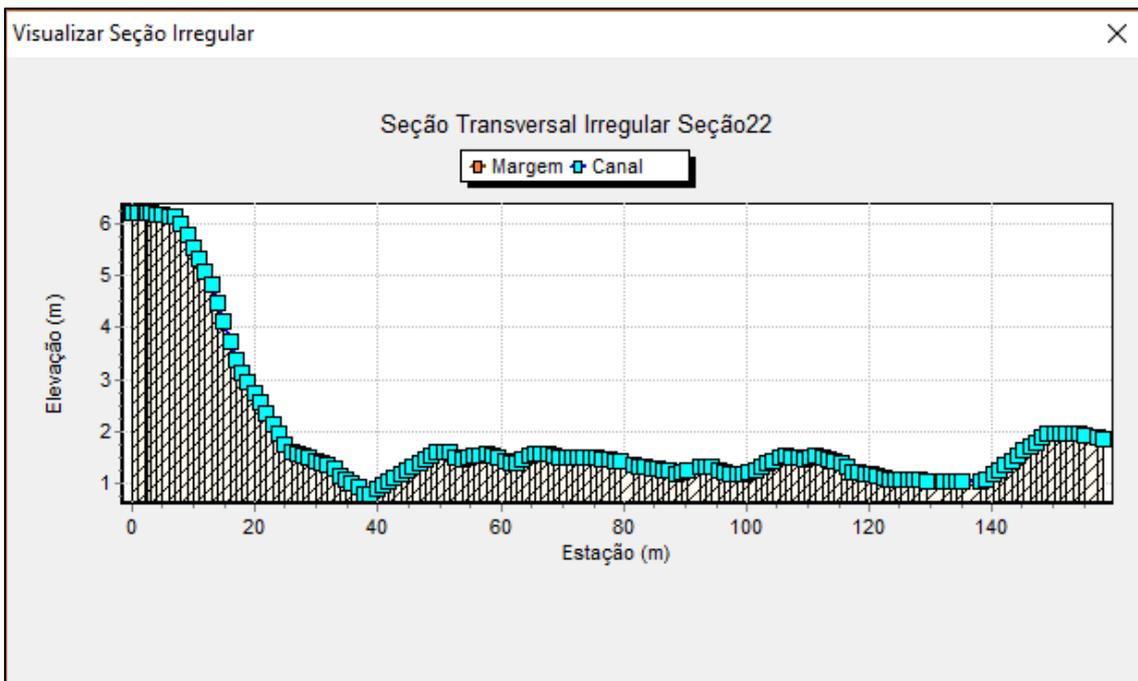
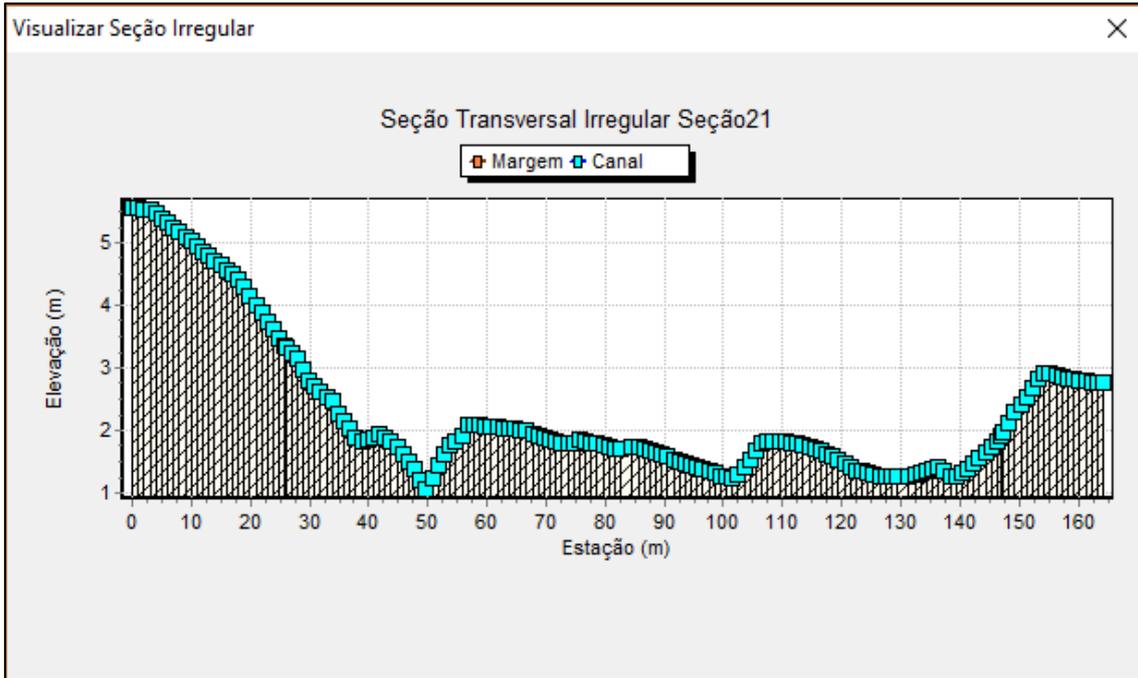


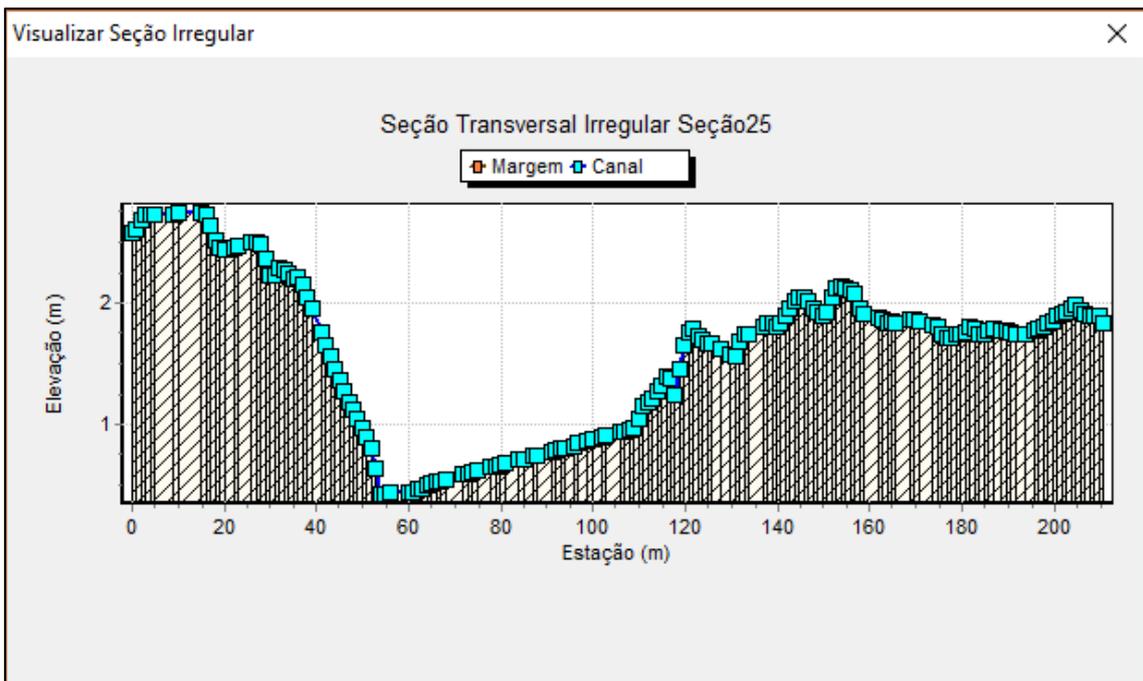
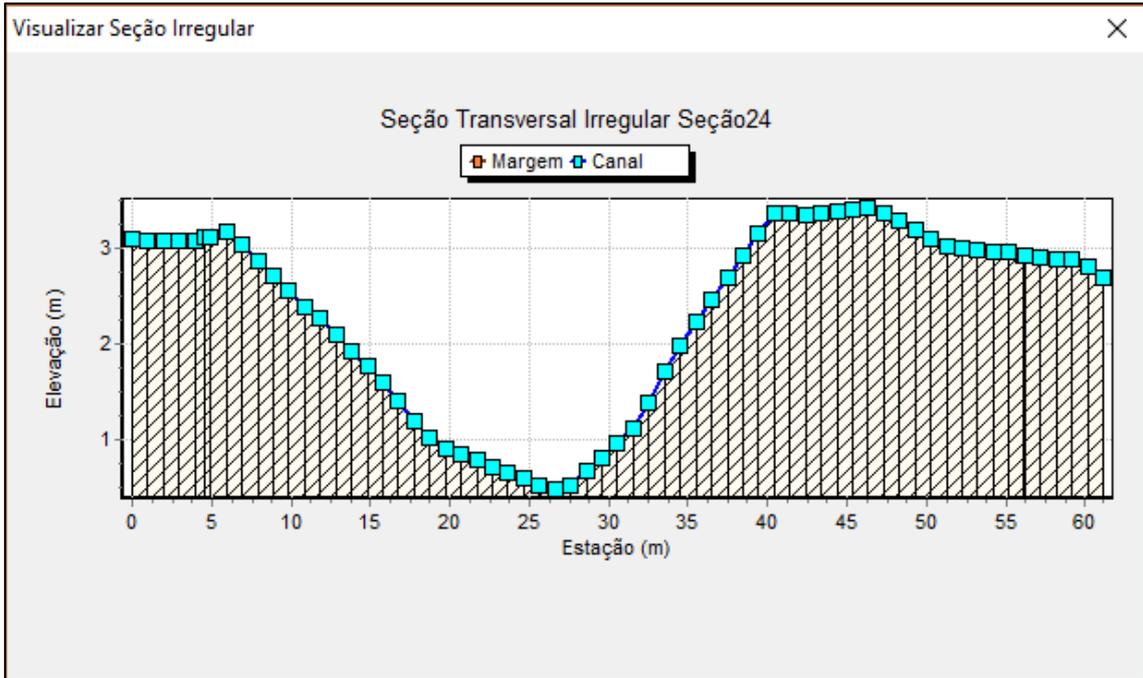


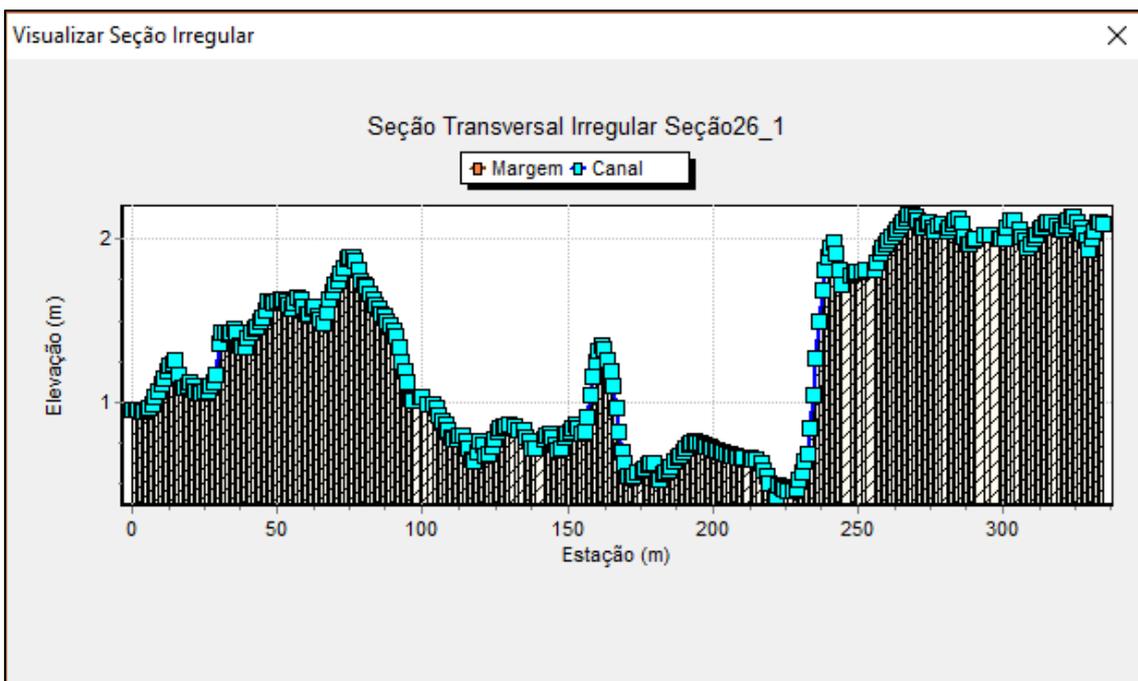
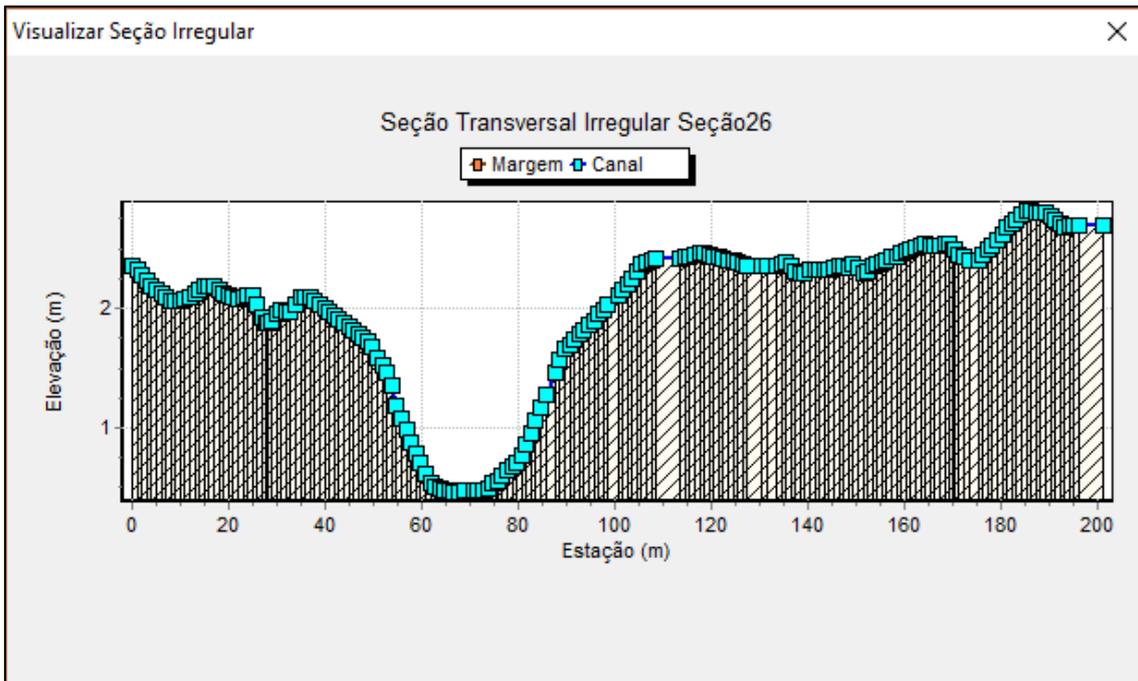


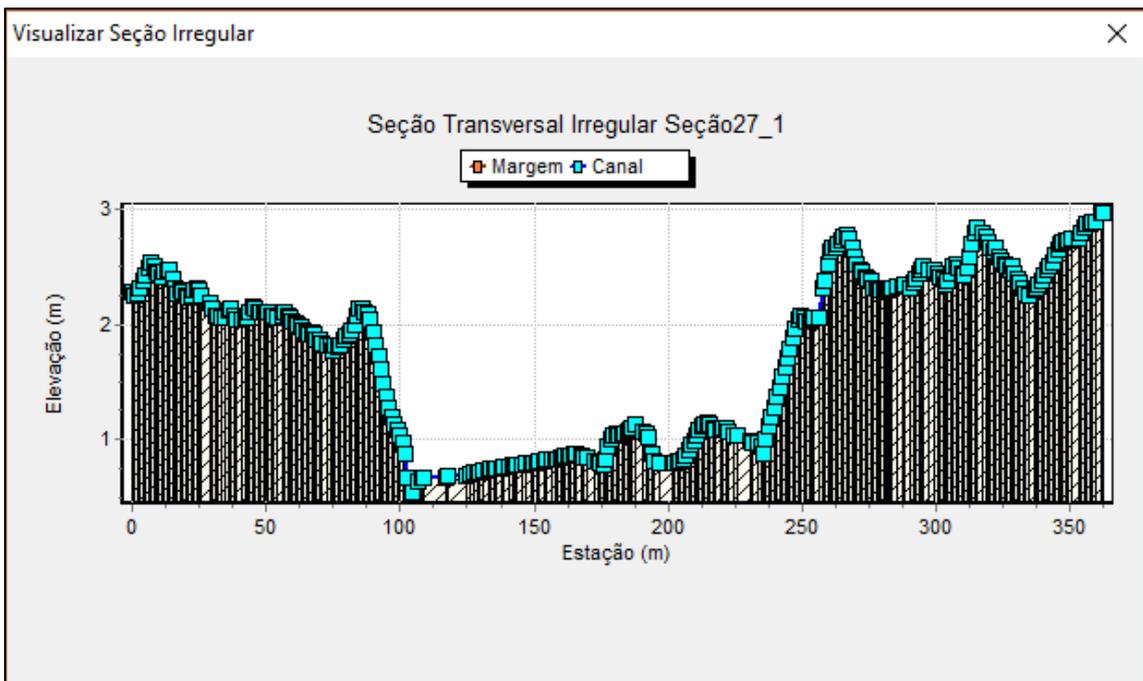
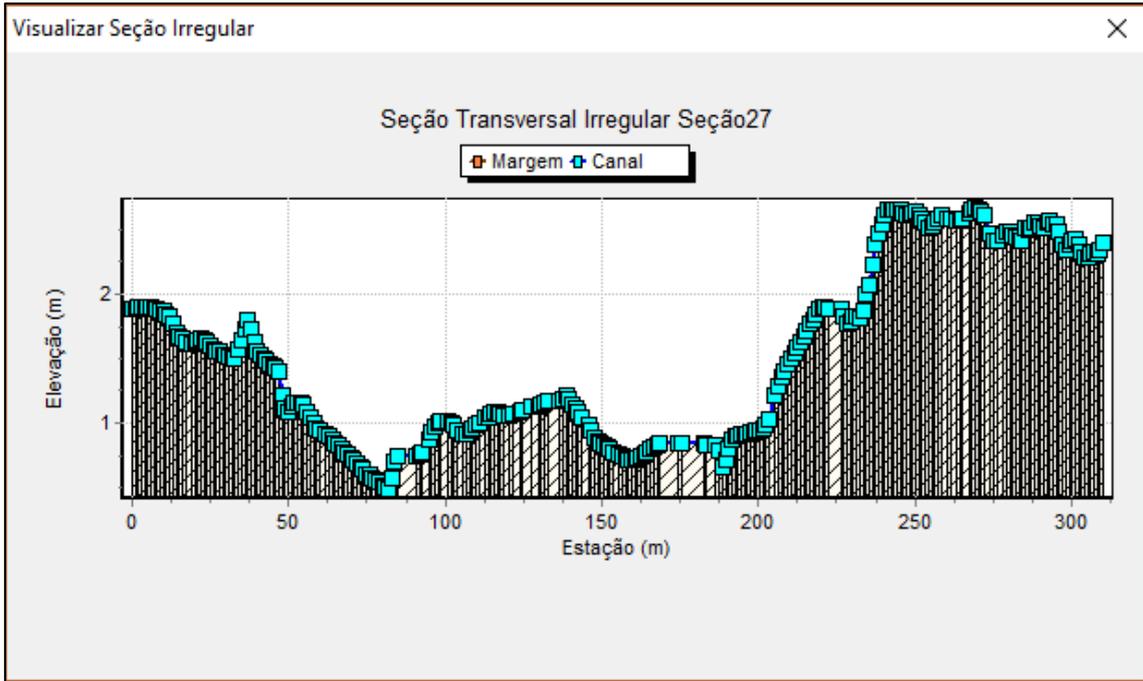


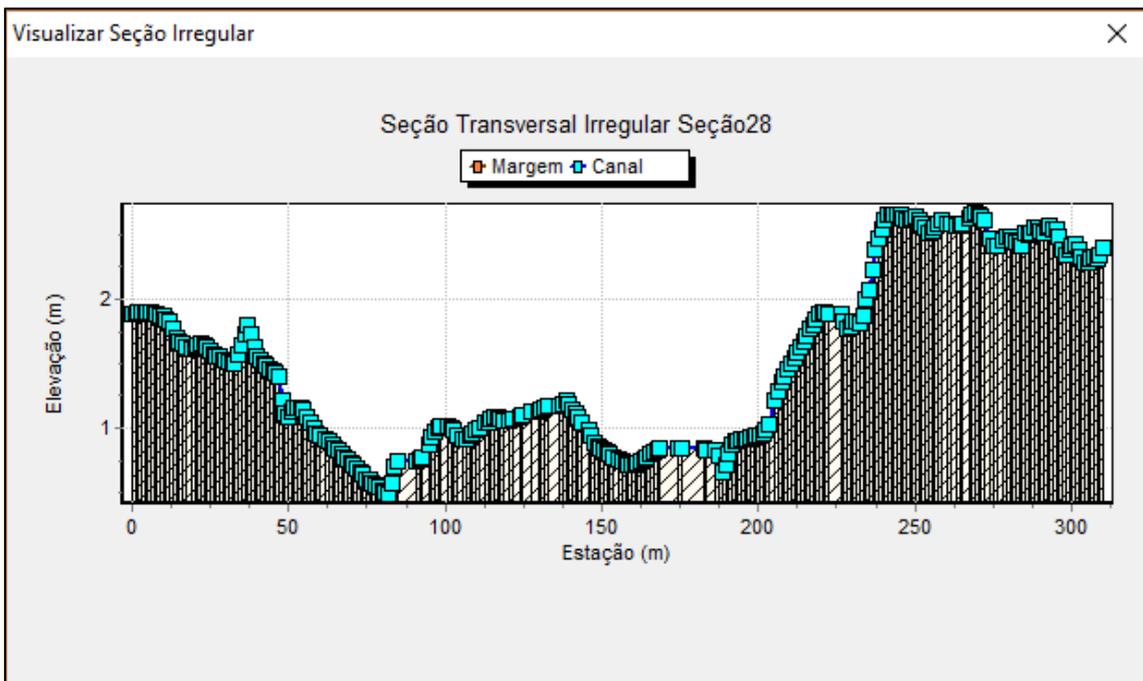
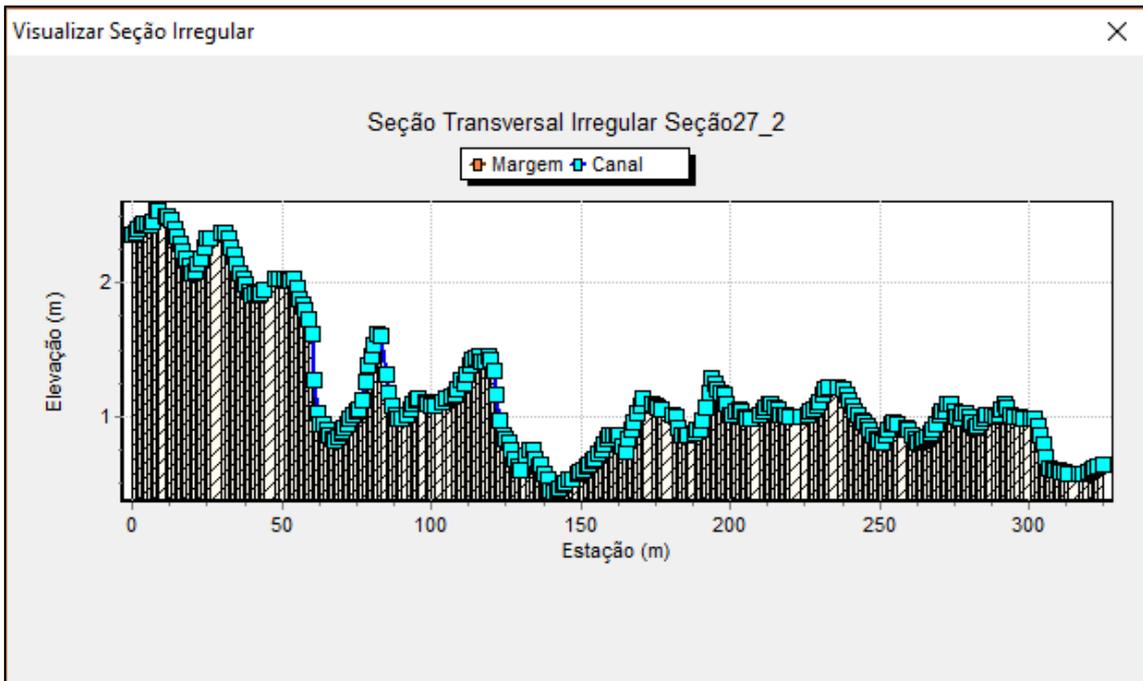


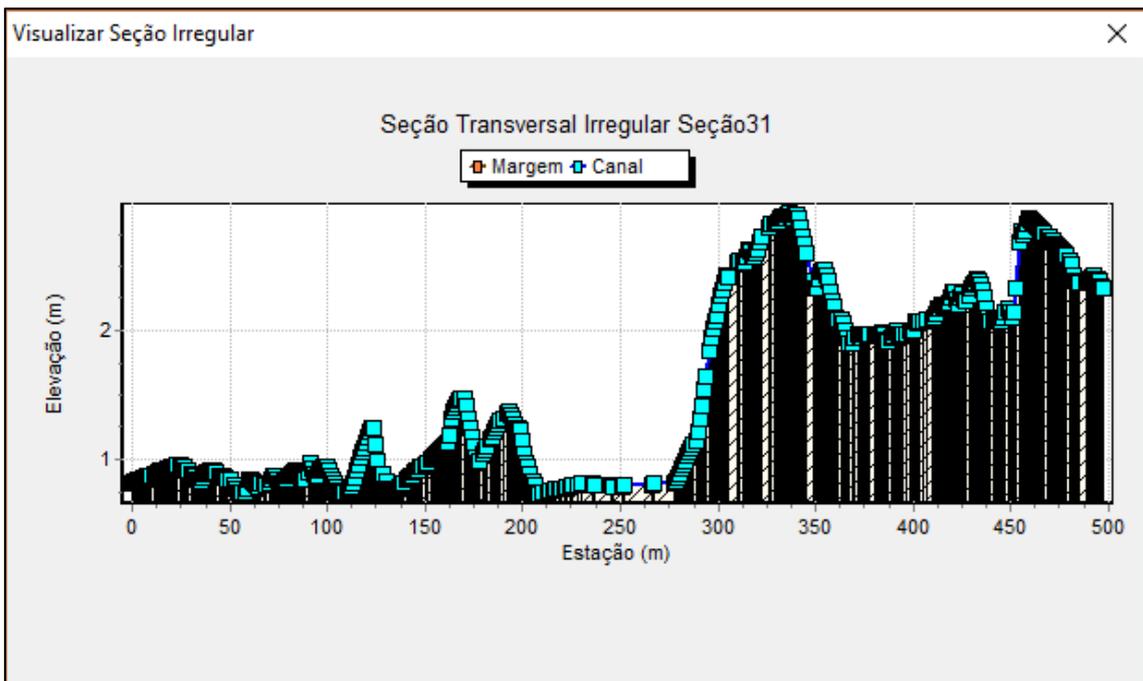
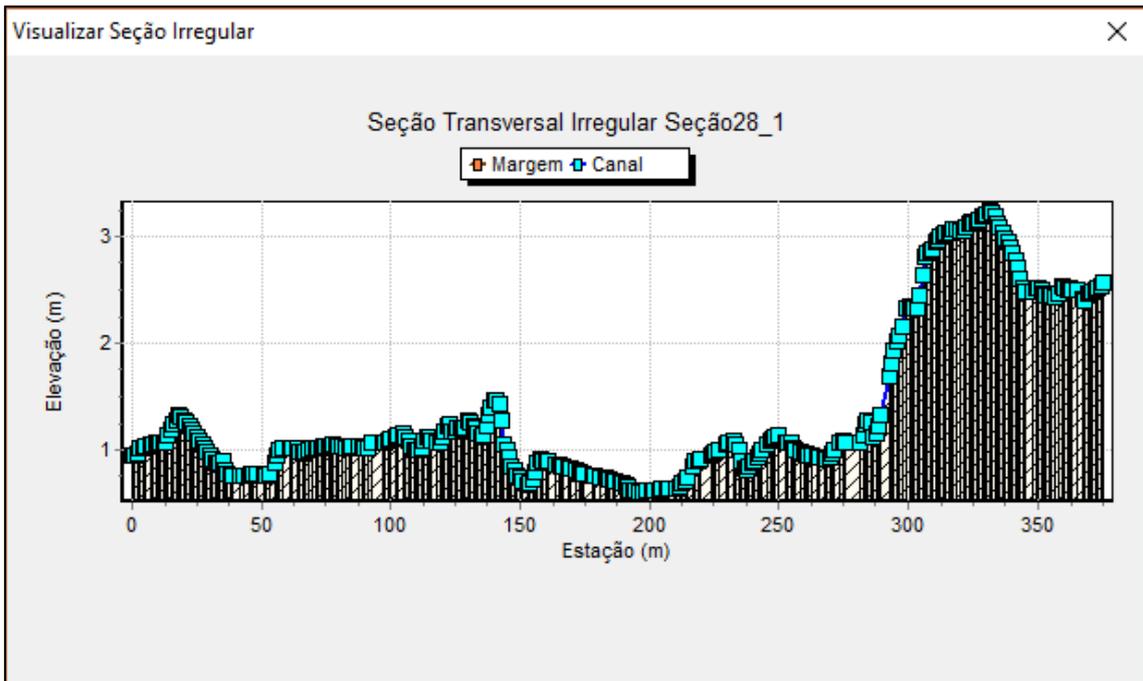


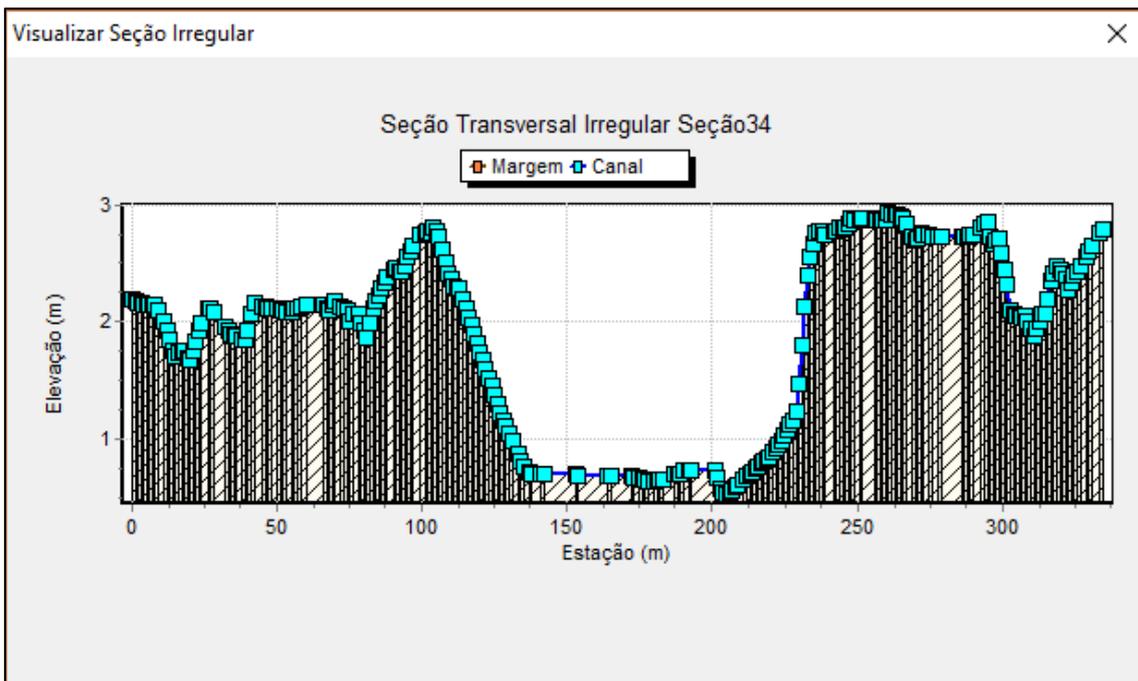
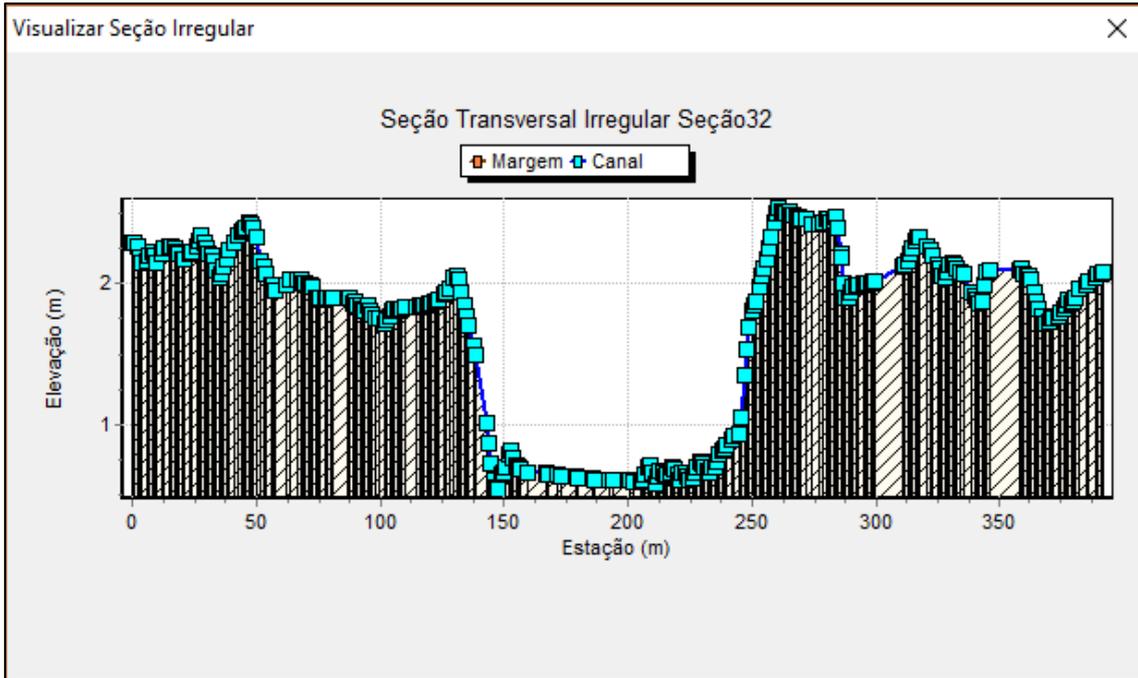


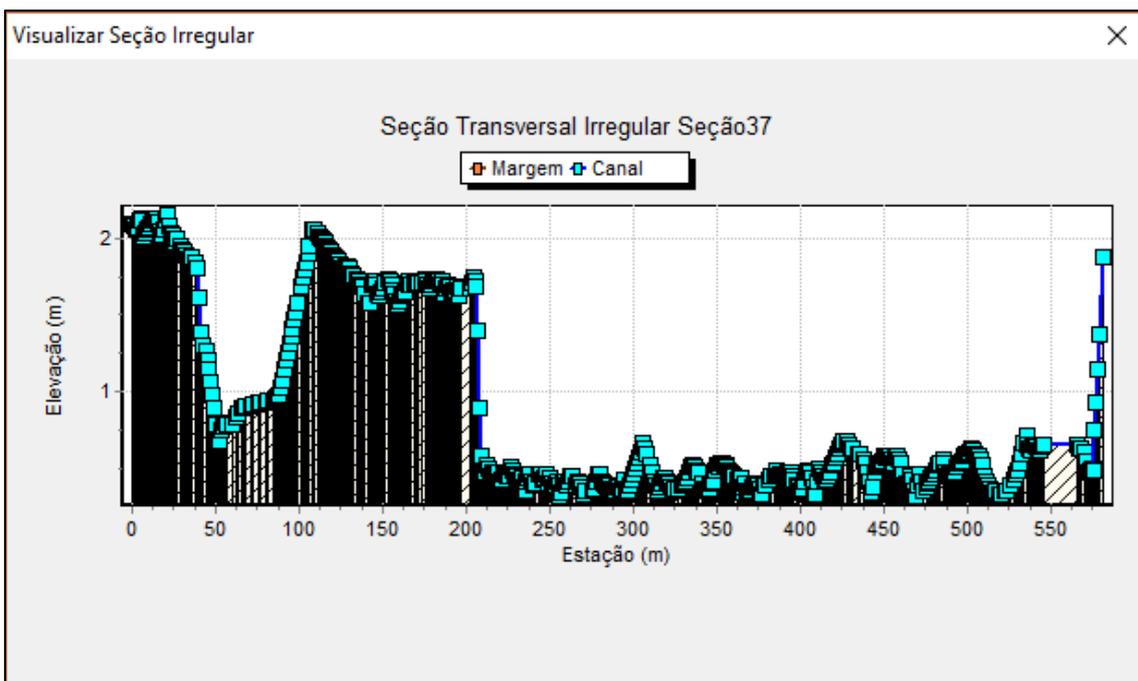
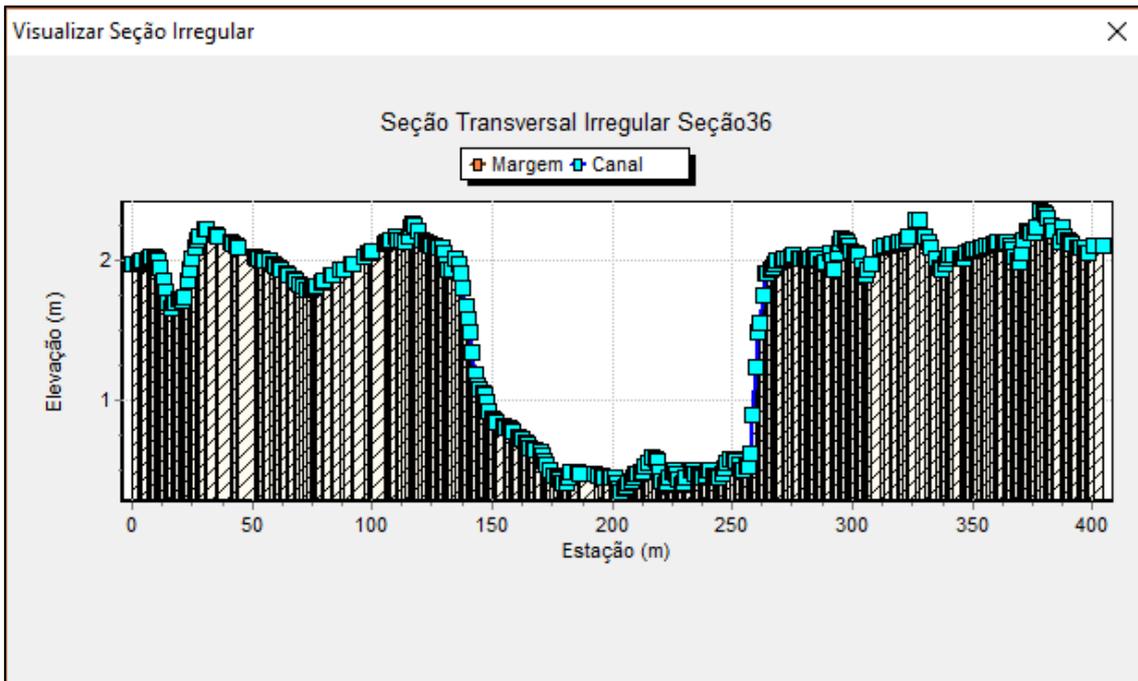




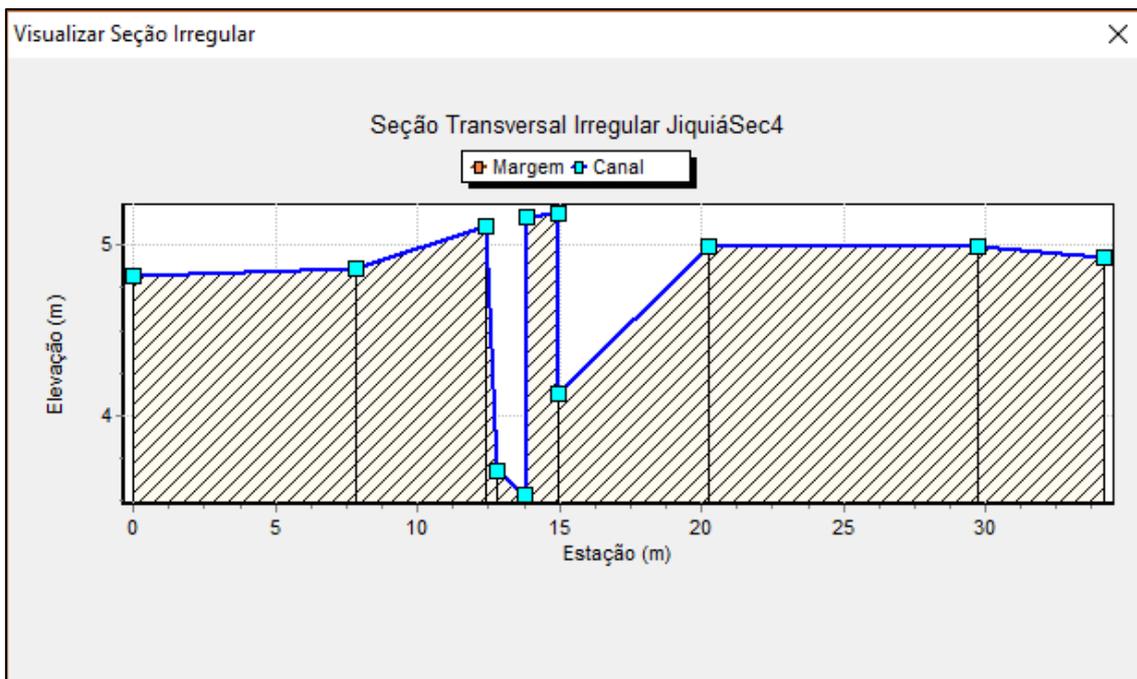
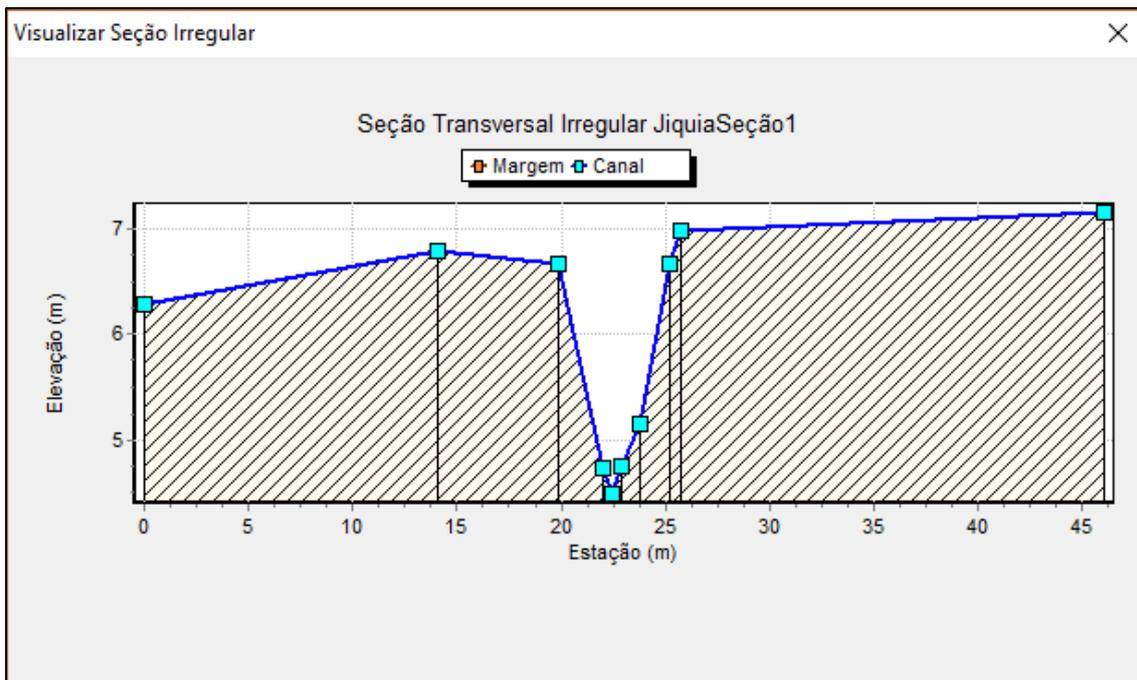


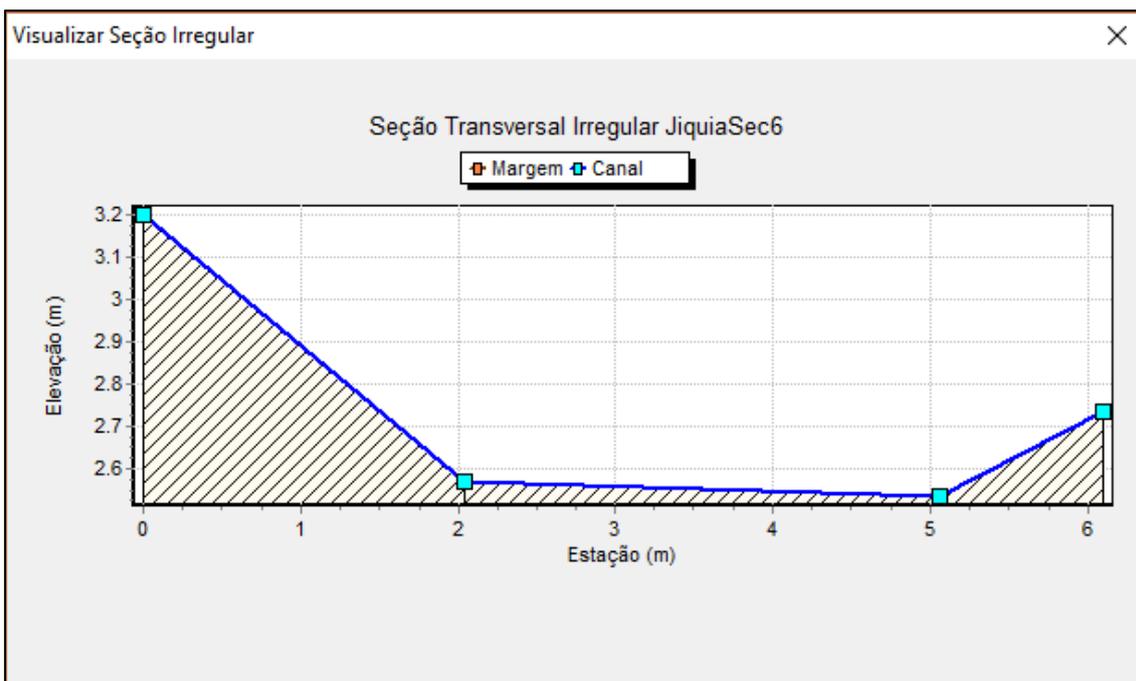
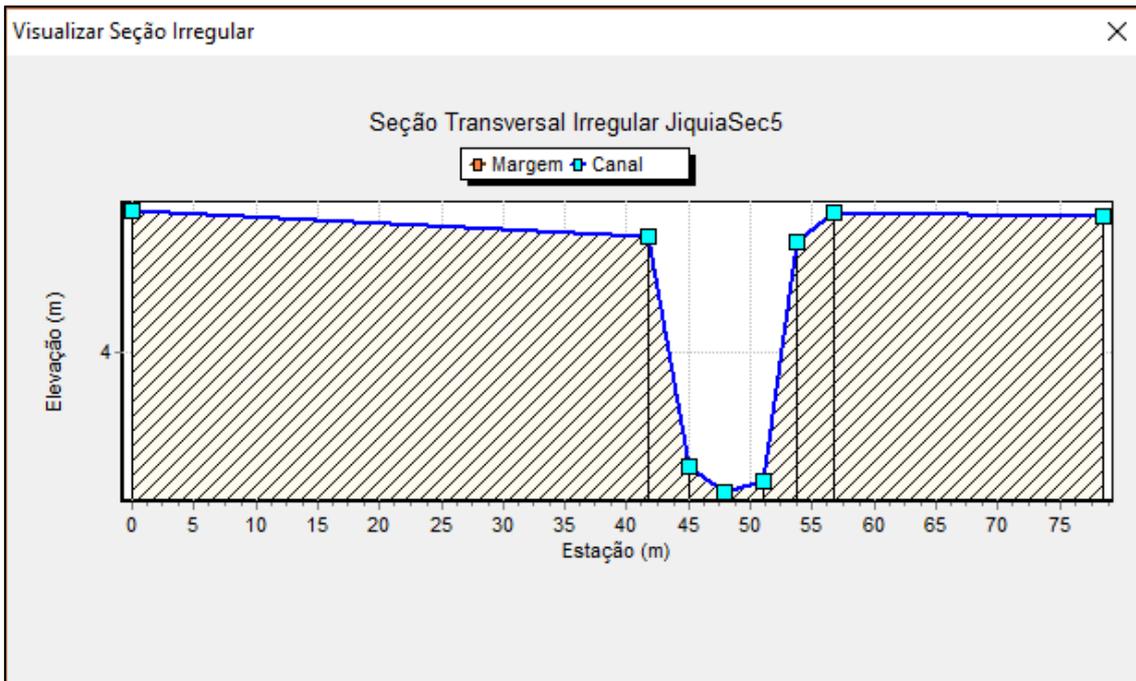


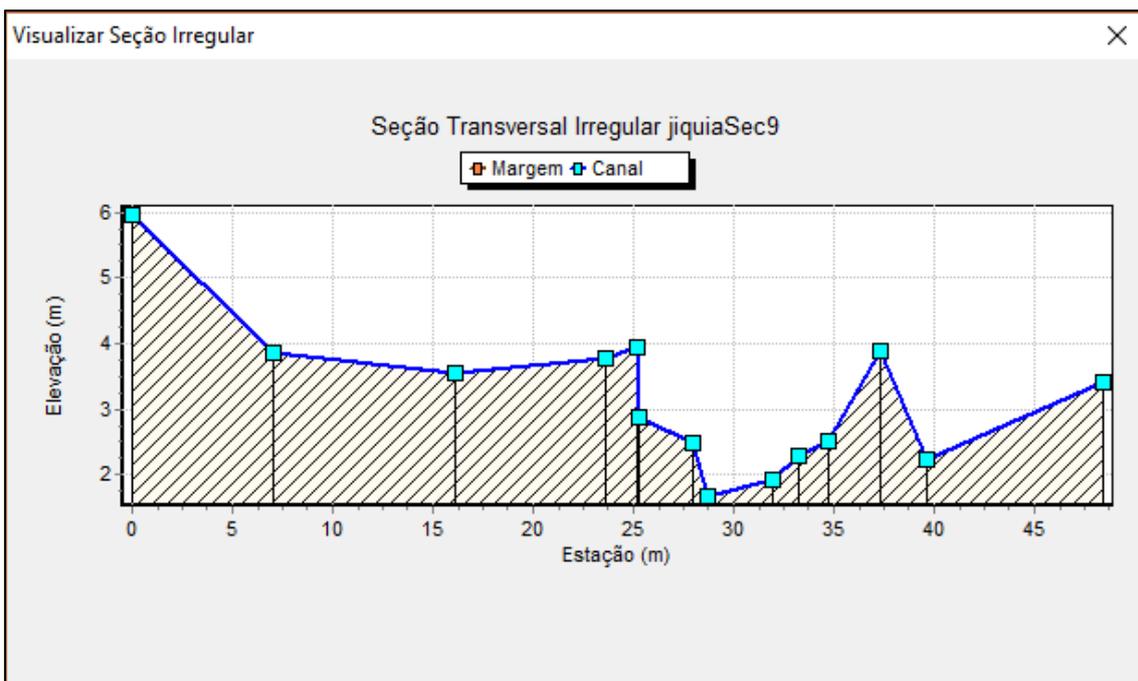
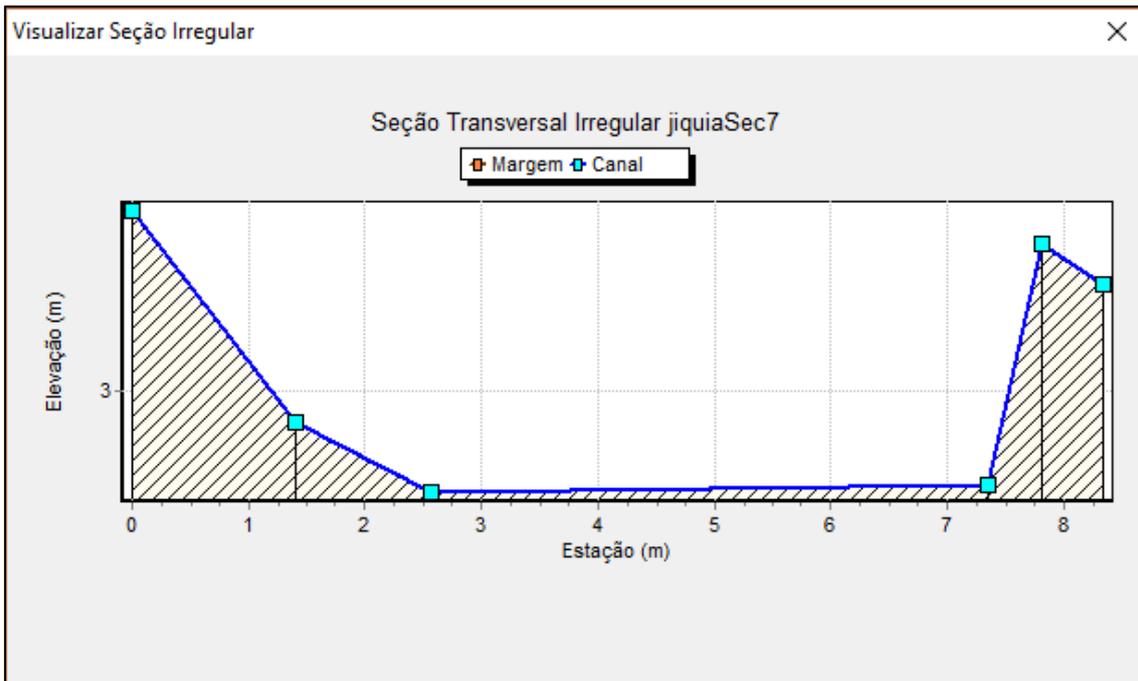


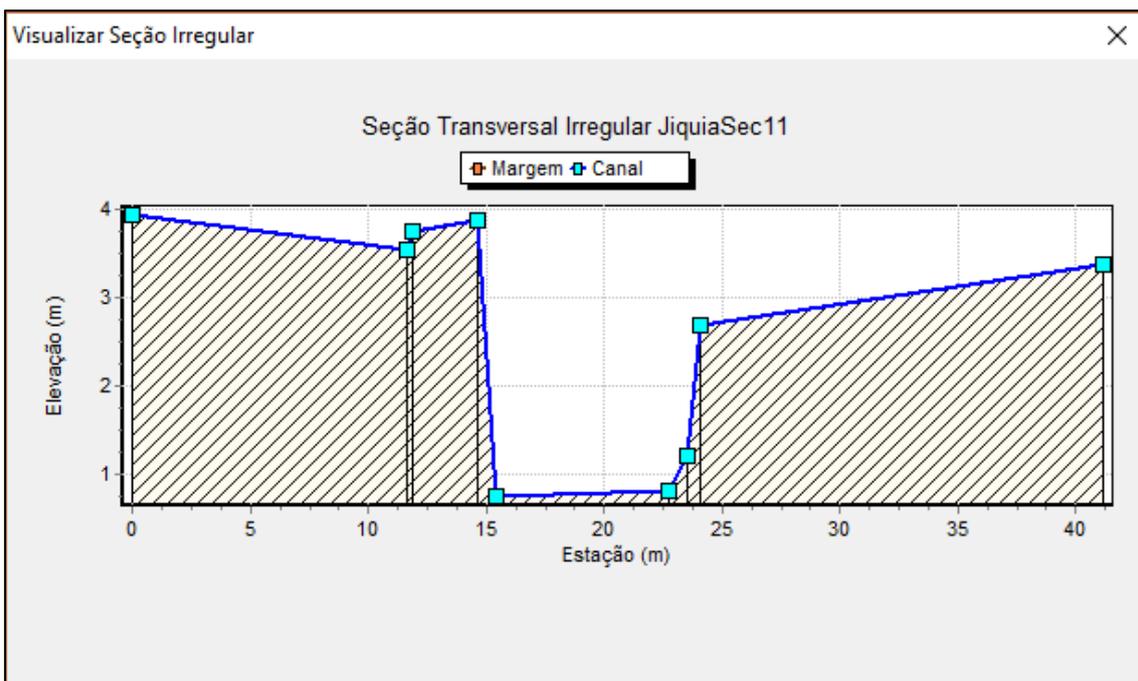
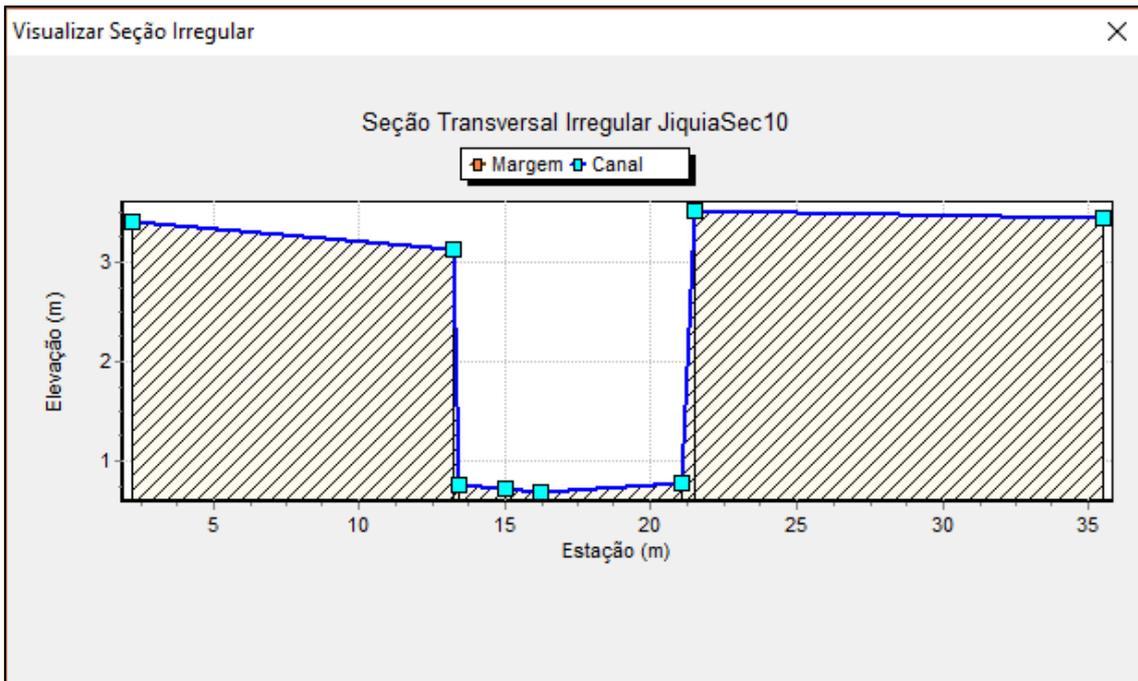


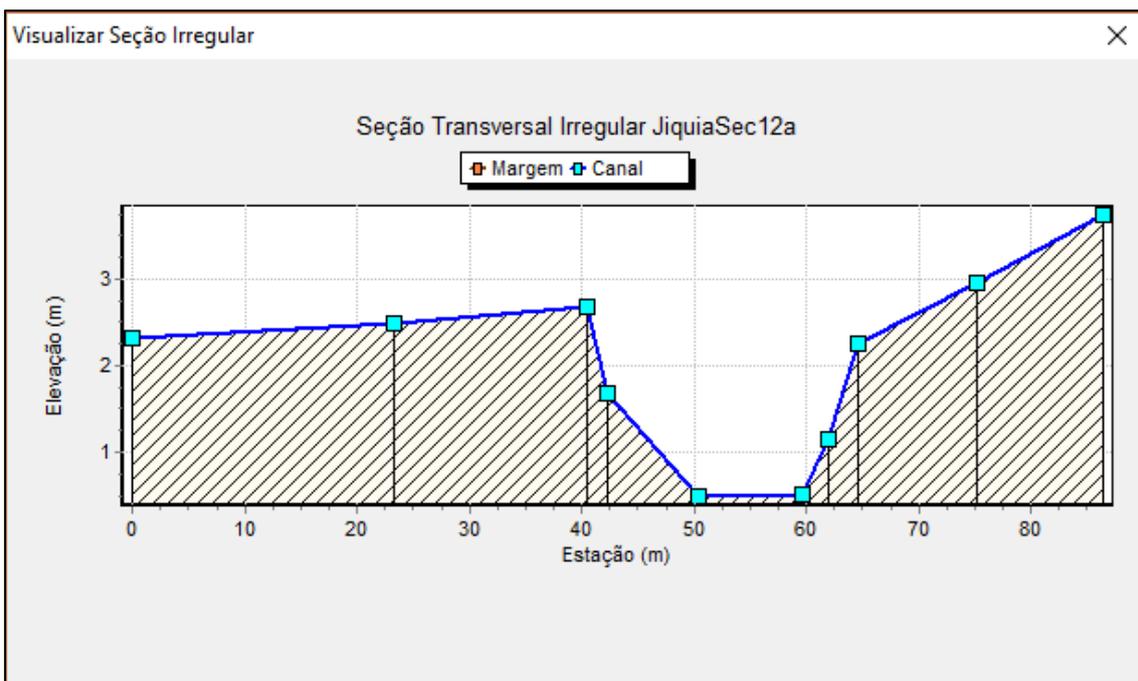
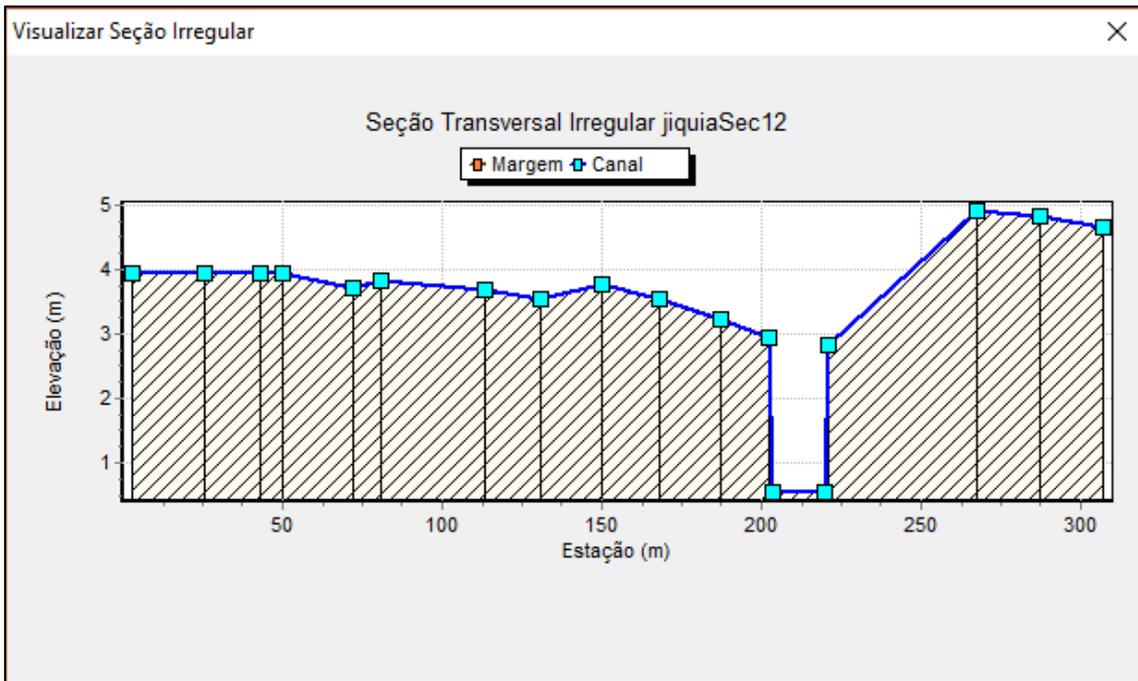
## Rio Jiquiá

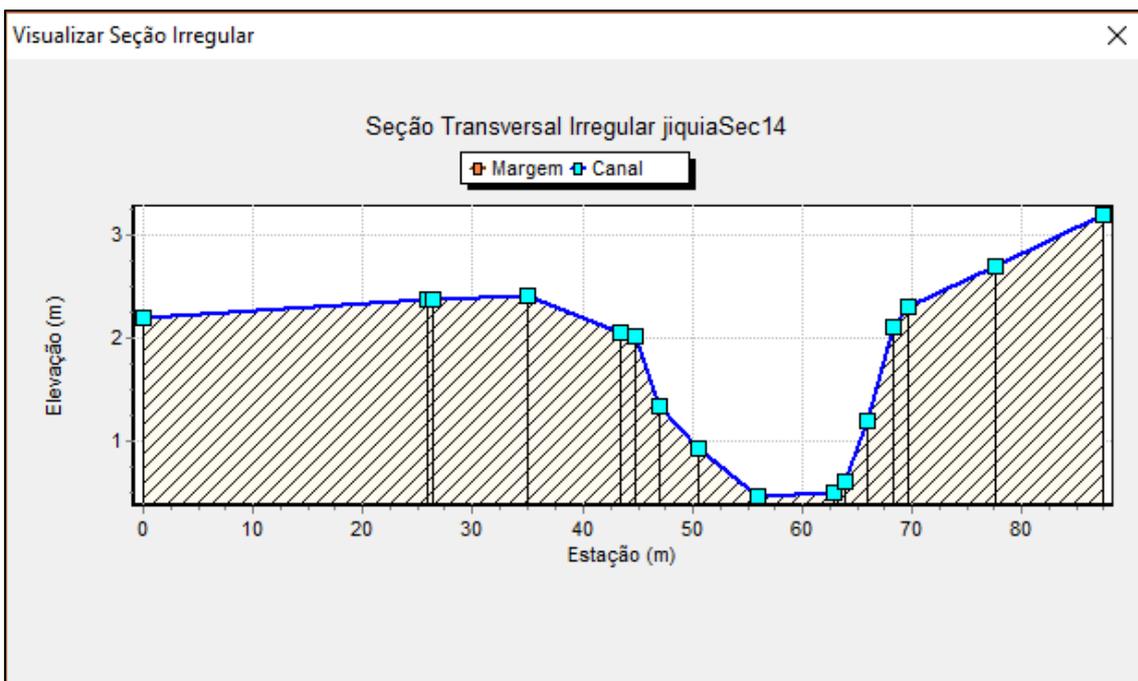
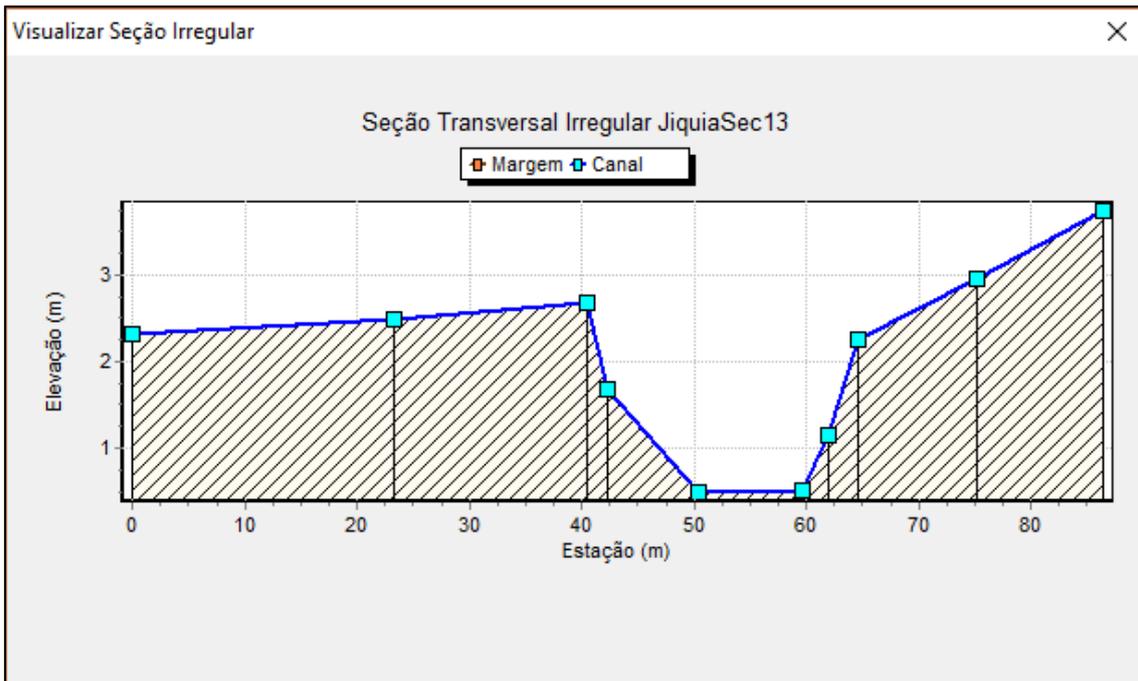


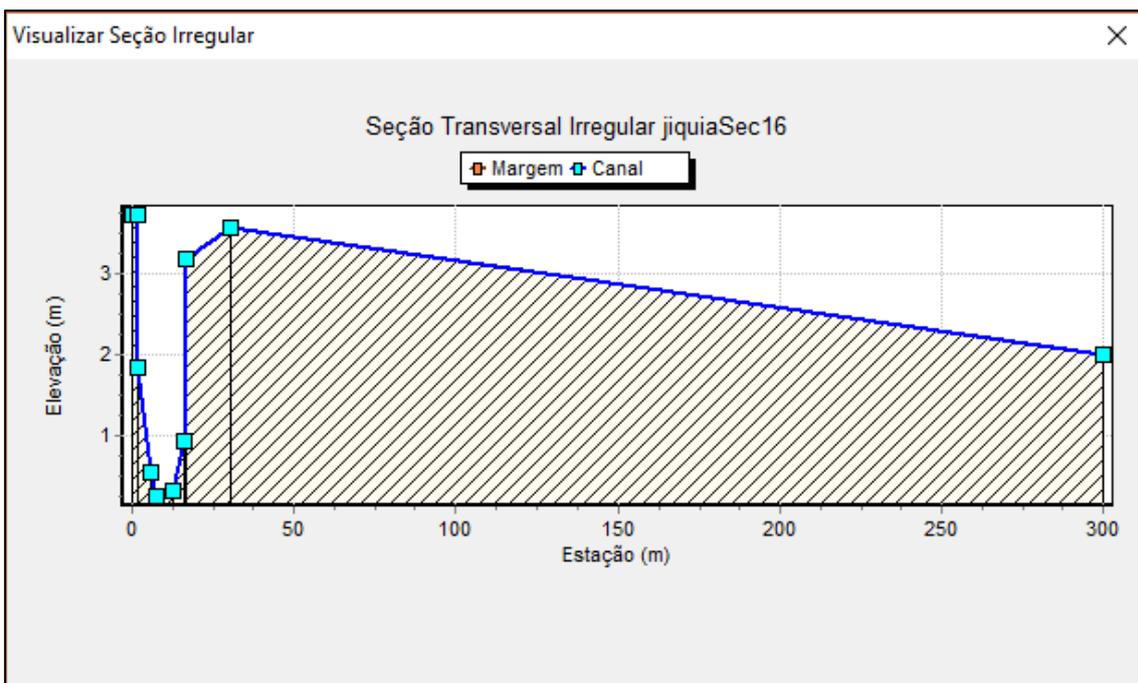
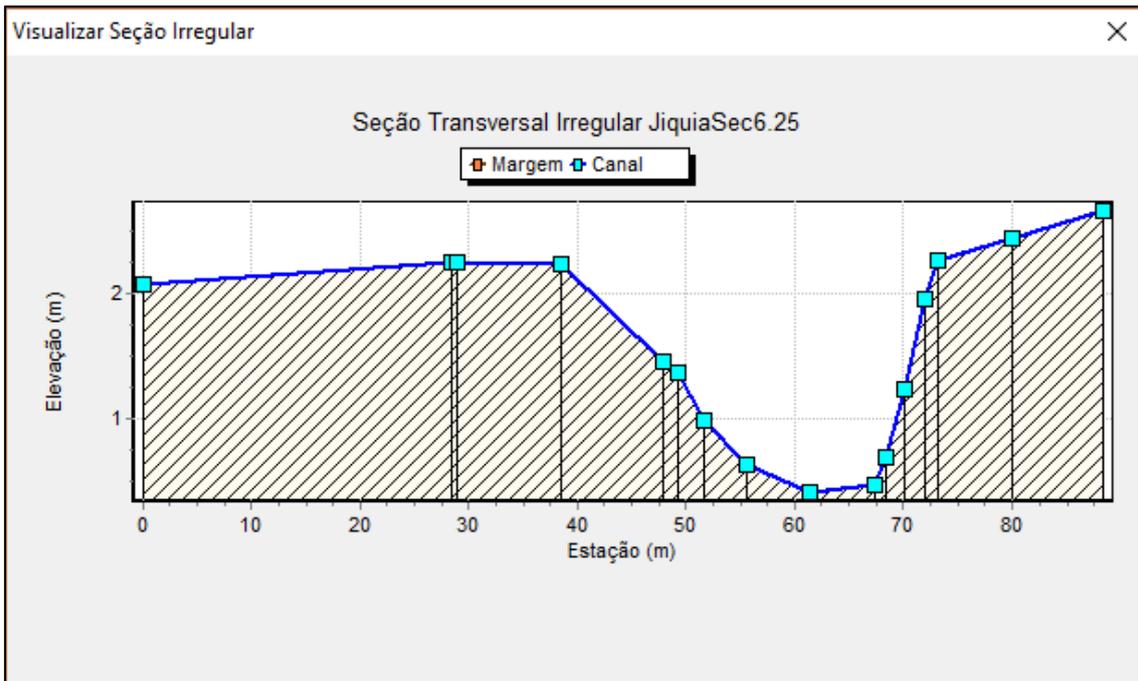


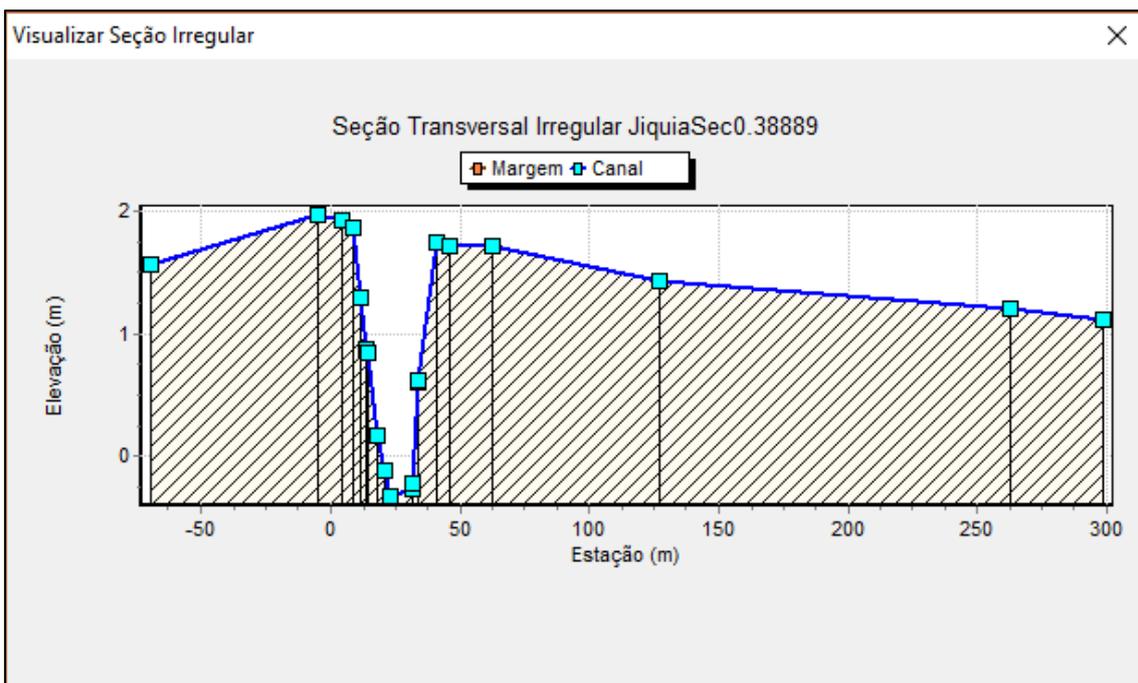
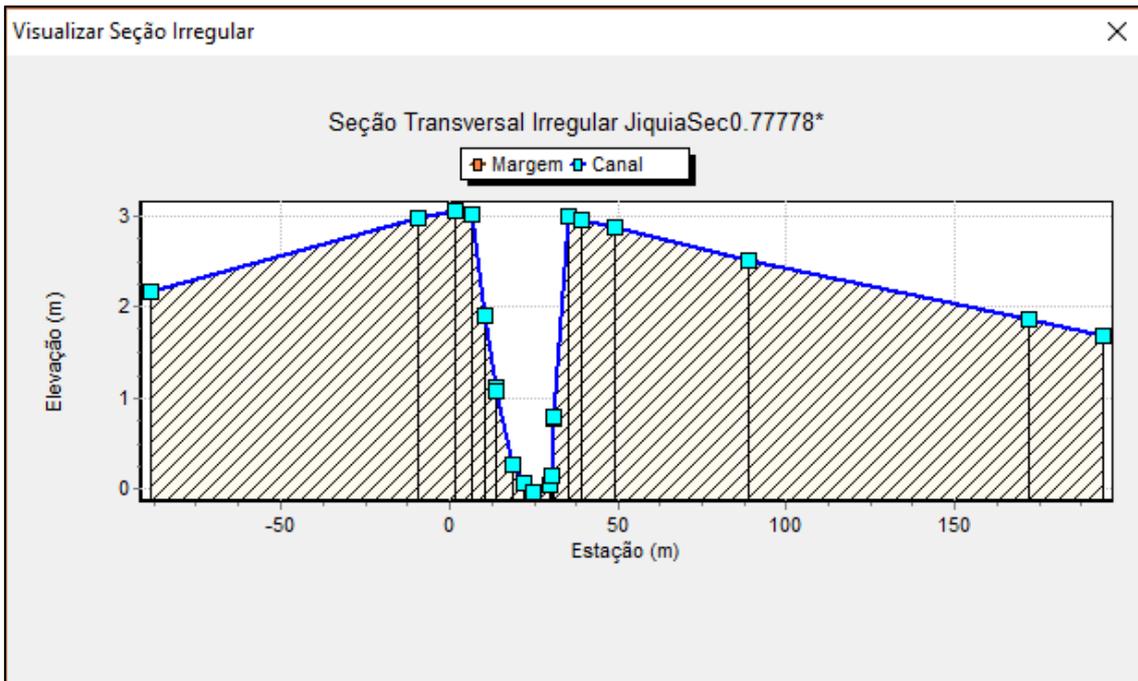


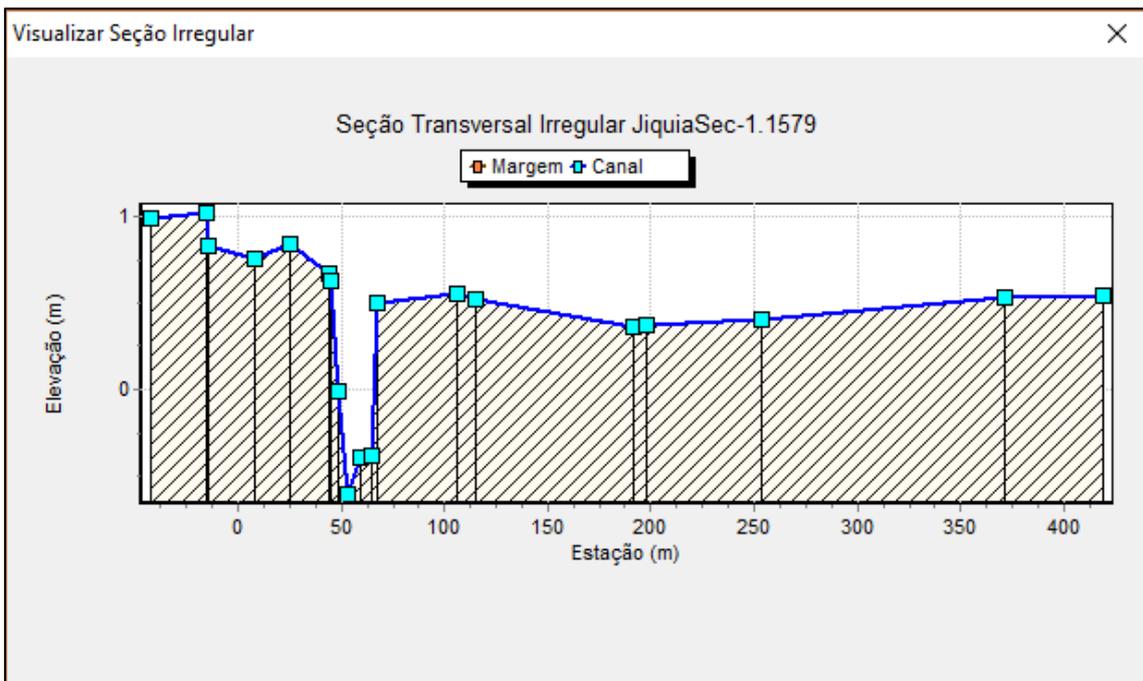
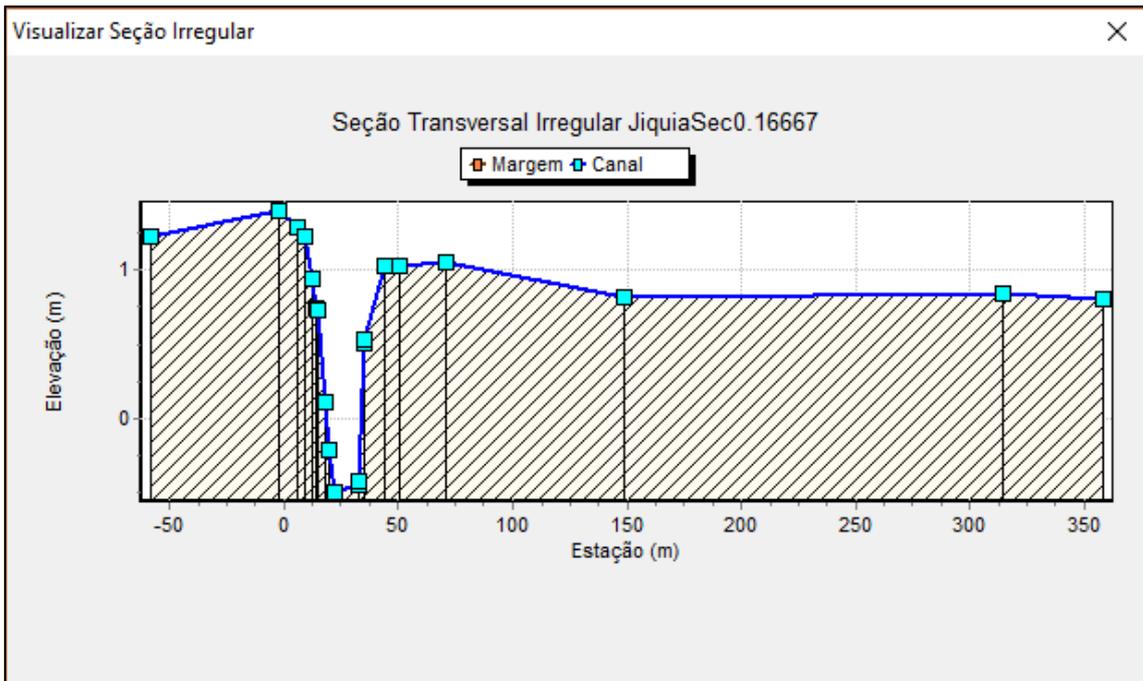


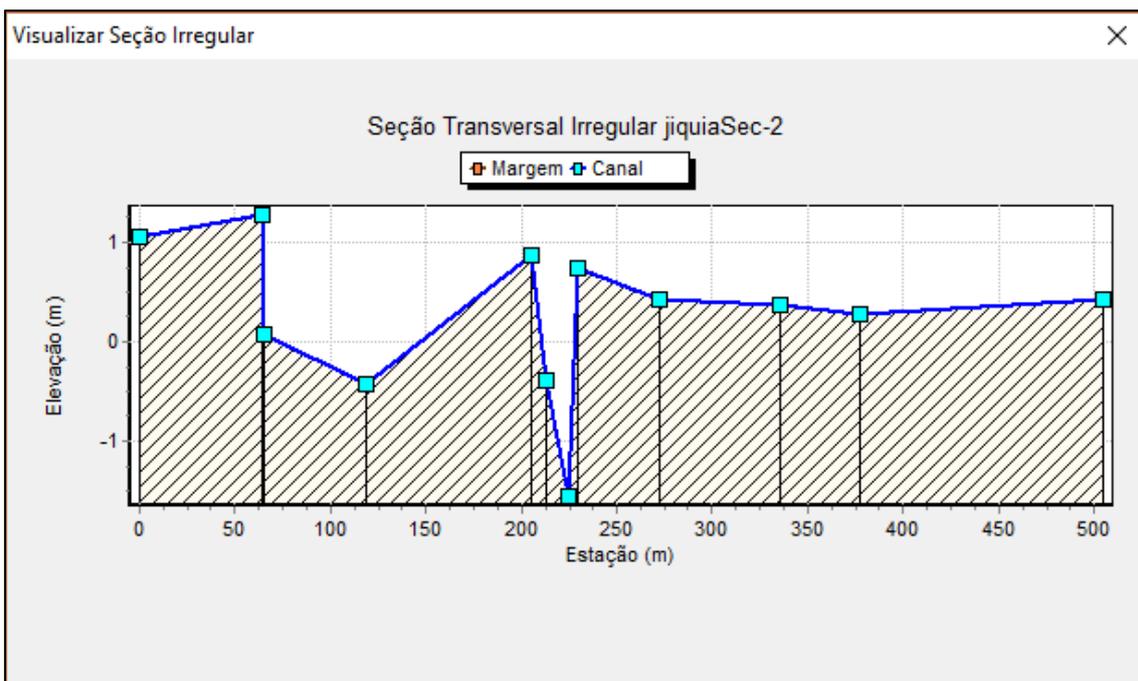
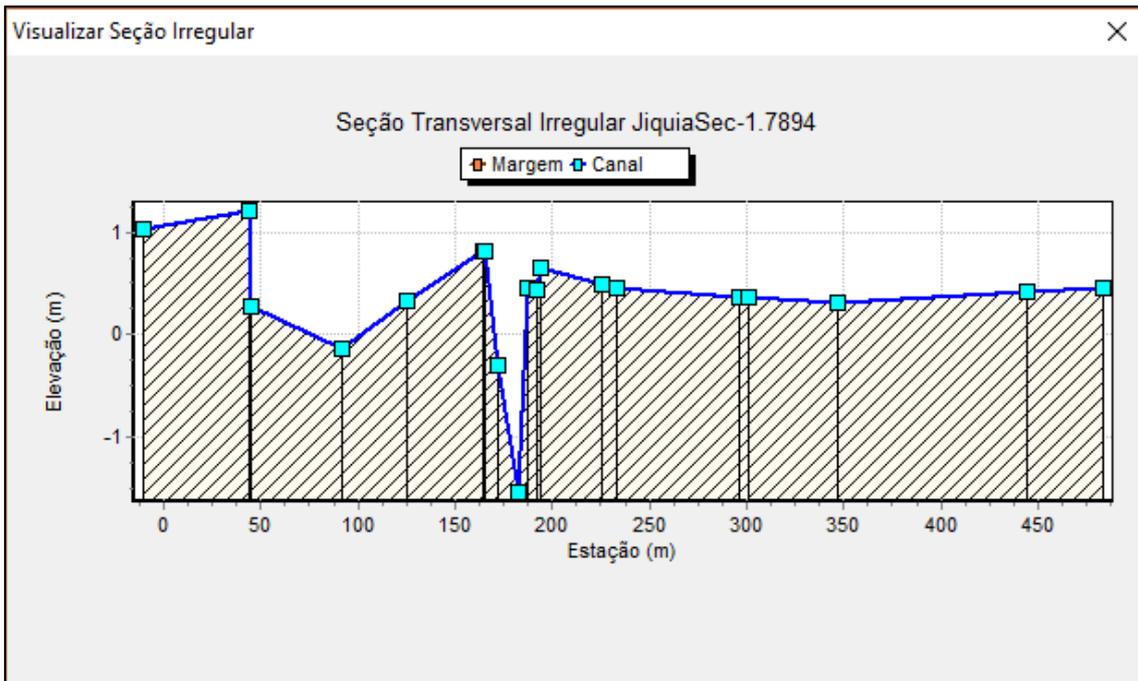




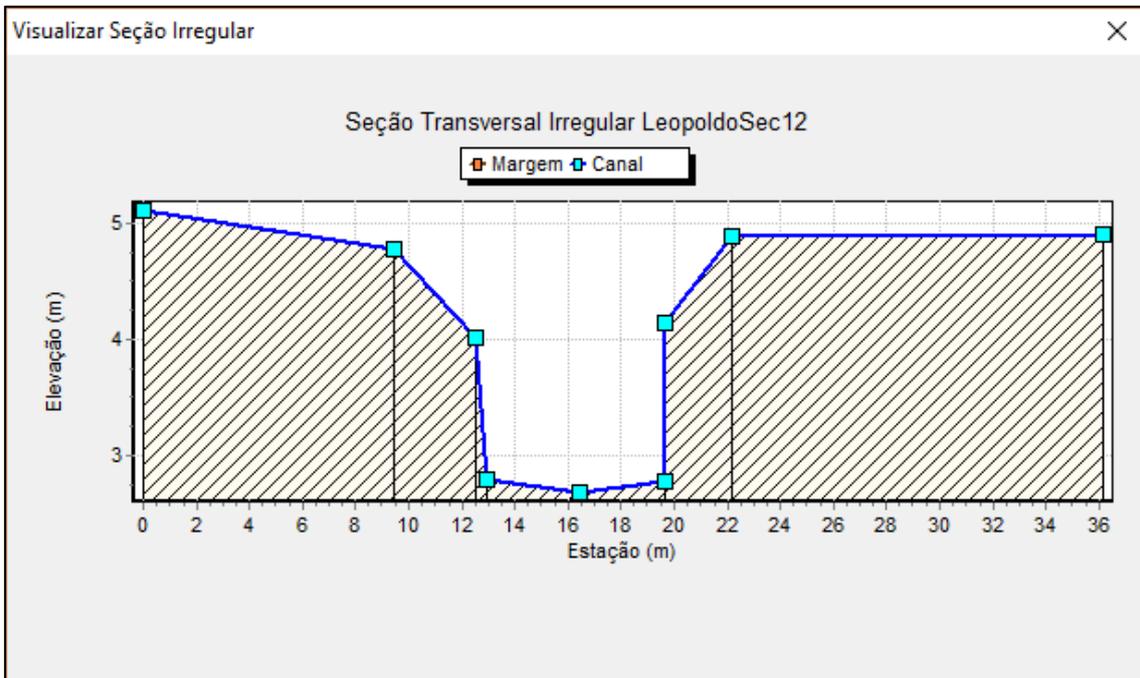
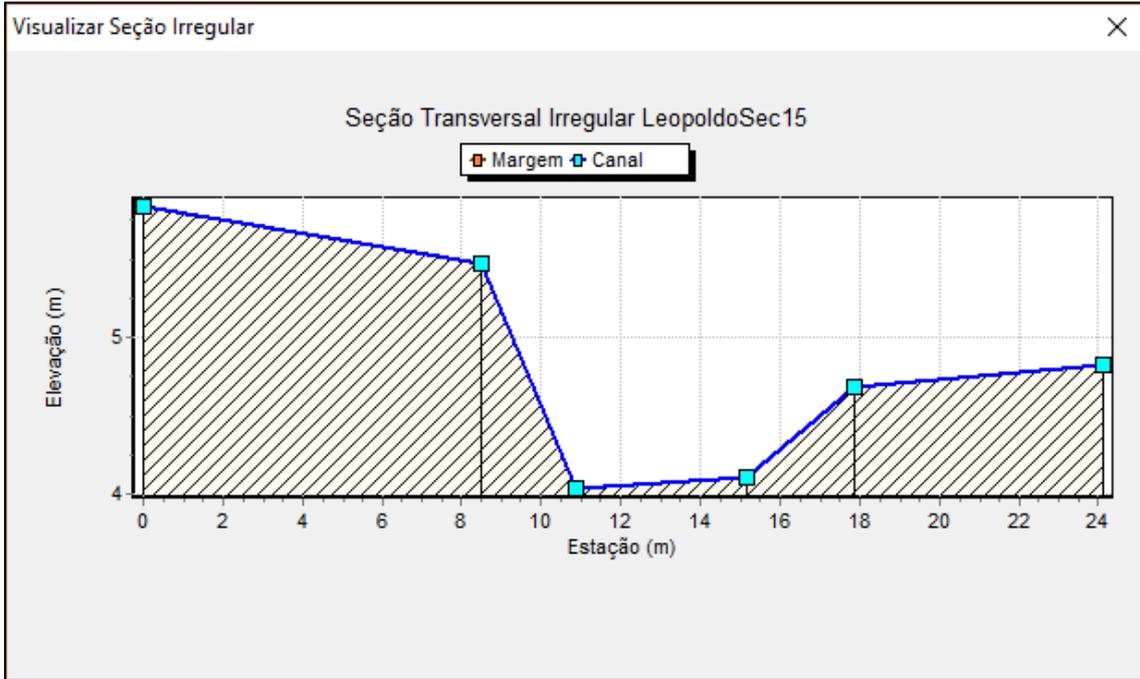


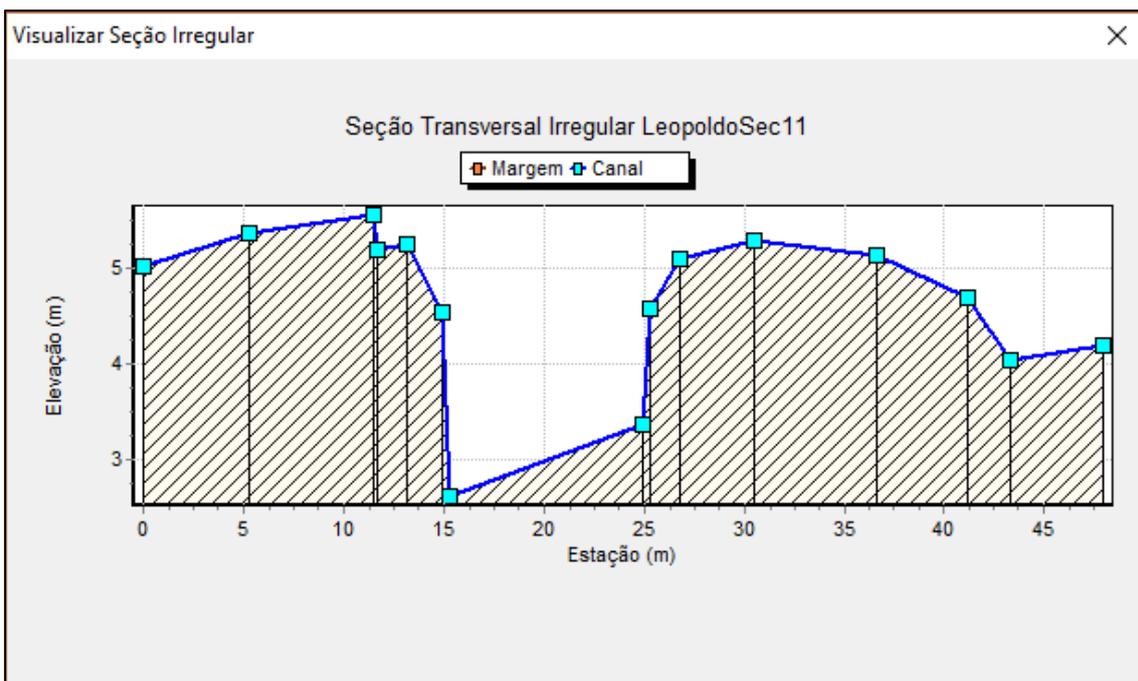
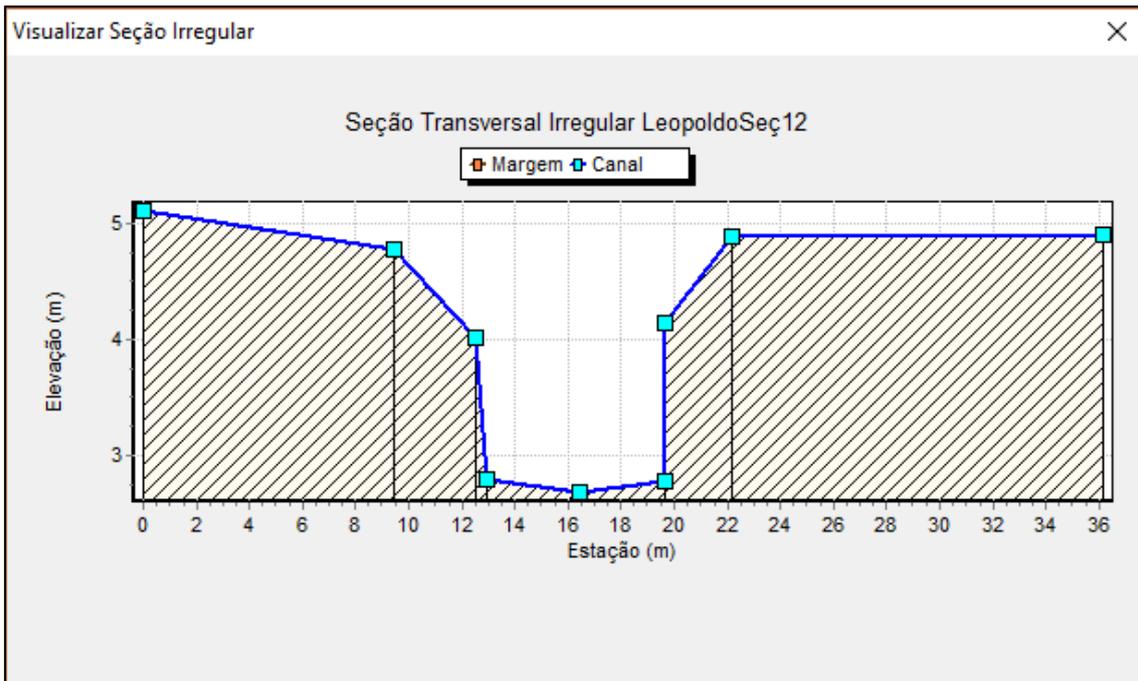


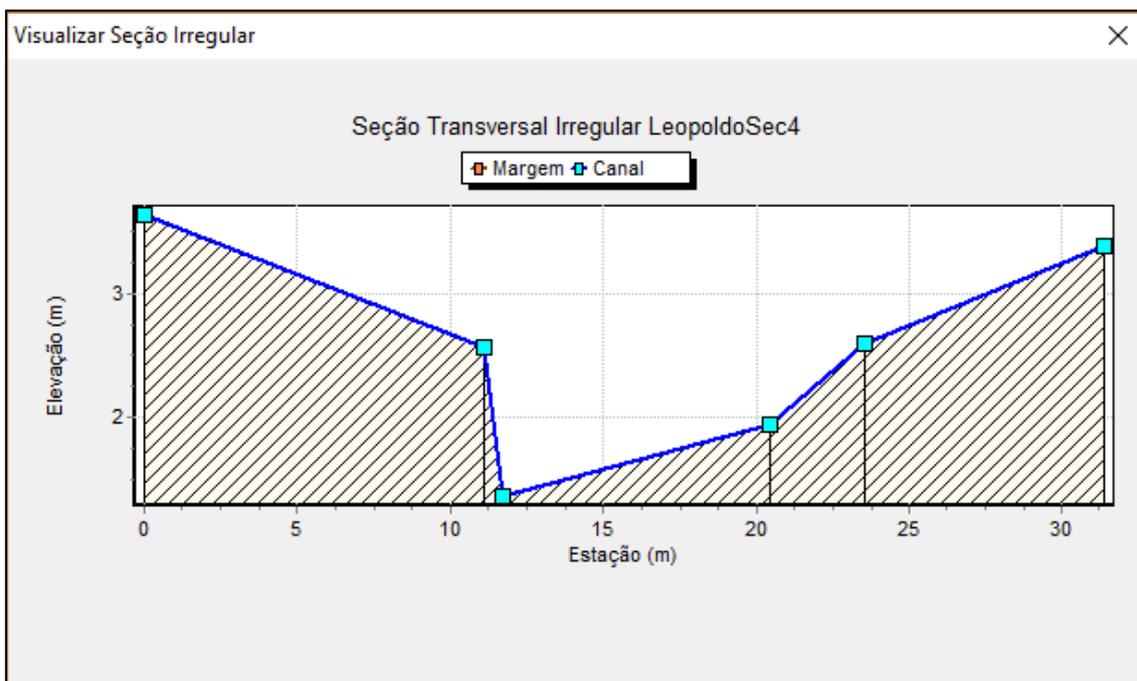
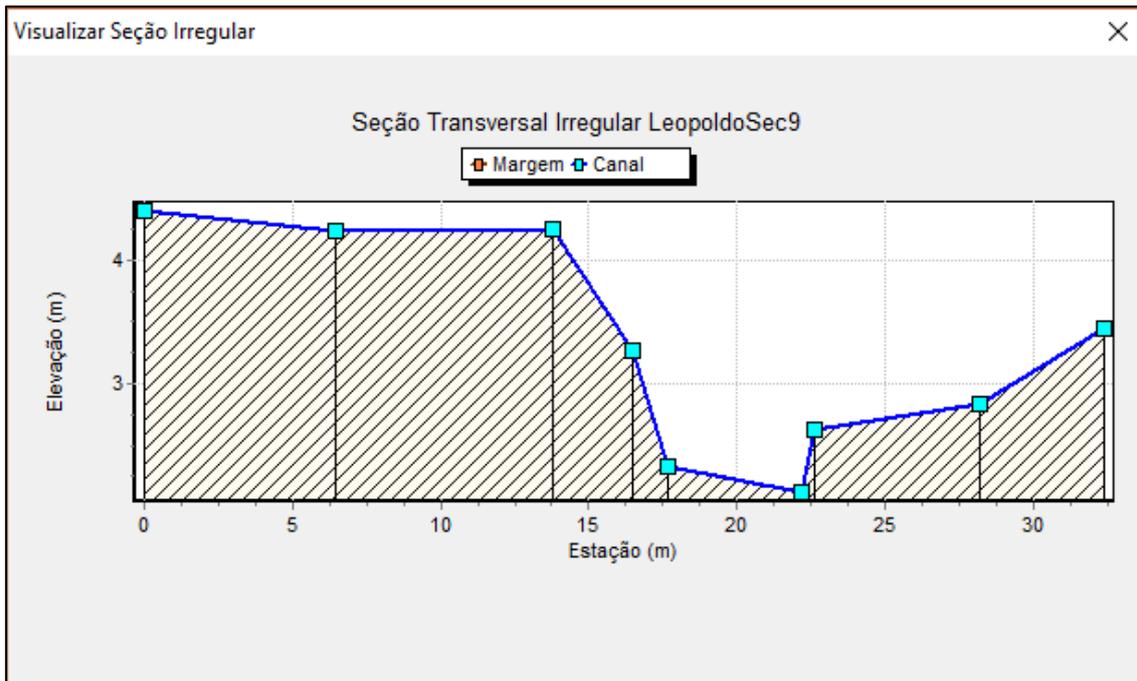


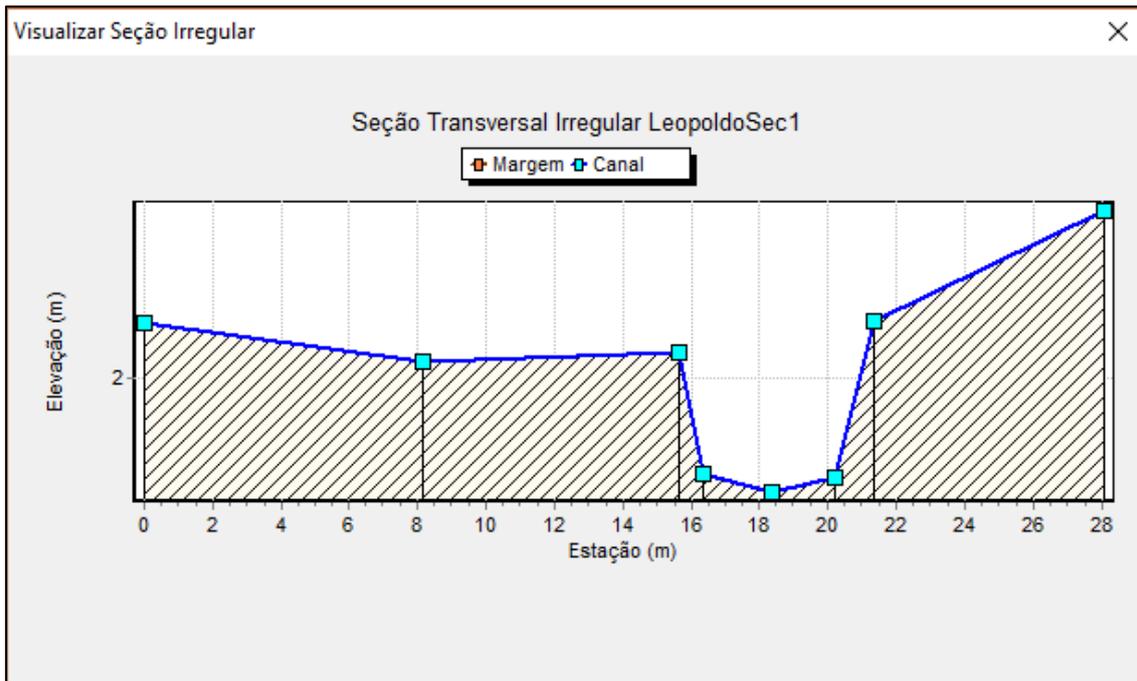


Riacho são Leopoldo

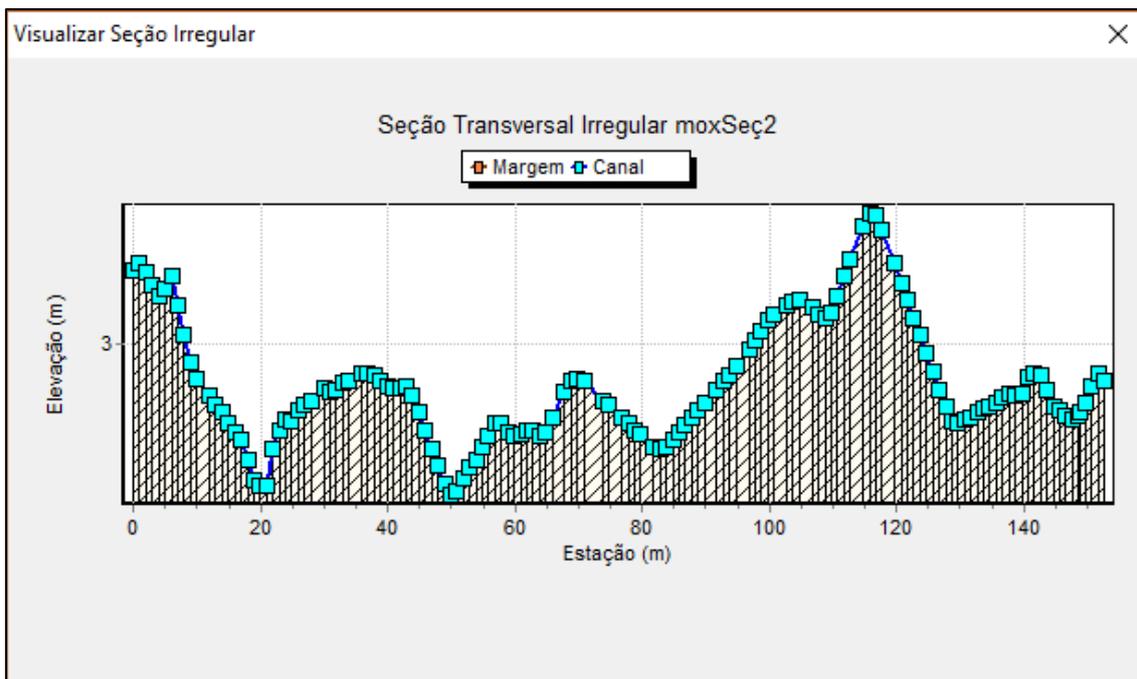


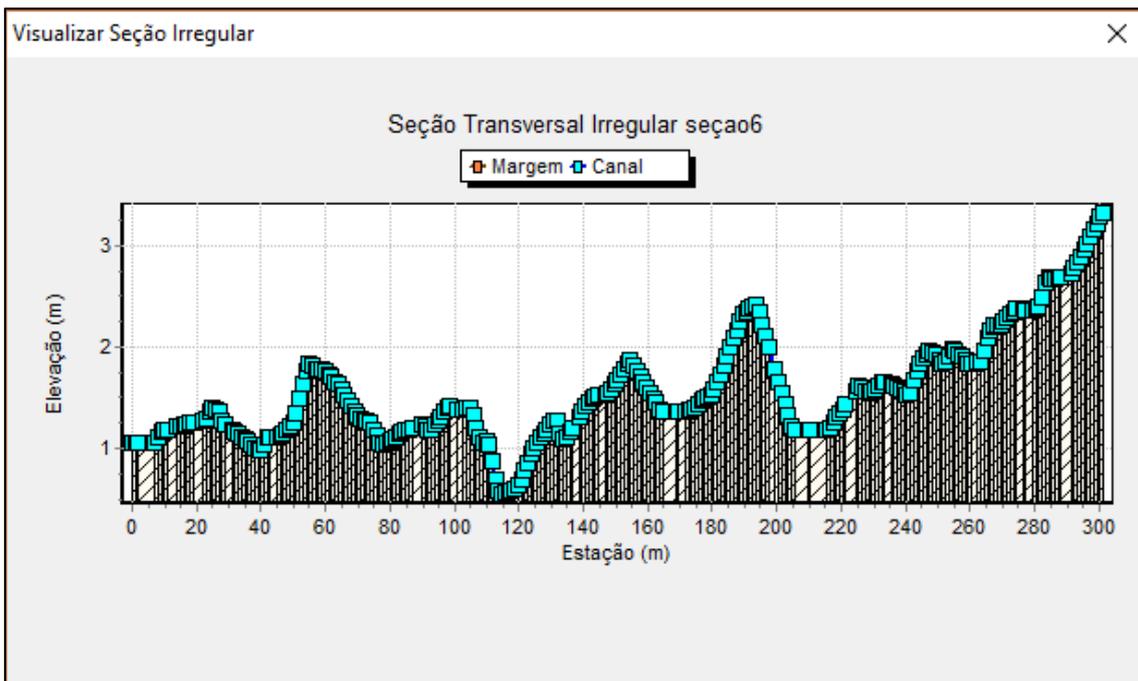
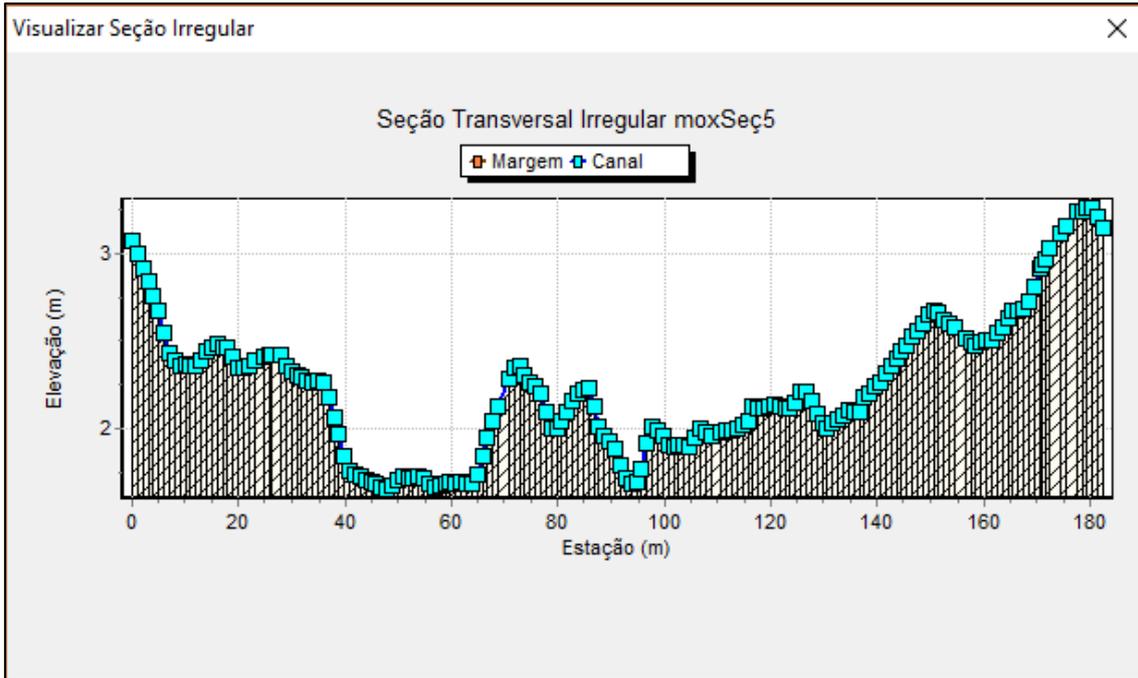


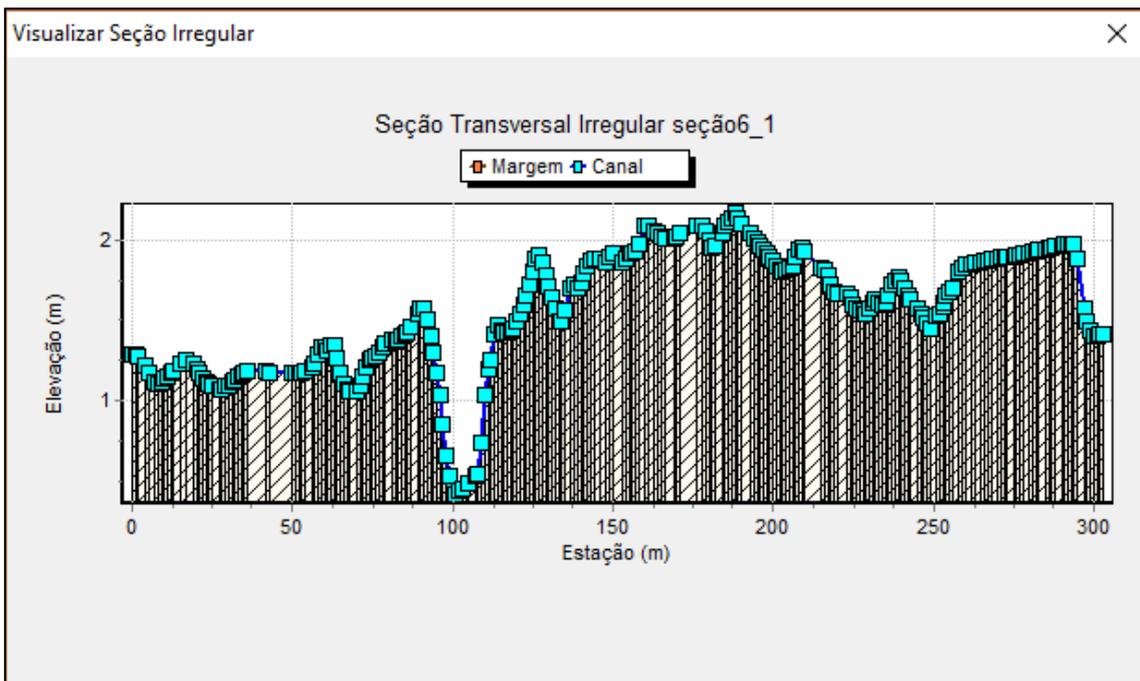
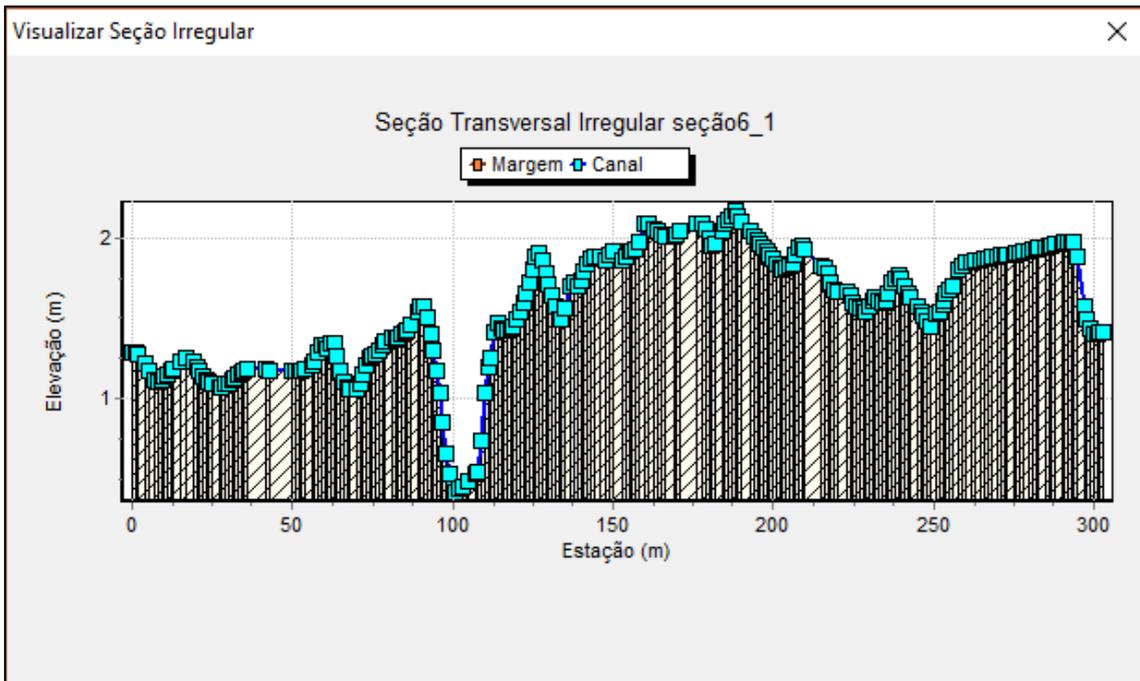




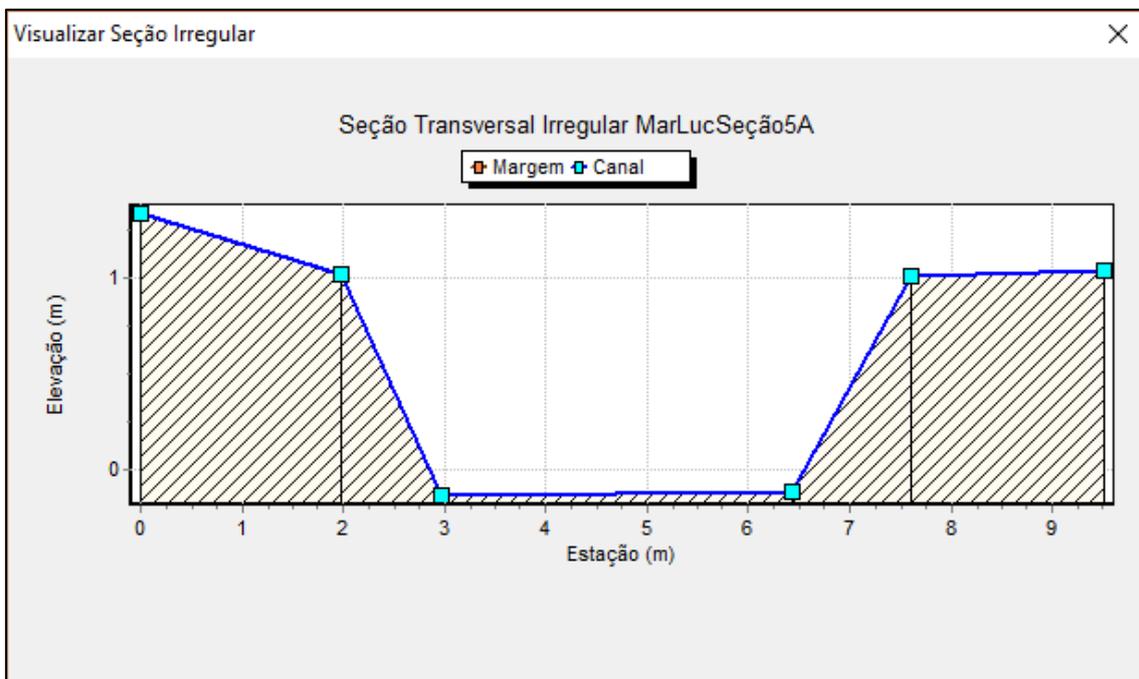
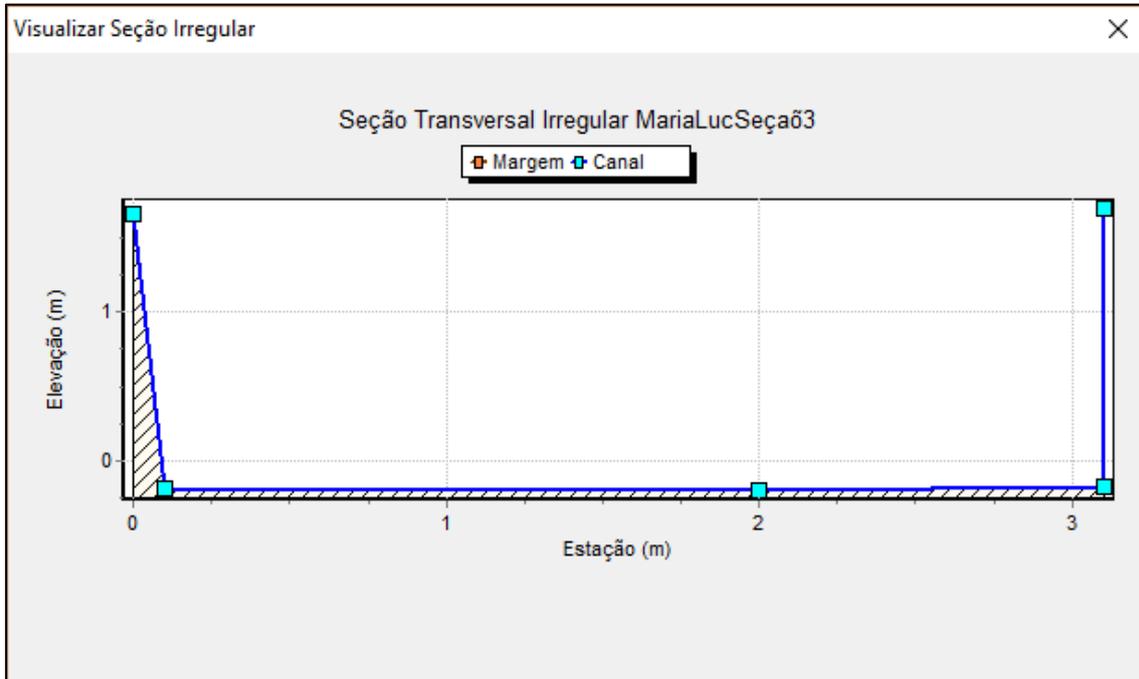
Rio Moxotó

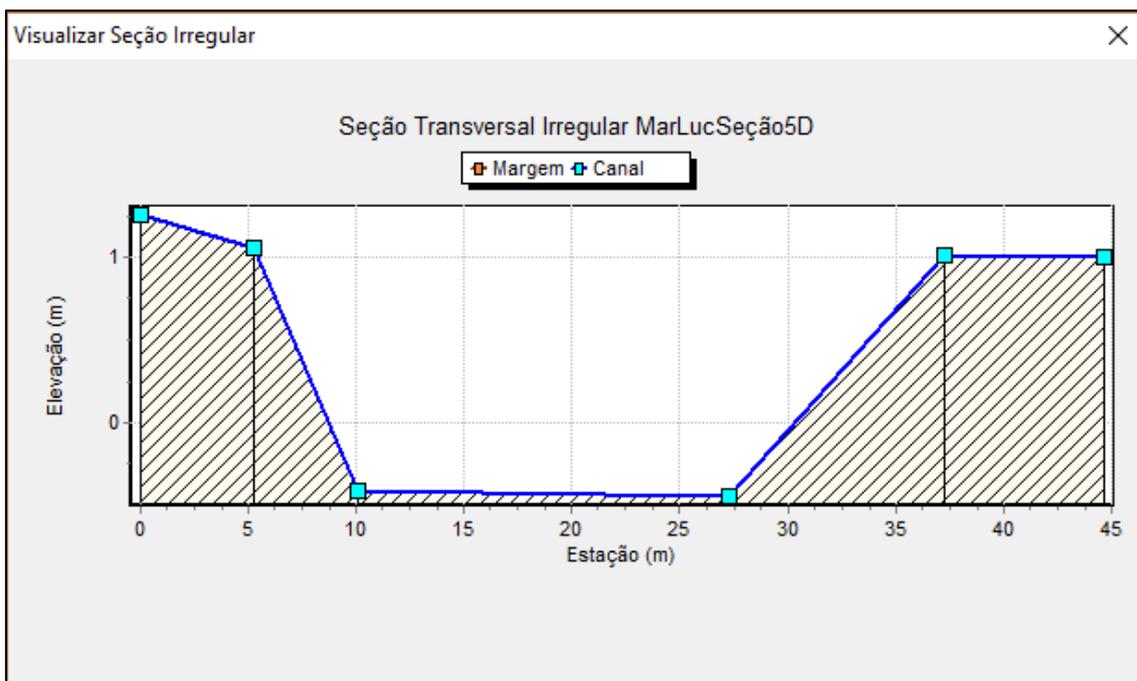
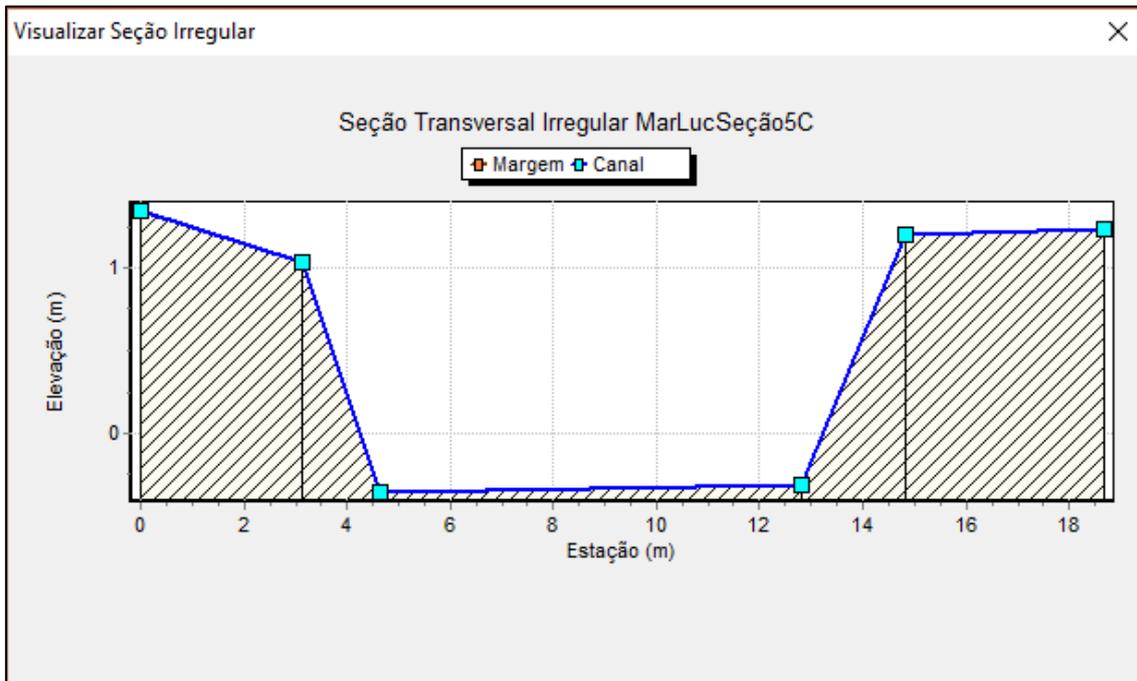




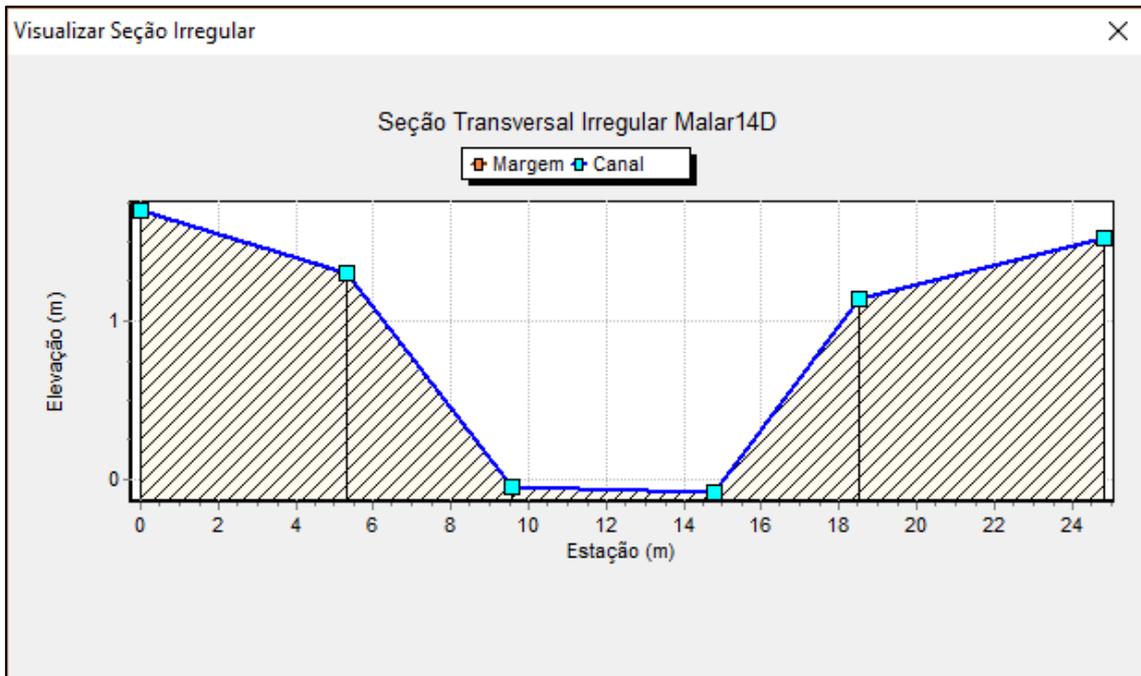
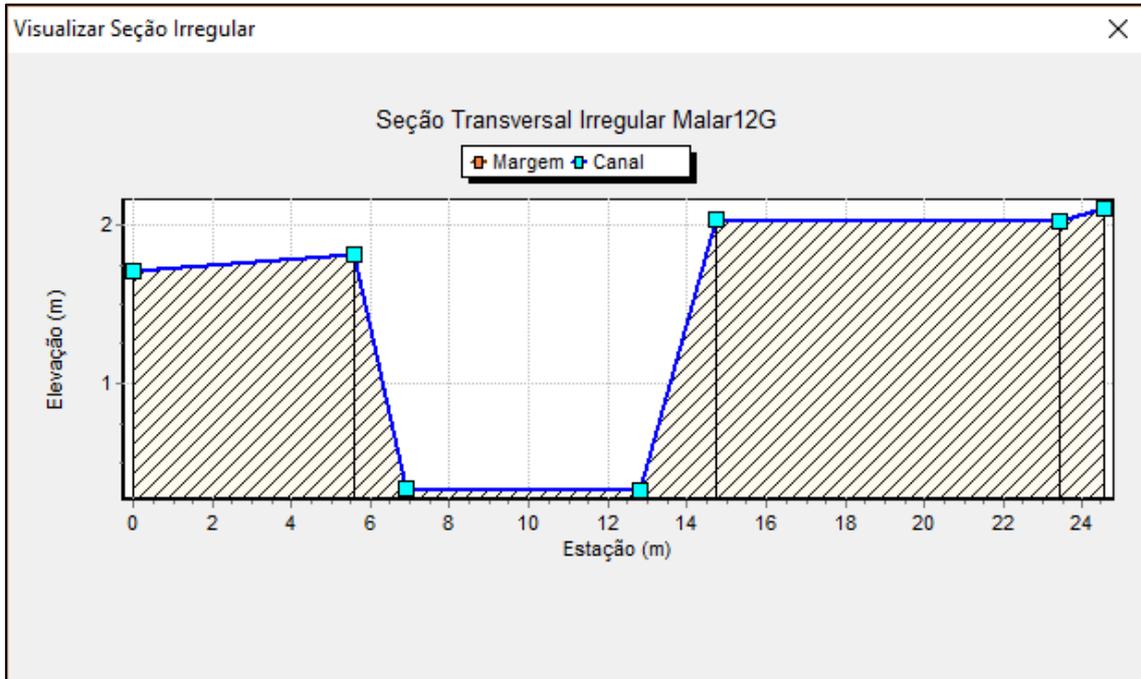


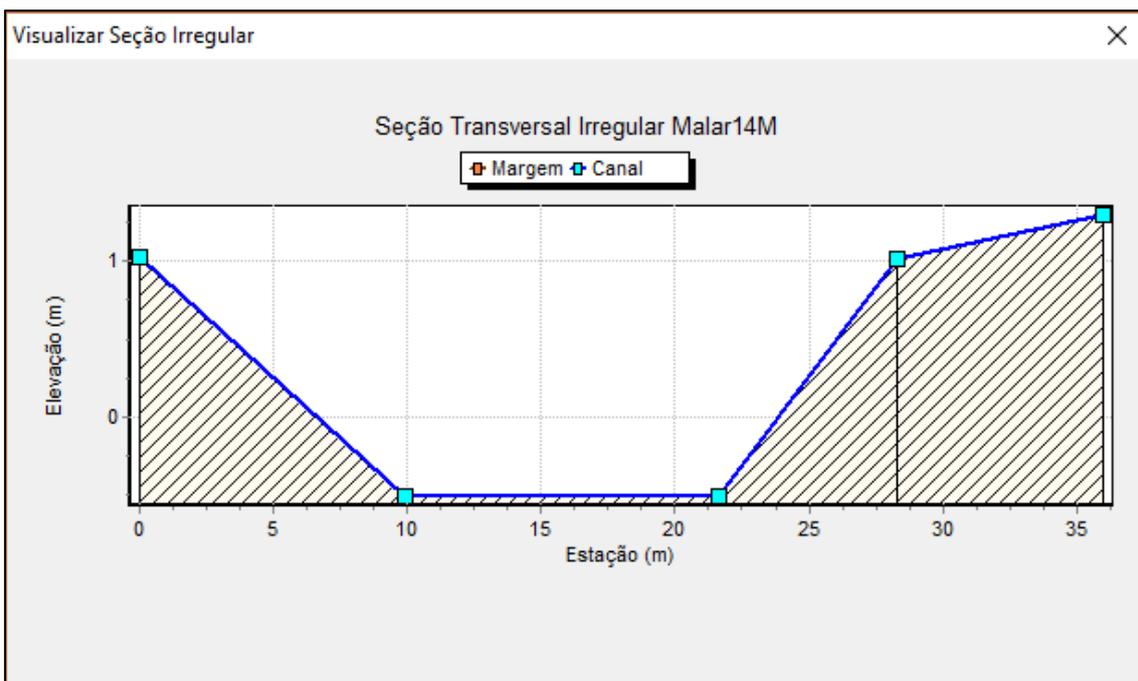
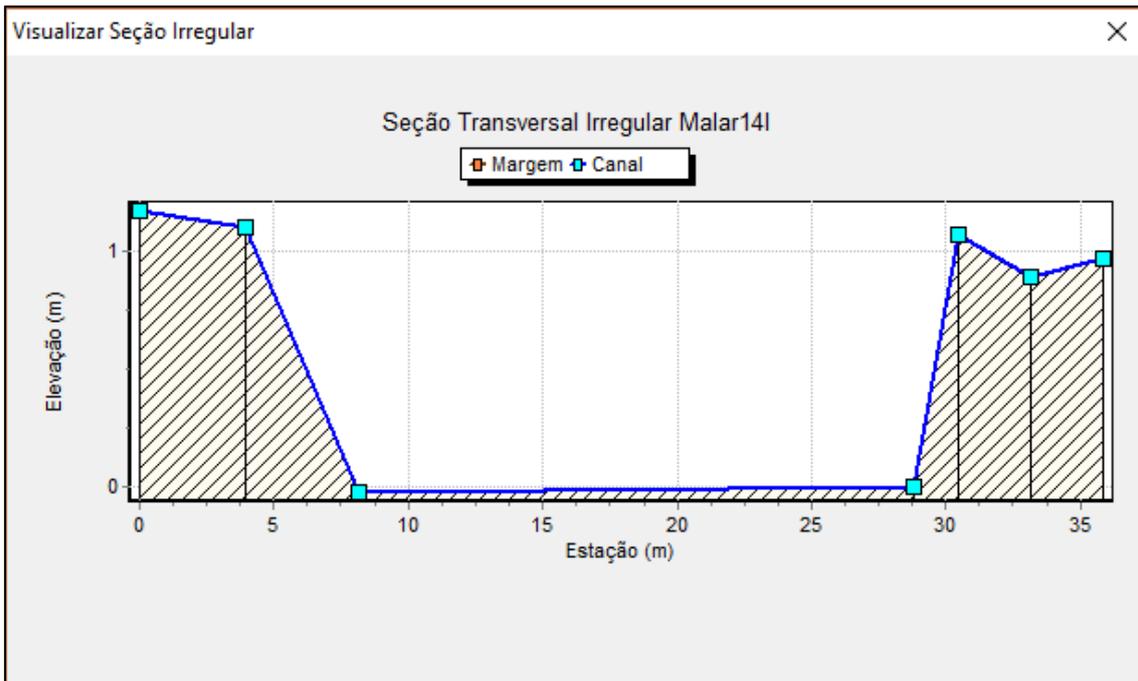
## Riacho Arquiteta Maria Lúcia

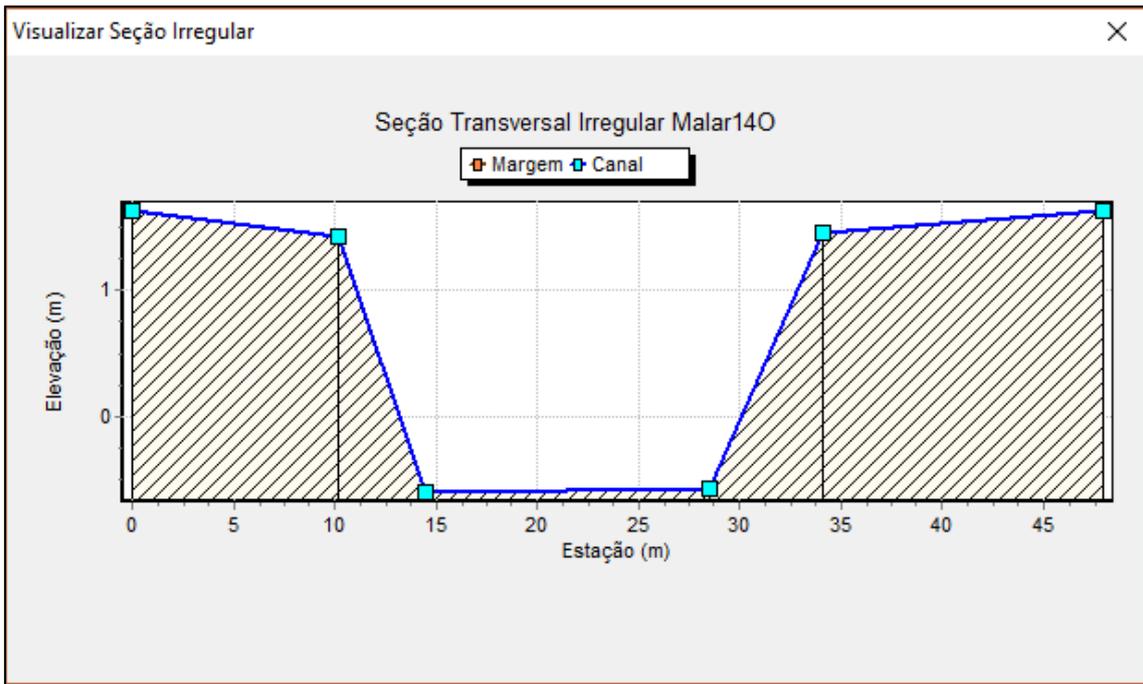




## Riacho da Malária

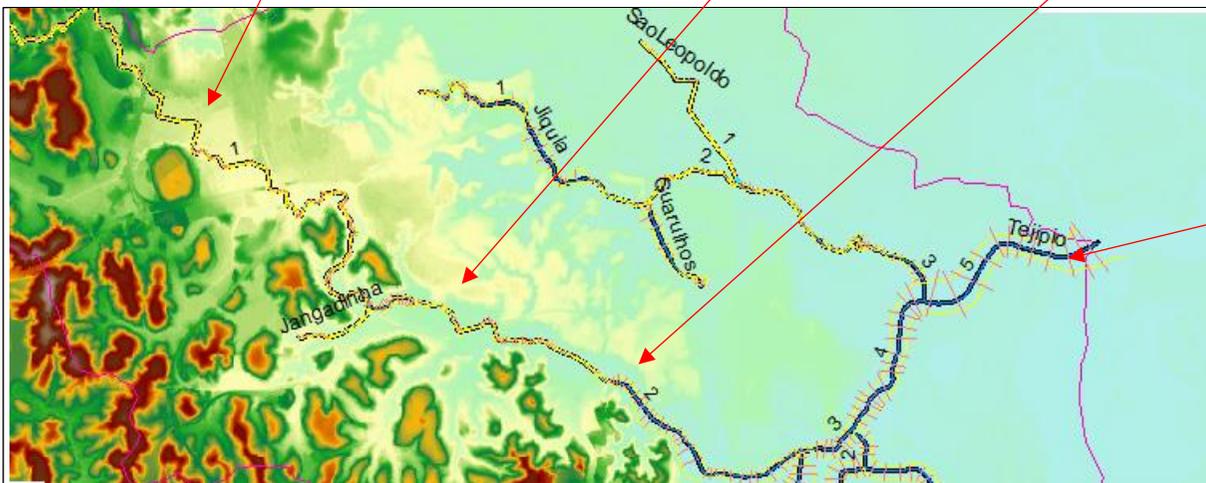




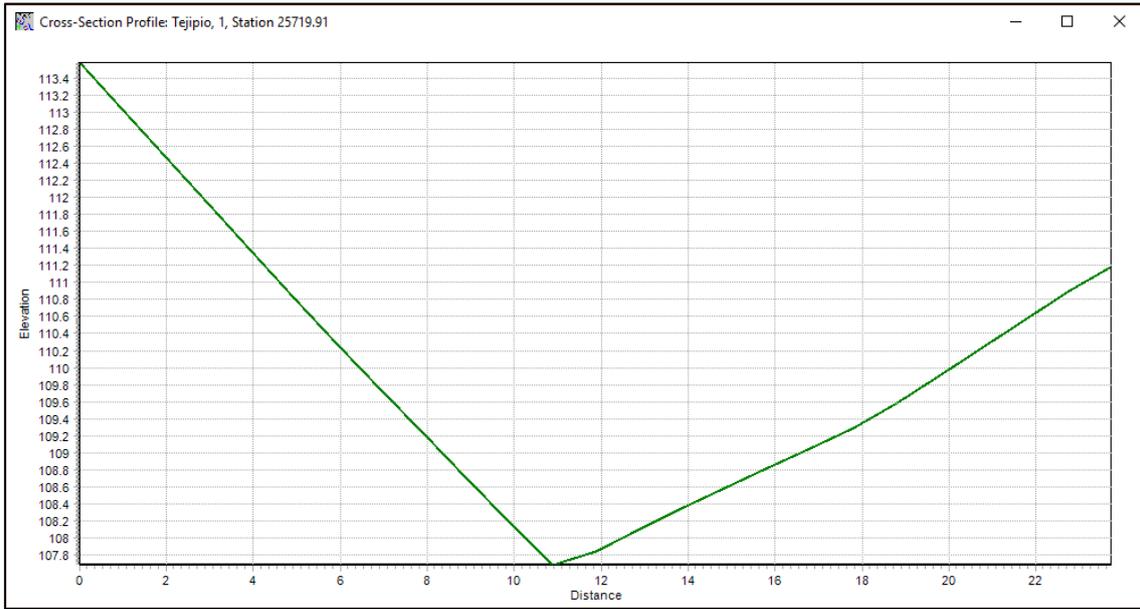


Seções HEC-GeoHAS

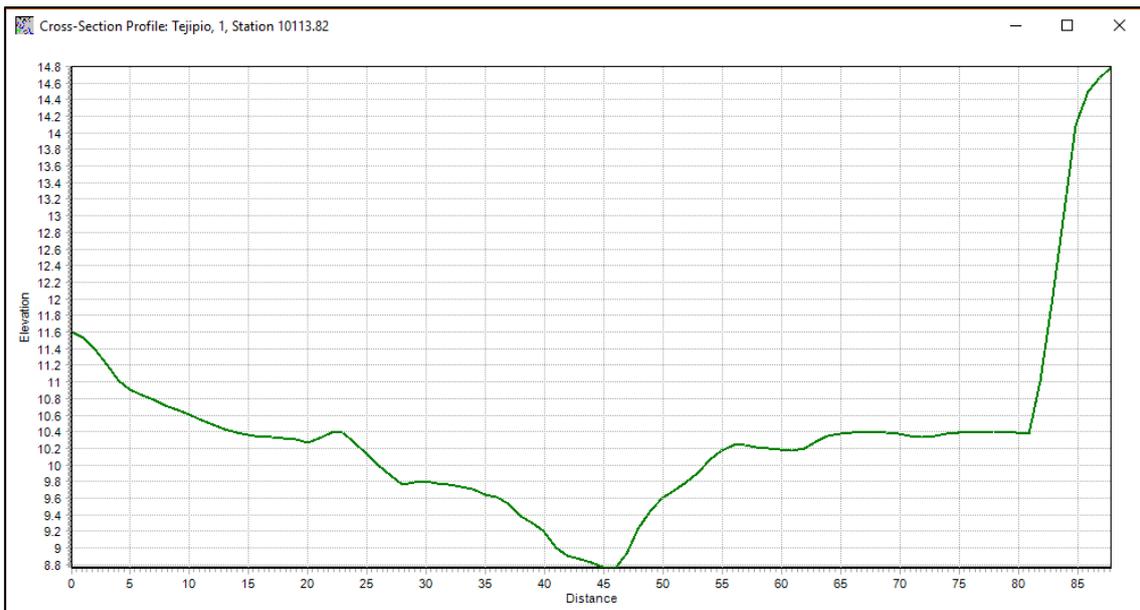
Rio Tejipló



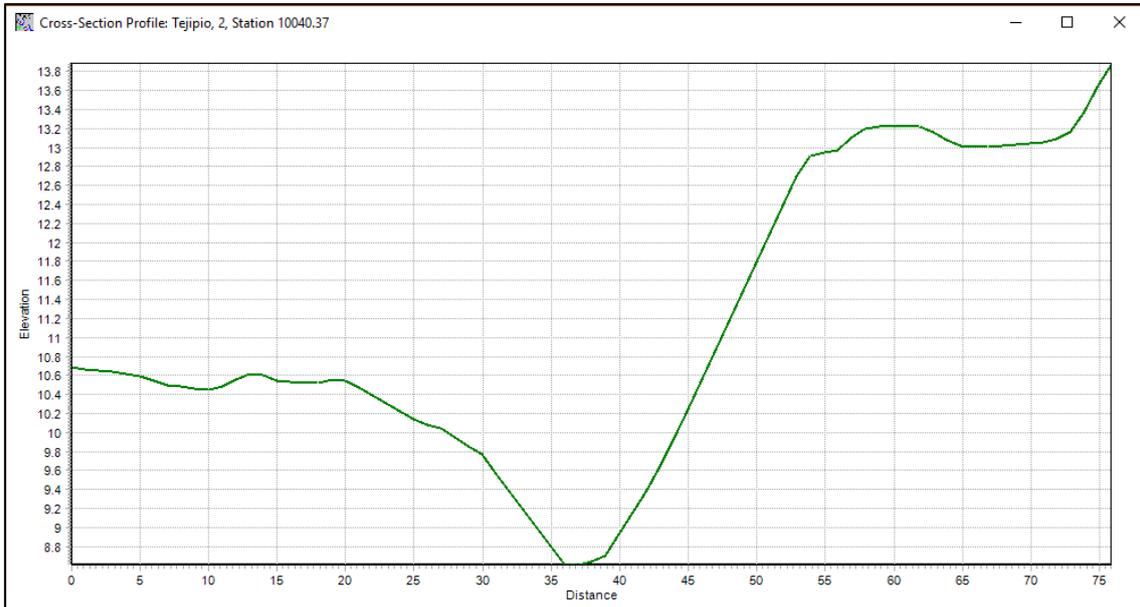
### Nascente



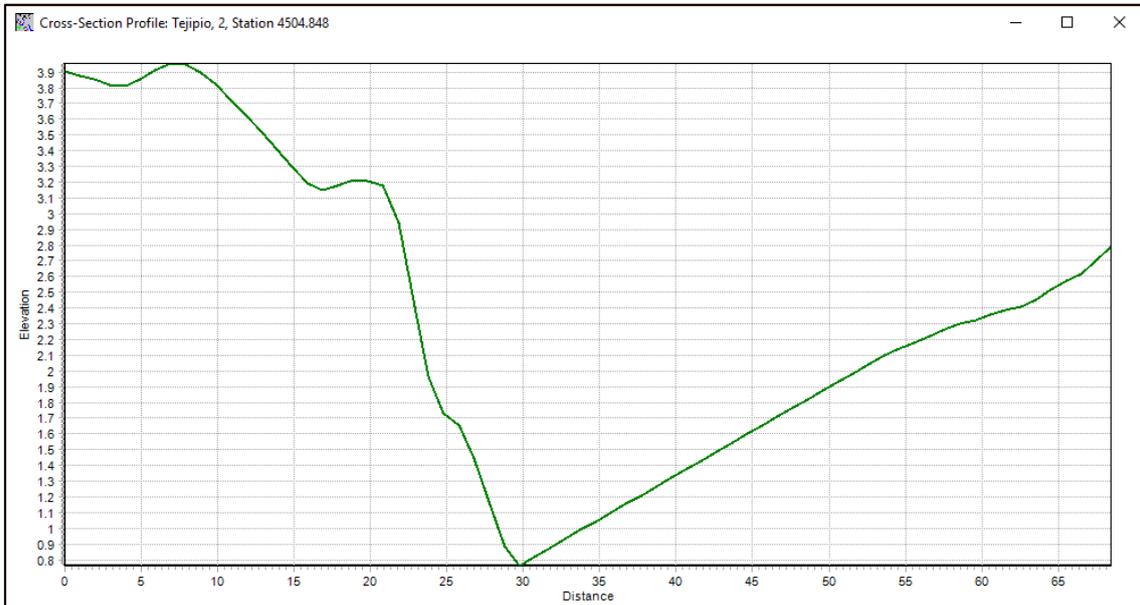
### Antes do Jangadinha



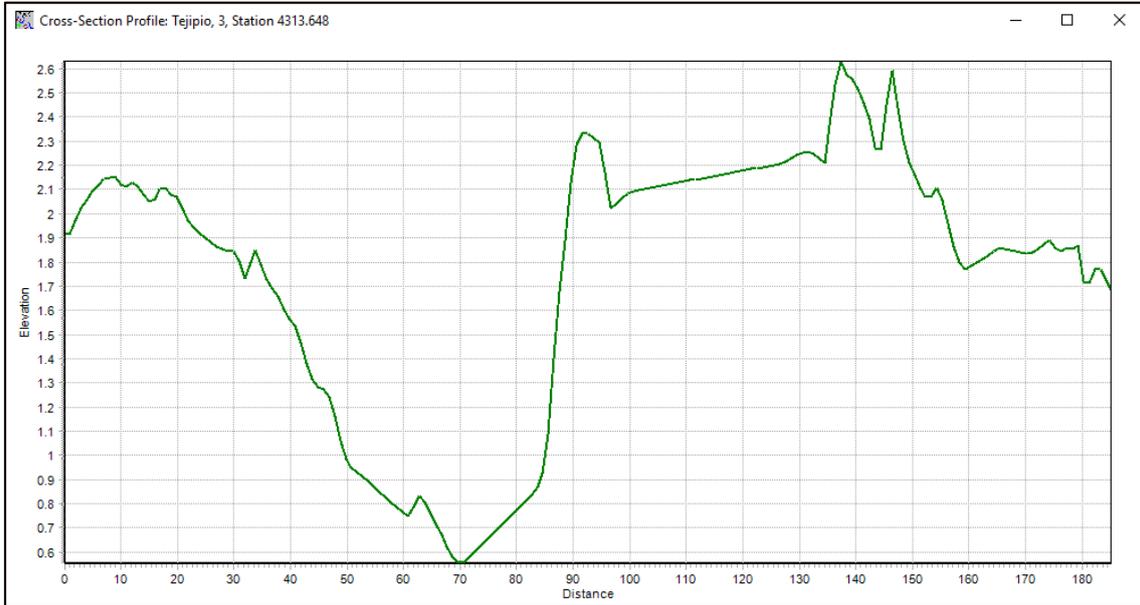
### Depois do Jangadinha



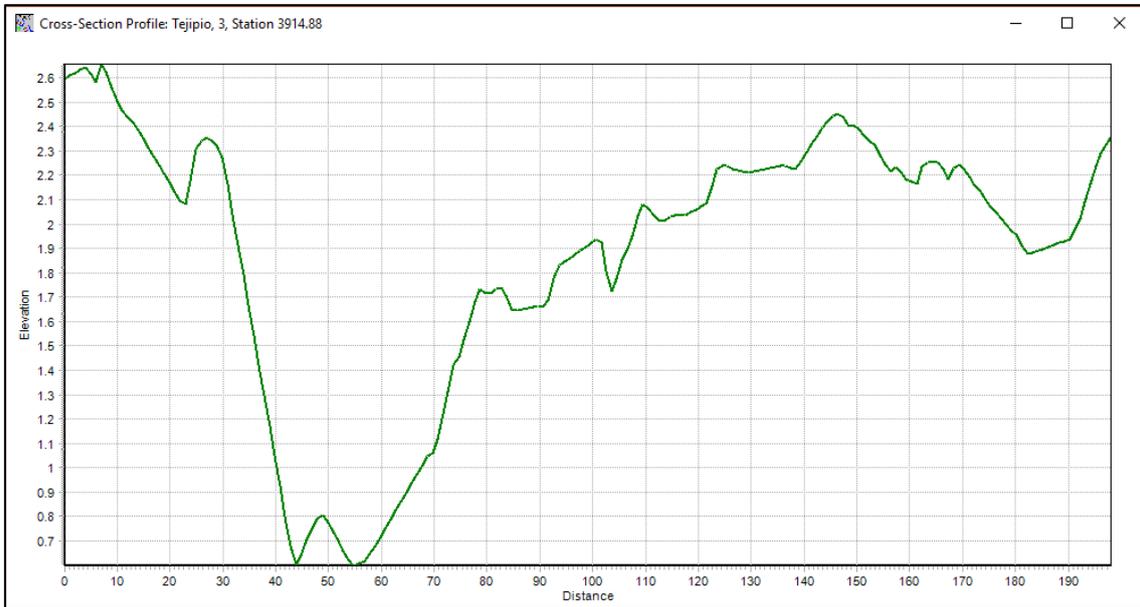
### Antes do Moxotó



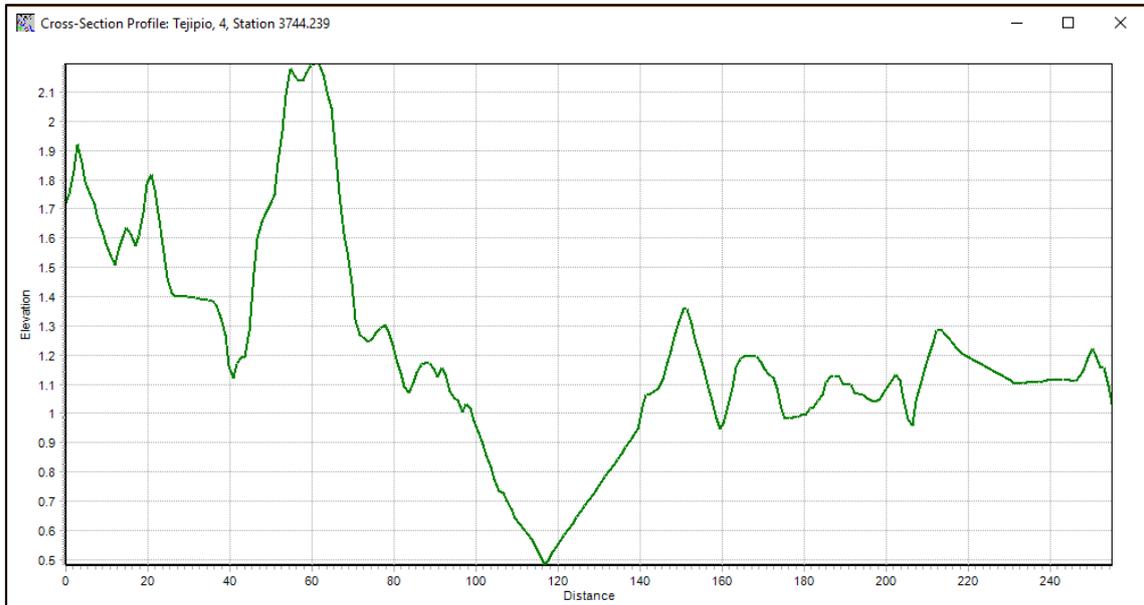
Depois do Moxotó



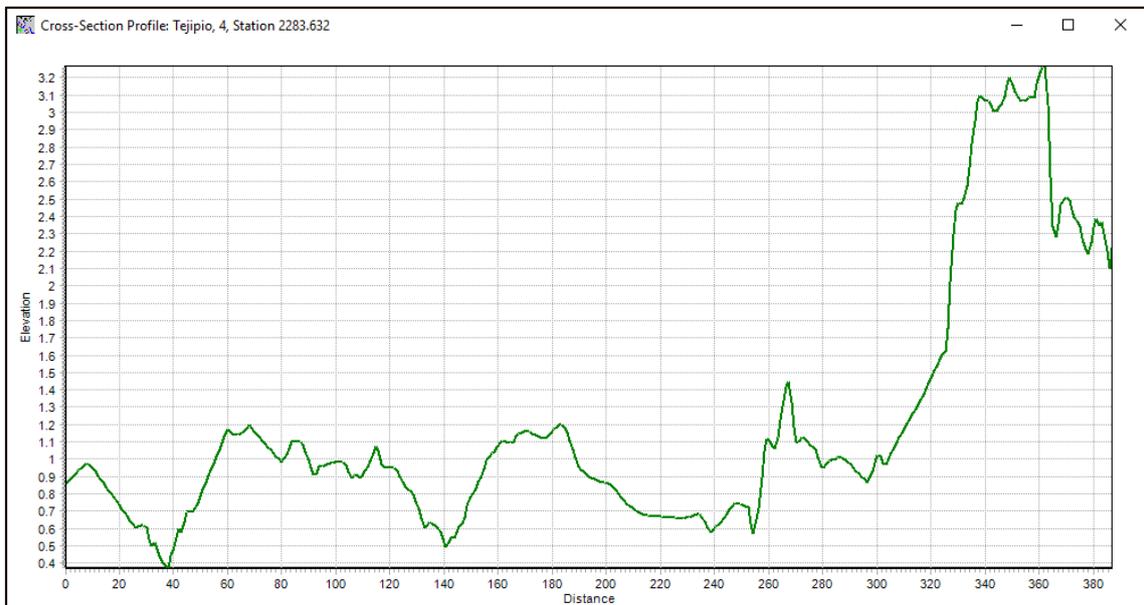
Antes do Malária



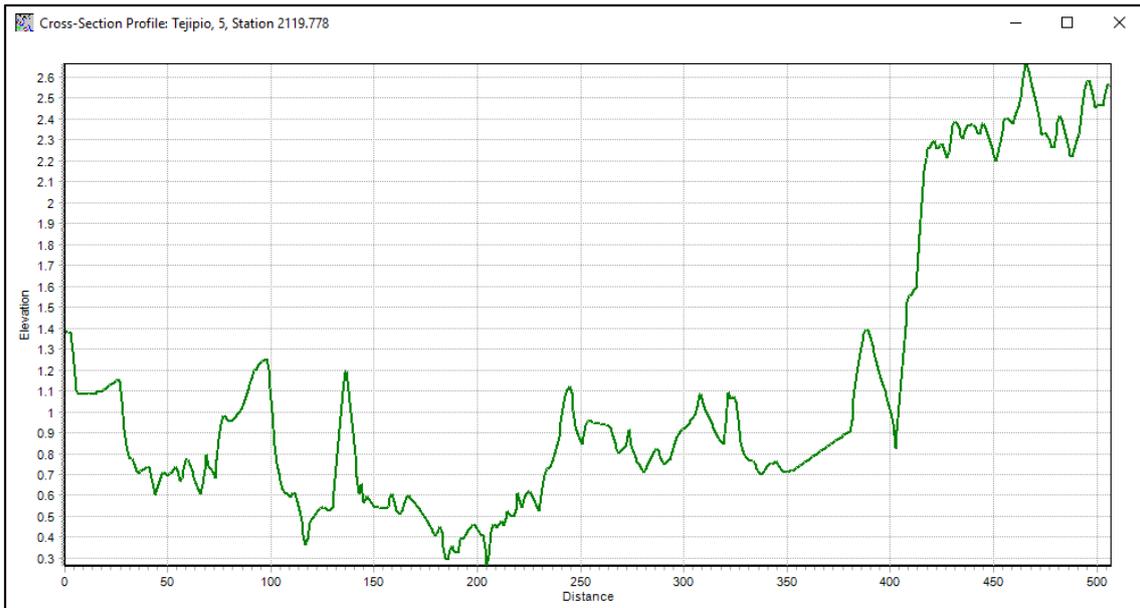
Depois do Malária



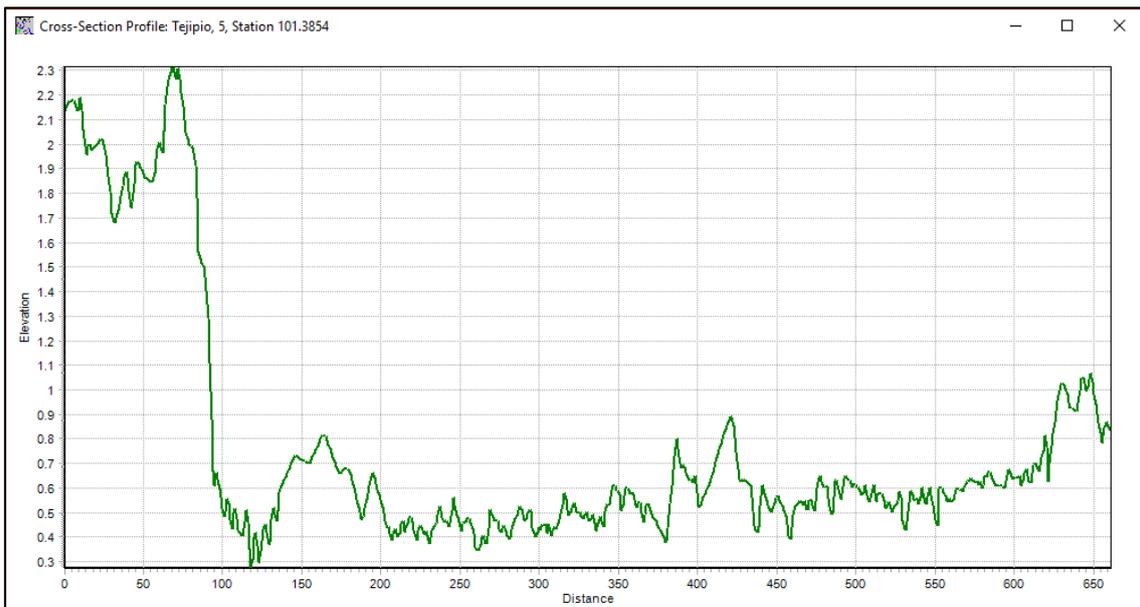
Antes do Jiquiá



### Depois do Jiquiá



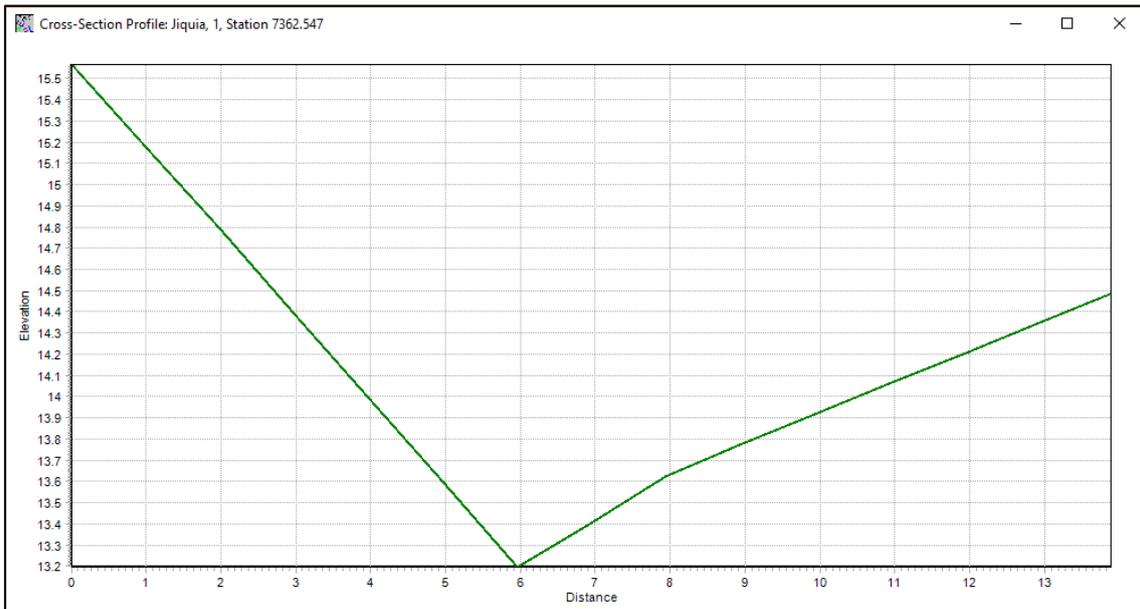
### Foz de Tejipió



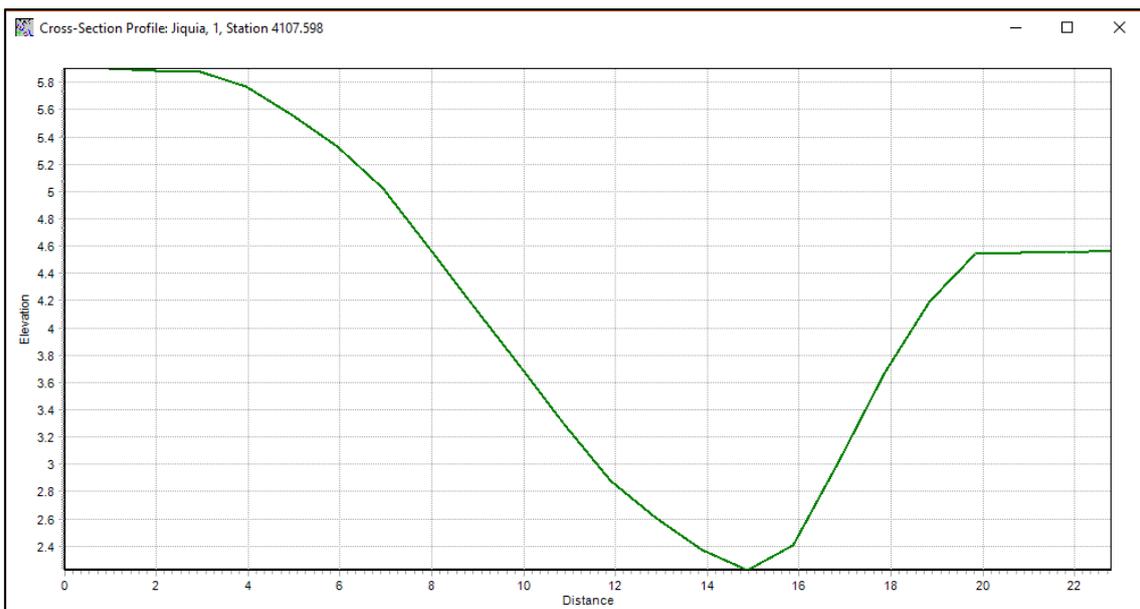
Rio Jiquiá



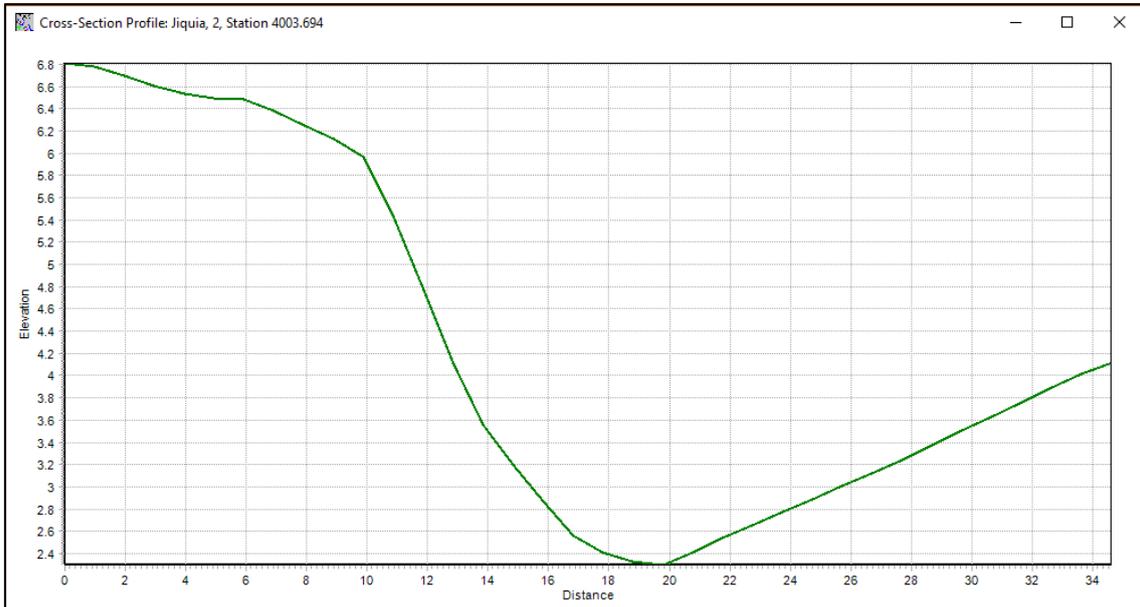
### Nascente



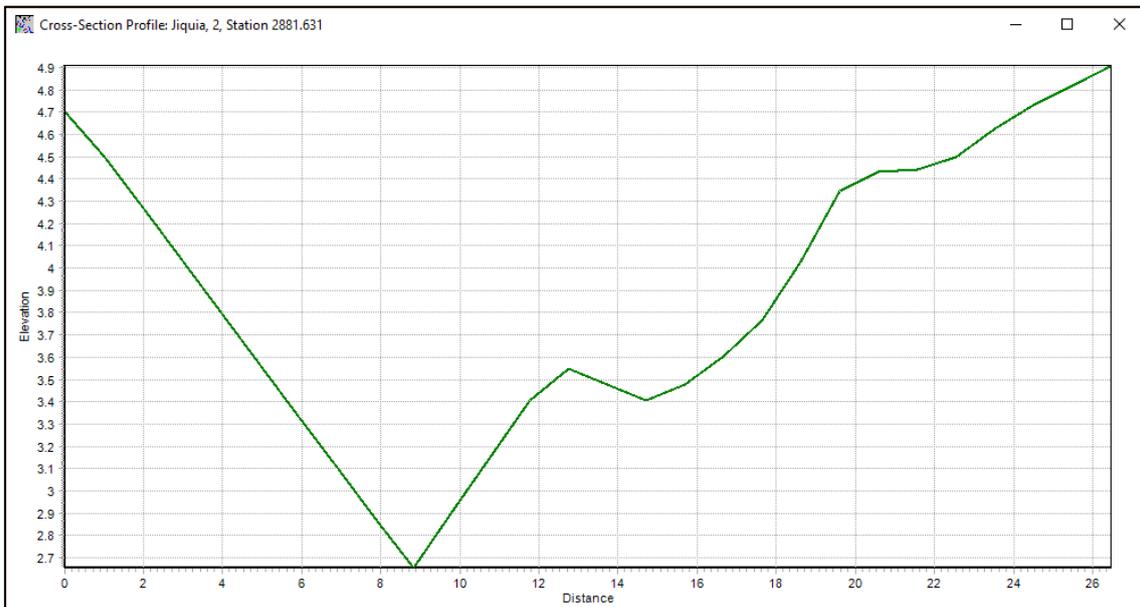
### Antes do Guarulhos



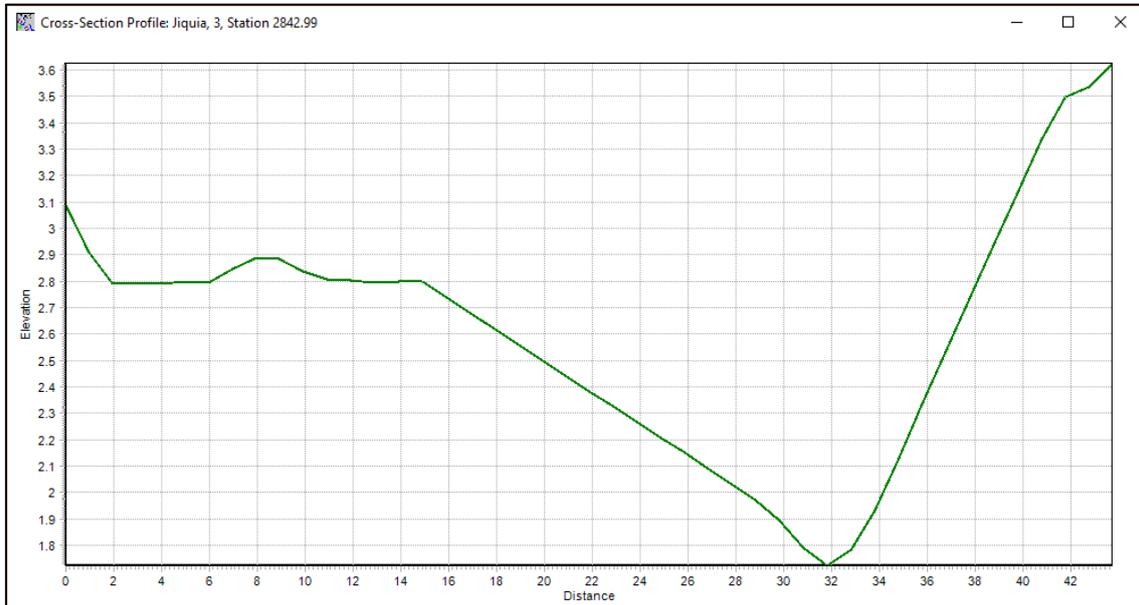
### Depois do Guarulhos



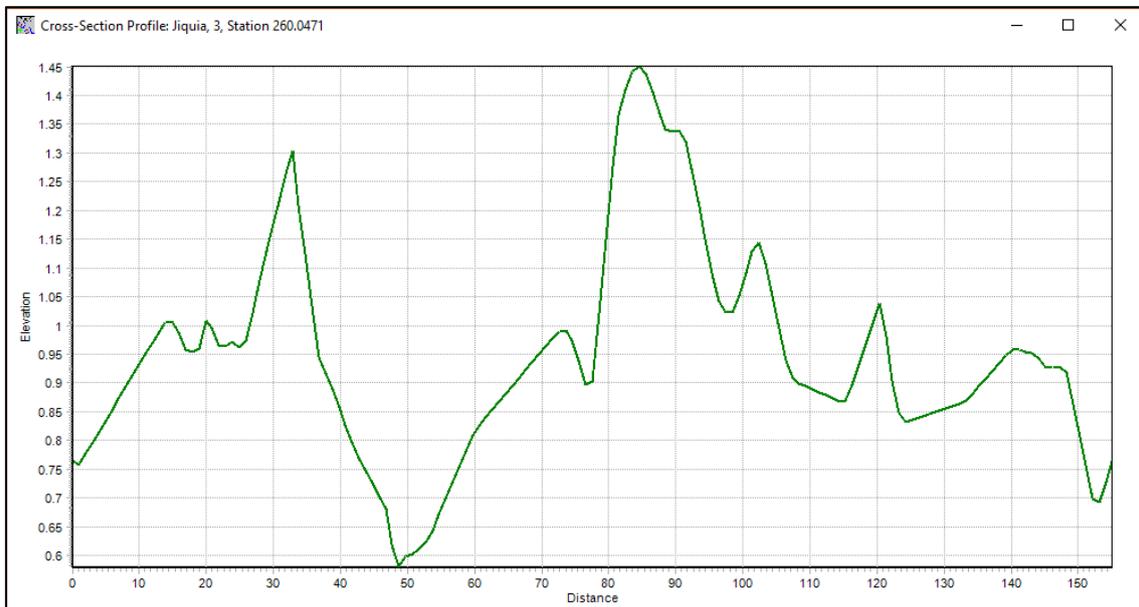
### Antes do São Leopoldo



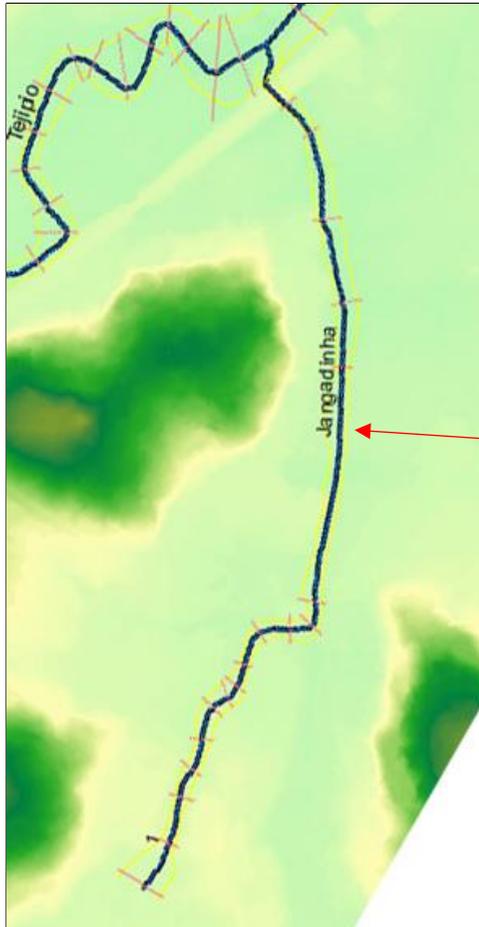
Depois do São Leopoldo



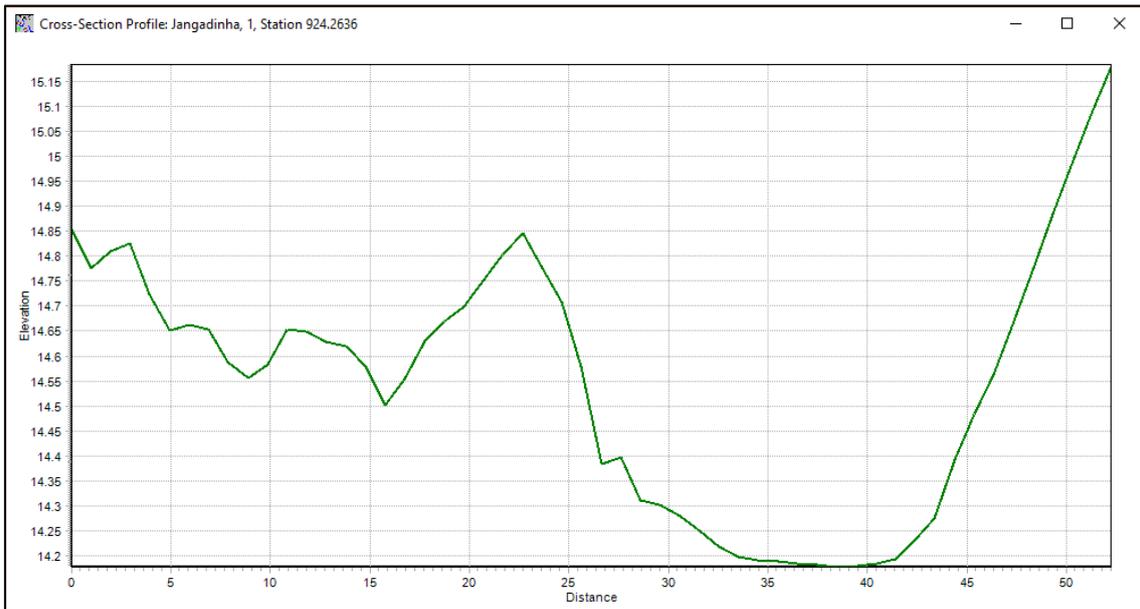
Foz



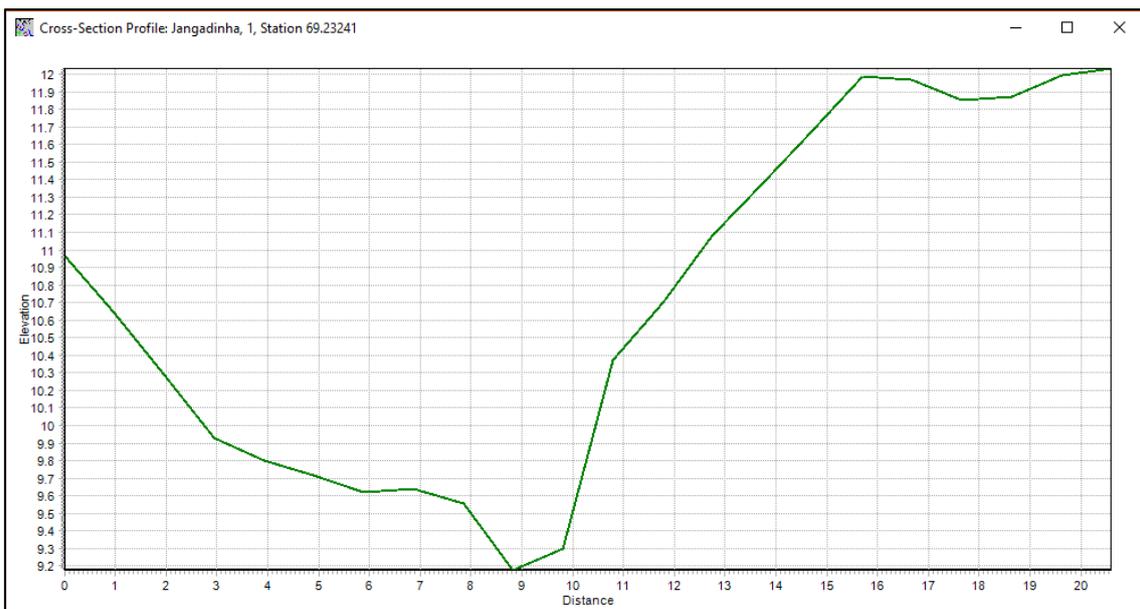
Riacho de Jangadinha



Nascente



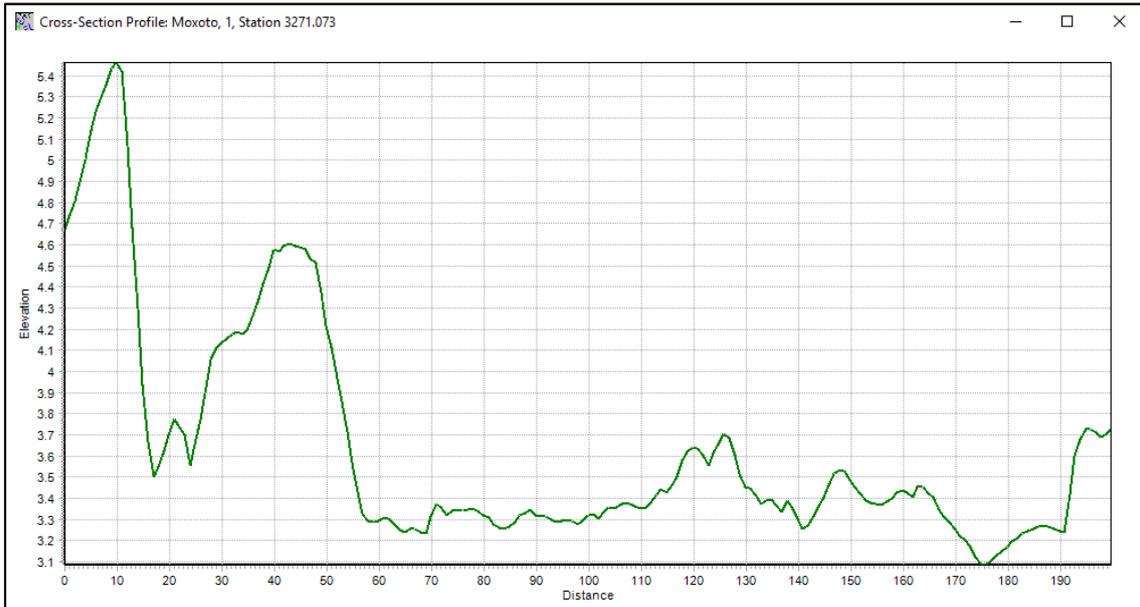
Foz



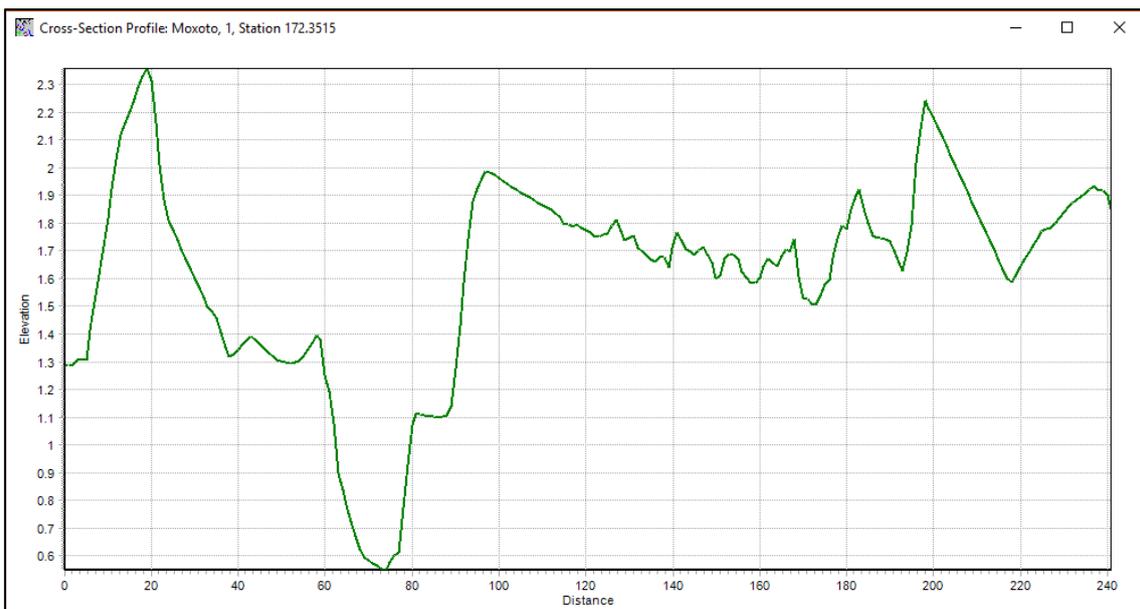
Rio Moxotó



### Nascente



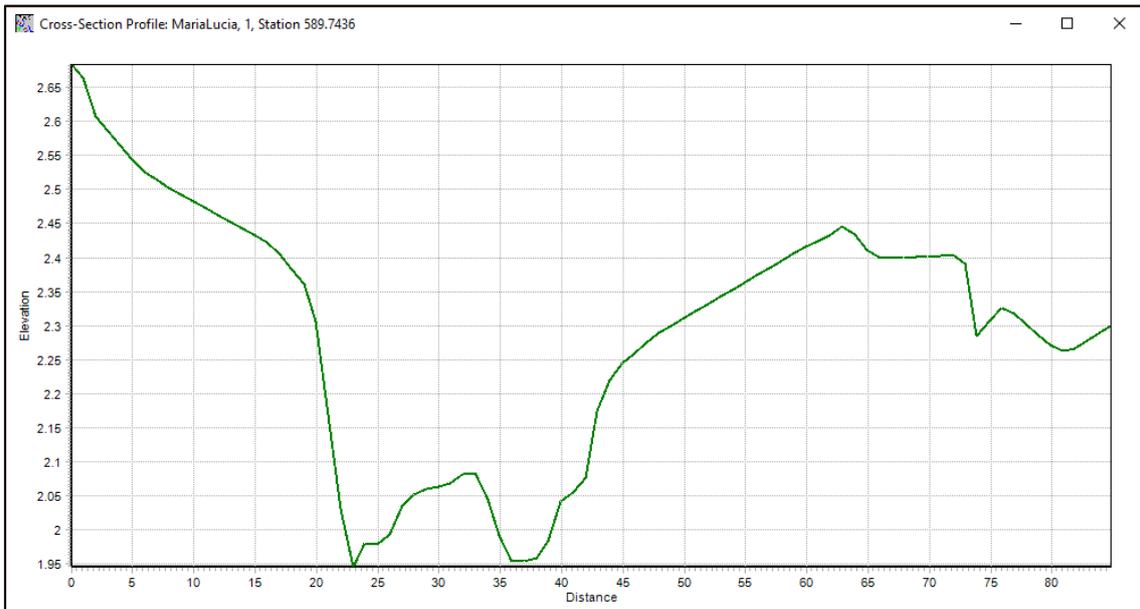
### Foz



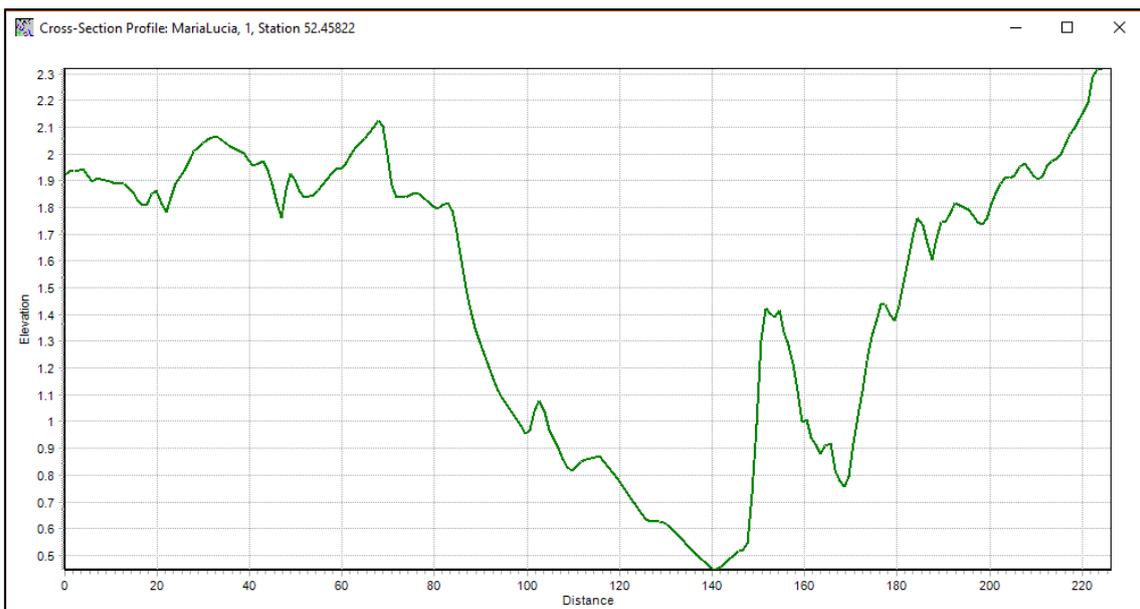
Riacho Arquiteta Maria Lúcia



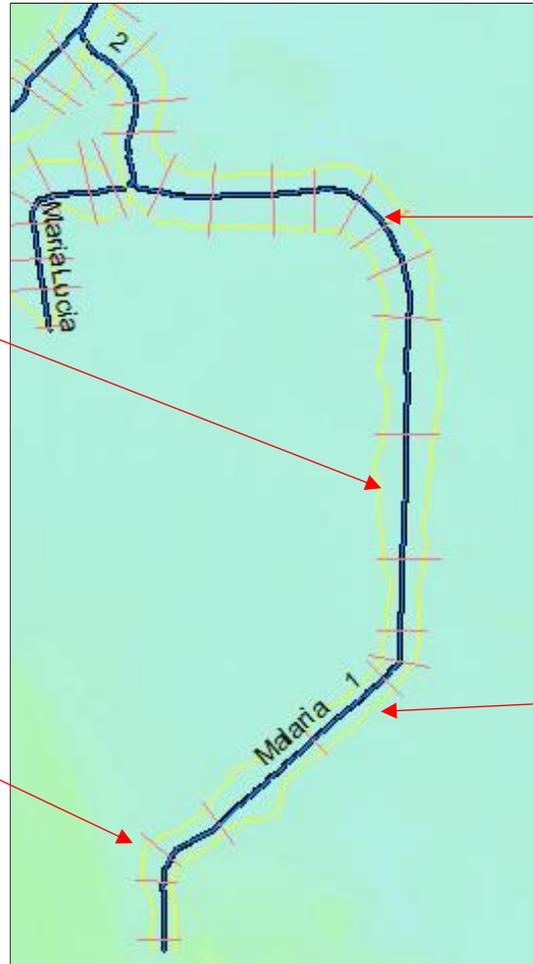
### Nascente



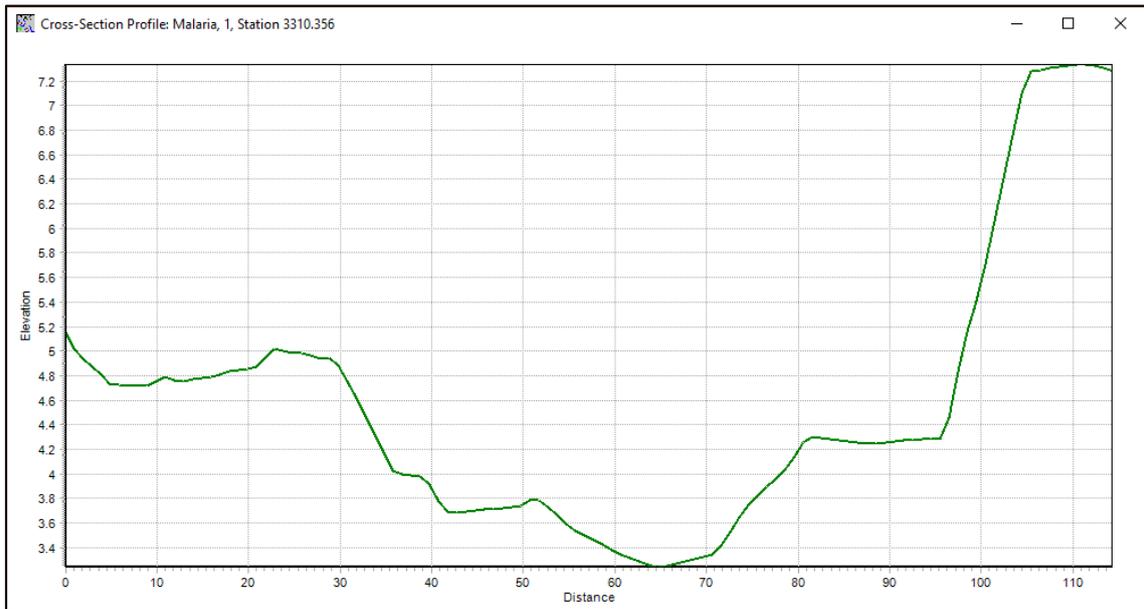
### Foz



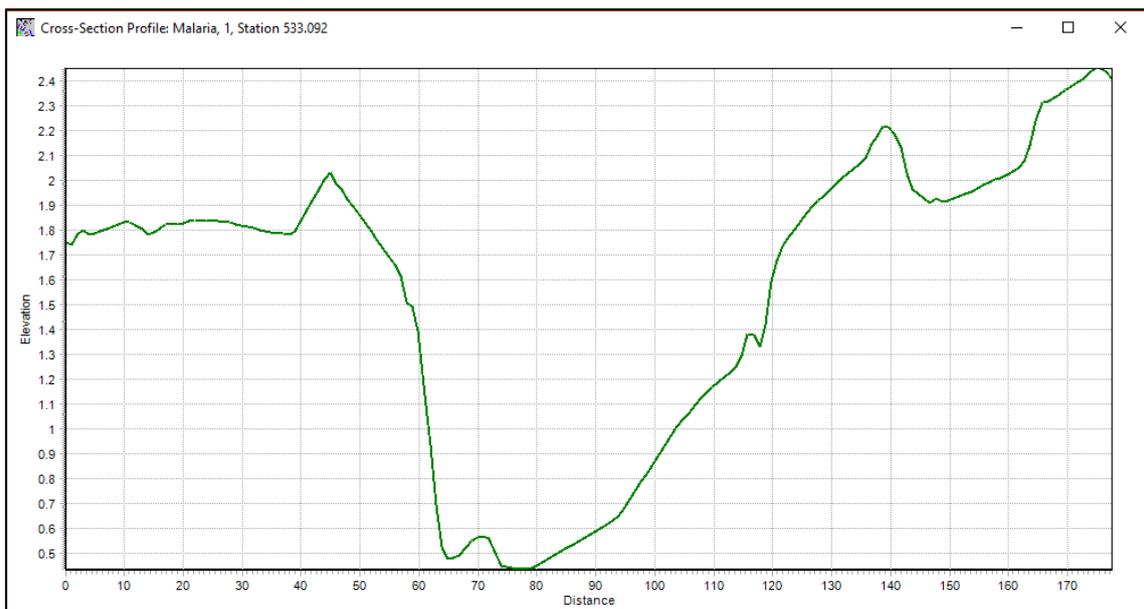
Riacho da Malária



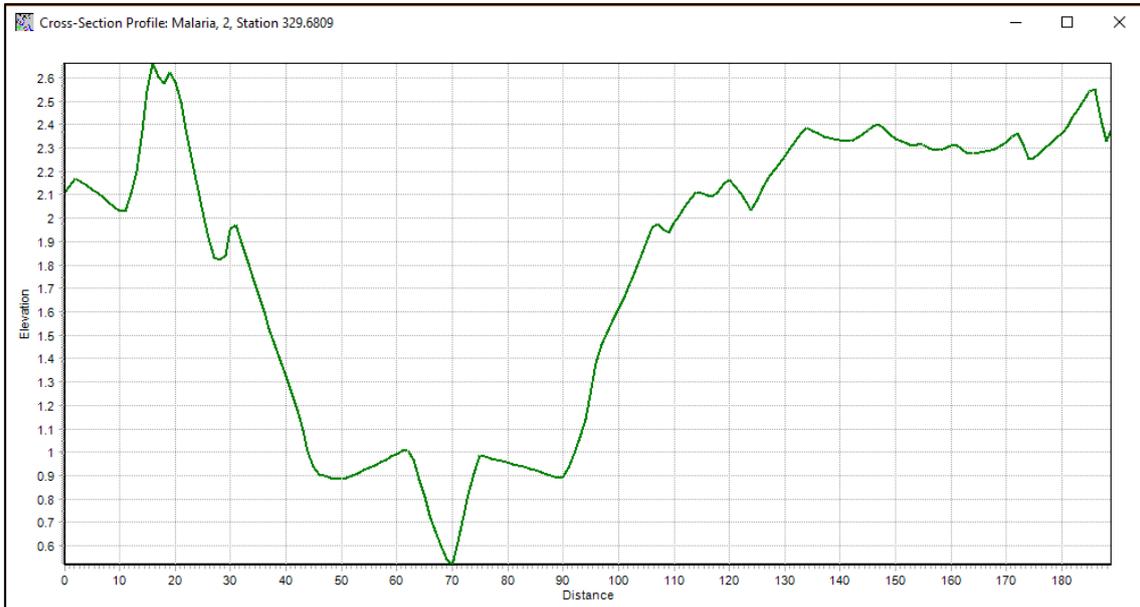
## Nascente



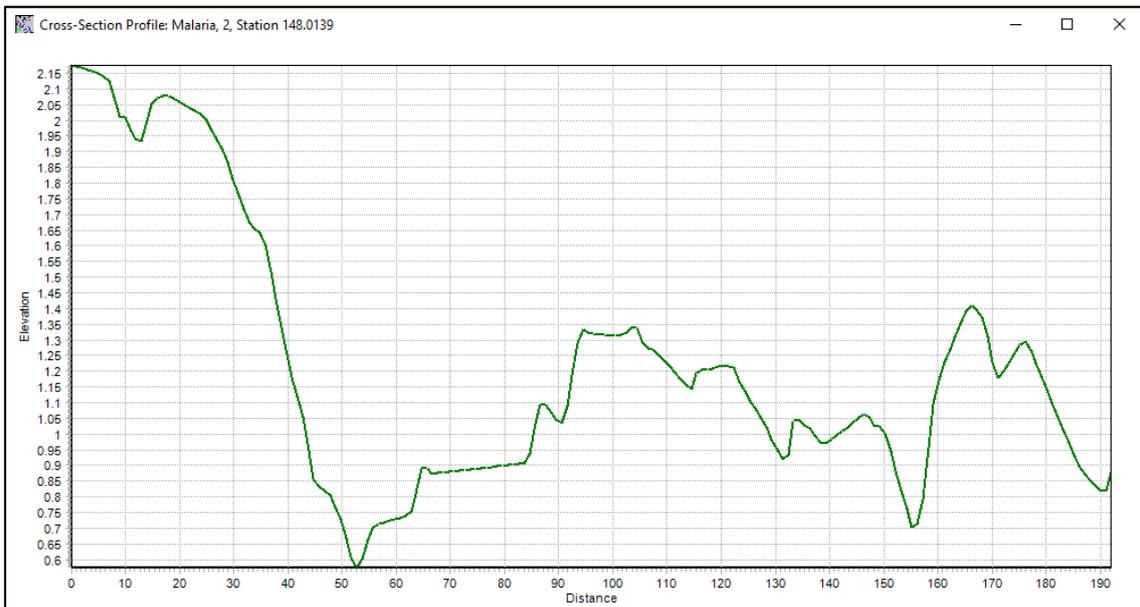
## Antes do riacho arquiteta Maria Lúcia



Depois do riacho arquiteta Maria Lúcia



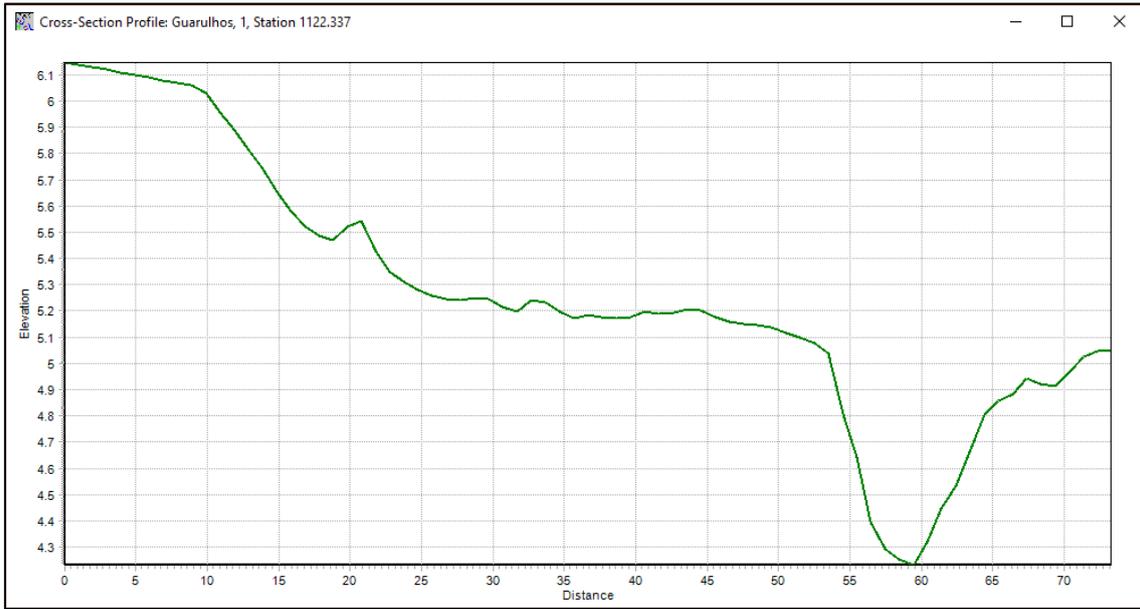
Foz



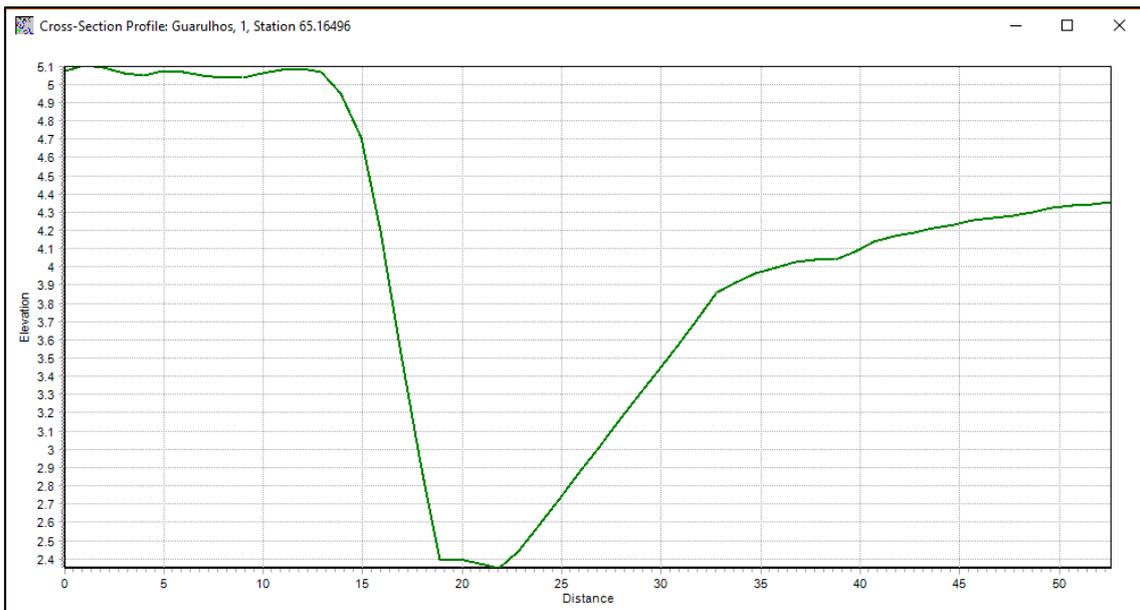
Riacho Guarulhos



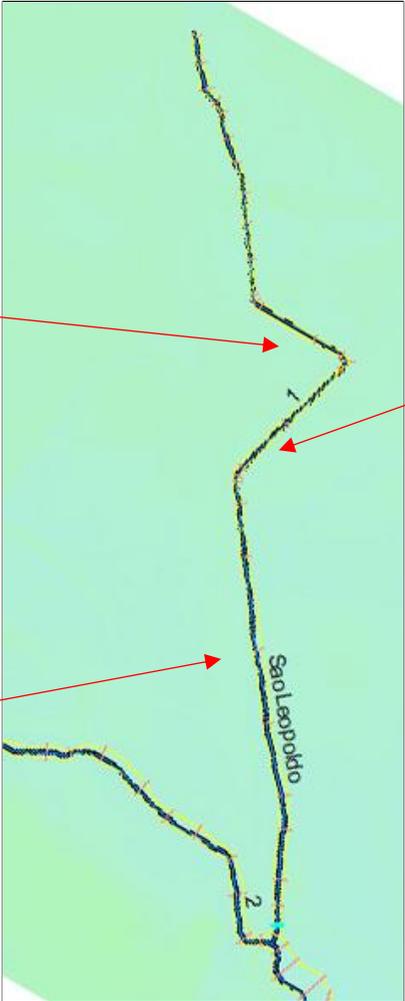
### Nascente



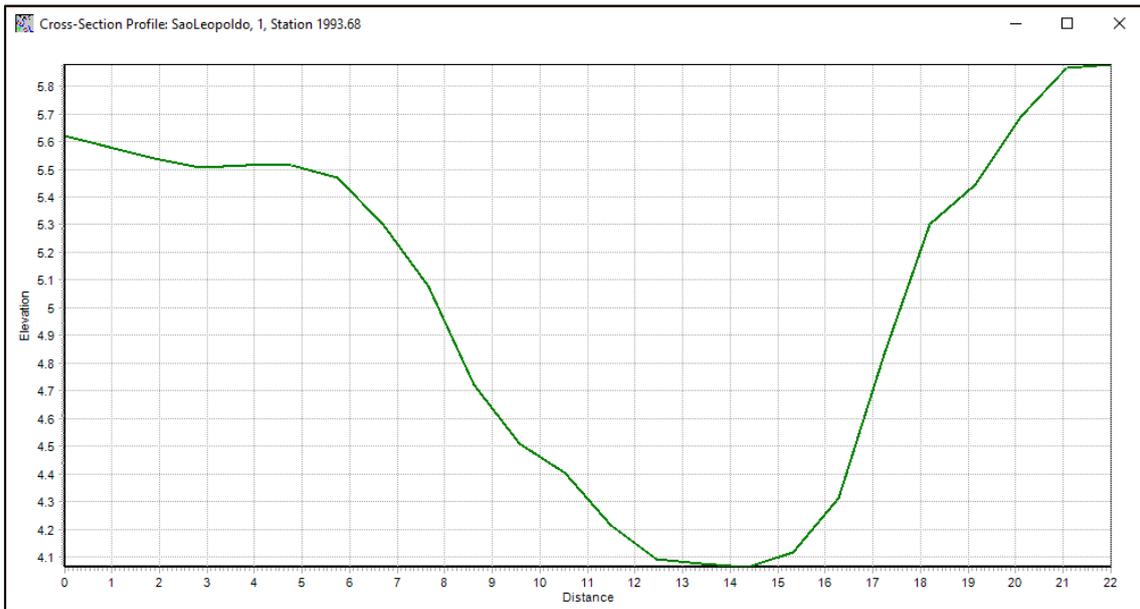
### Foz



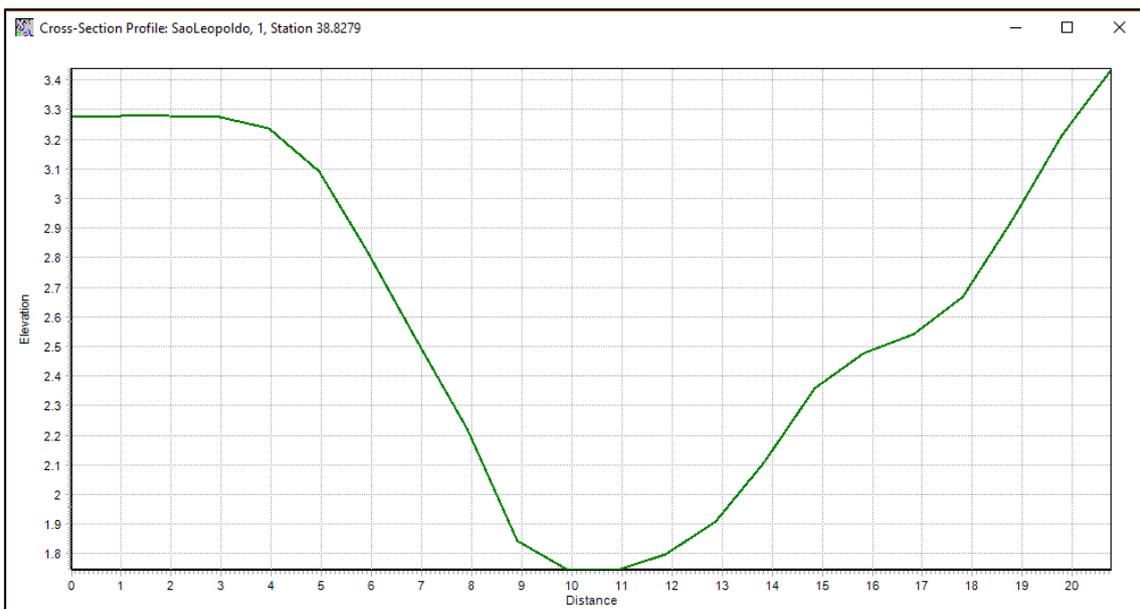
Riacho São Leopoldo



### Nascente

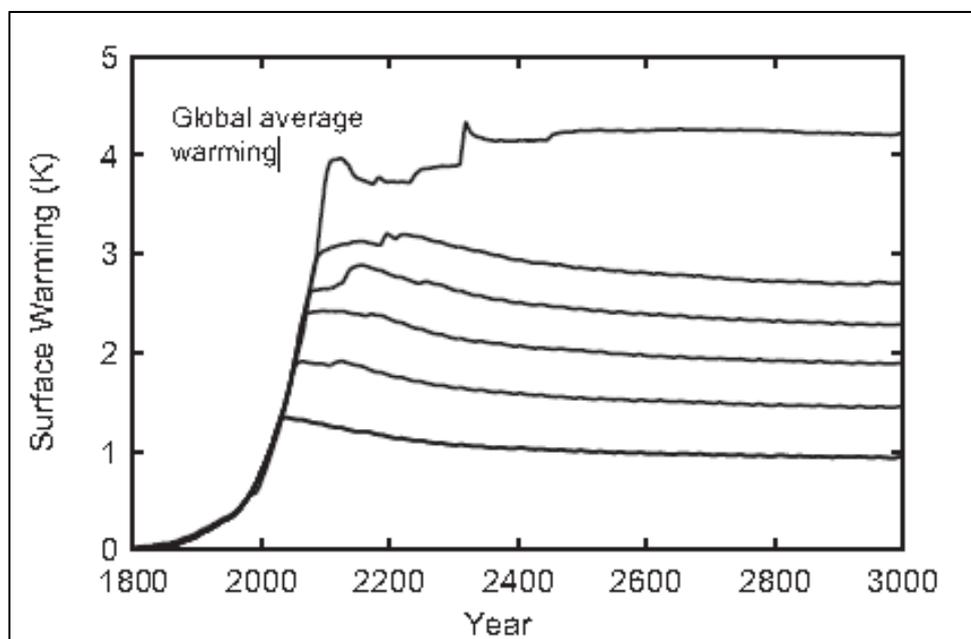


### Foz



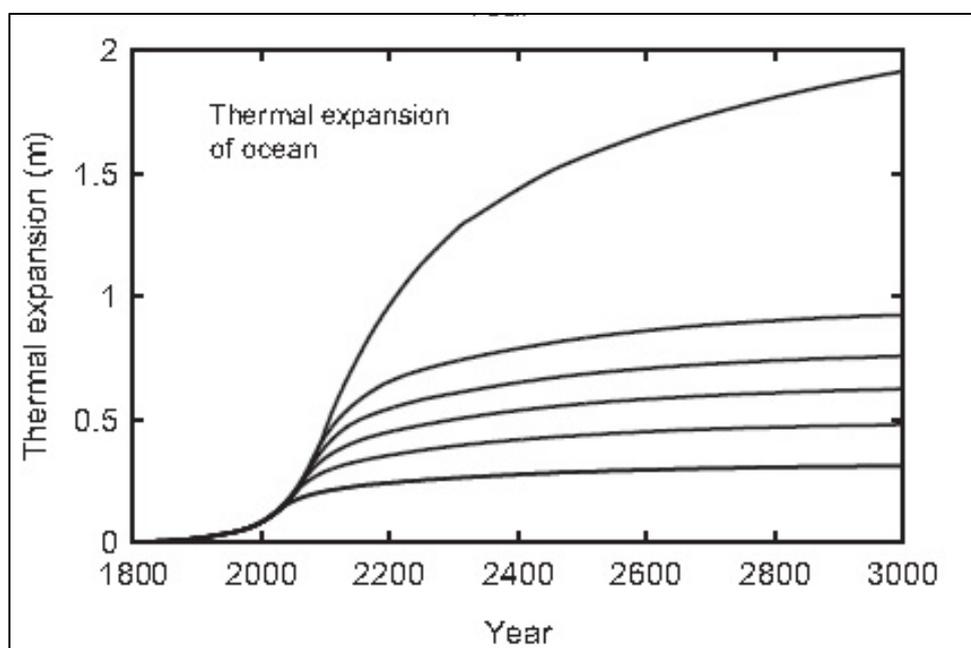
## ANEXO A – GRÁFICOS DE AQUECIMENTO DO PLANETA E DE EXPANSÃO DOS OCEANOS

Figura 71-Variação da temperatura na superfície da terra.



Fonte: Solomon et al (2009).

Figura 72-Variação da expansão dos oceanos.



Fonte: Solomon et al (2009).

## ANEXO B – TABELA CURVA NÚMERO – CN

<i>Tipologia do uso do solo</i>	<i>Grupo hidrológico</i>			
	A	B	C	D
Uso Residencial				
Tamanho médio do lote impermeável %				
Até 500m <sup>2</sup> 65	77	85	90	92
1000m <sup>2</sup> 38	61	75	83	87
1500m <sup>2</sup> 30	57	72	81	86
Estacionamento pavimentados, telhados	98	98	98	98
Ruas e estradas:				
Pavimentadas, com guias e drenagem	98	98	98	98
Com cascalho	76	85	89	91
De terra	72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)	89	92	94	95
Distritos industriais (72% de impermeabilização)	81	88	91	93
Espaços abertos, parques e jardins:				
Boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto				
Plantio em linha reta	77	86	91	94
Cultura em fileira, linha reta, condições ruins	72	81	88	91
Linha reta, boas condições	67	78	85	89
Curva de nível, condições ruins	70	79	84	89
Curva de nível, boas condições	65	75	82	86
Cultura de grãos				
linha reta, condições ruins	65	76	84	88
linha reta, boas condições	63	75	83	87
curva de nível, condições ruins	63	74	82	85
curva de nível, boas condições	61	73	81	84
Pasto				
condições ruins	68	79	86	89
médias condições	49	69	79	84
boas condições	39	61	74	80
Curva de nível				
condições ruins	47	67	81	88
médias condições	25	59	75	83
boas condições	6	35	70	79
Campos boas condições	30	58	71	78
Florestas				
condições ruins	45	66	77	83
médias condições	36	60	73	79
boas condições	25	55	70	77

Fonte: Rossman (2010)

## ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO LEVELLOGGER

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO LEVELLOGGER JÚNIOR	
Sensor de Nível:	Silício Piezorresistivo em aço inoxidável 316L
Ranges	F15/M5 ou F30/M10
Acurácia (Típica):	0,1% FS
Acurácia (Erro máximo):	0,2% FS
Resolução:	0,028%, 0,021%
Normalização:	Compensação automática de Temperatura
Sensor de Temperatura:	Detector de temperatura por Resistência de Platina
Acurácia:	±0,1°C
Resolução	0,1°C
Range de compensação:	-10°C a +40°C
Tempo de resposta:	3 a 5 minutos
Vida de bateria:	5 anos
Acurácia de relógio:	± 1 minuto / ano
Temperatura de operação:	-20°C a 80°C
Memória:	EPROM não volátil com backup em FRAM
Numero máximo de leituras:	32000 de nível e temperatura
Comunicação:	Interface Óptica Infra-Vermelho, Serial a 9.600 Baud, Conexão para PC com conversão para RS232 ou USB
Tamanho:	22mm x 140mm (7/8" x 5.5")
Peso:	154g (5.4 oz)
Outros materiais utilizados:	Aço inoxidável 316L, Delrin, Viton
Modos de amostragem:	Linear, SDI-12, Visualização em tempo Real
Taxas de amostragem:	0,5 segundos a 99 horas
Compensação barométrica:	Realizada por software

## ANEXO D – TÁBUA DE MARÉS RECIFE 2018

78

LatITUDE 08° 03' 4 S		PORTO DO RECIFE (ESTADO DE PERNAMBUCO) - 2018				FUSO +03.0 horas	
DHN		15 Componentes		Nível Médio 1.28 m		Carta 902	
Maio		Junho		Julho		Agosto	
HORA ALT (m)							
01 TER 0432 2.4 1040 0.2 1854 2.3 2304 0.3	17 QUI 0502 2.5 1117 0.1 1734 2.4 2341 0.3	01 SEX 0821 2.2 1139 0.4 1747 2.1 2351 0.5	17 DOM 0823 0.4 0832 2.4 1300 0.2 1909 2.2	01 DOM 0630 2.2 1156 0.4 1804 2.1	17 TER 0058 0.4 0708 2.4 1338 0.3 1943 2.1	01 QUA 0015 0.5 0630 2.2 1243 0.5 1858 2.0	17 SEX 0213 0.8 0824 2.0 1451 0.7 2054 1.9
02 QUA 0508 2.3 1123 0.3 1730 2.2 2338 0.4	18 SEX 0551 2.4 1208 0.2 1824 2.3	02 SAB 0800 2.1 1217 0.5 1828 2.0	18 SEG 0119 0.5 0730 2.3 1400 0.4 2009 2.0	02 SEG 0008 0.5 0617 2.1 1238 0.5 1847 2.0	18 QUA 0154 0.5 0804 2.2 1438 0.5 2039 2.0	02 QUI 0054 0.8 0709 2.1 1325 0.5 1939 1.9	18 SAB 0317 0.7 0828 1.9 1558 0.8 2158 1.8
03 QUI 0545 2.2 1200 0.4 1808 2.1	19 SAB 0034 0.4 0643 2.3 1308 0.3 1923 2.1	03 DOM 0030 0.8 0643 2.0 1300 0.8 1911 1.9	19 TER 0223 0.8 0832 2.1 1508 0.5 2115 1.9	03 TER 0047 0.8 0700 2.0 1315 0.8 1930 1.9	19 QUI 0254 0.8 0904 2.1 1539 0.8 2141 1.9	03 SEX 0138 0.8 0758 2.0 1409 0.8 2028 1.9	19 DOM 0434 0.8 1041 1.7 1711 0.9 2309 1.7
04 SEX 0013 0.8 0823 2.1 1241 0.5 1853 1.9	20 DOM 0132 0.8 0743 2.1 1413 0.5 2028 2.0	04 SEG 0113 0.7 0728 1.9 1349 0.7 2002 1.8	20 QUA 0332 0.7 0841 2.0 1519 0.8 2223 1.9	04 QUA 0128 0.7 0745 2.0 1402 0.8 2017 1.8	20 SEX 0402 0.7 1009 1.9 1647 0.7 2247 1.8	04 SAB 0228 0.7 0854 1.9 1509 0.7 2128 1.8	20 SEG 0553 0.8 1154 1.7 1821 0.9
05 SAB 0054 0.7 0706 2.0 1326 0.7 1939 1.8	21 SEG 0241 0.7 0853 2.0 1532 0.5 2145 1.9	05 TER 0204 0.8 0819 1.9 1445 0.8 2100 1.7	21 QUI 0445 0.7 1051 2.0 1728 0.8 2328 1.9	05 QUI 0215 0.8 0836 1.9 1454 0.7 2111 1.8	21 SAB 0513 0.7 1119 1.9 1753 0.7 2351 1.8	05 DOM 0338 0.7 1002 1.9 1623 0.7 2239 1.8	21 TER 0017 1.8 0656 0.7 1298 1.8 1913 0.8
06 DOM 0141 0.8 0758 1.8 1423 0.8 2038 1.7	22 TER 0400 0.7 1008 2.0 1653 0.8 2300 1.9	06 QUA 0308 0.9 0919 1.8 1551 0.8 2204 1.7	22 SEX 0551 0.7 1154 2.0 1828 0.8	06 SEX 0313 0.8 0926 1.9 1558 0.7 2213 1.8	22 DOM 0819 0.7 1223 1.9 1851 0.7	06 SEG 0458 0.7 1117 1.9 1741 0.7 2351 1.9	22 QUA 0111 1.9 0745 0.7 1343 1.9 1958 0.7
07 SEG 0243 0.9 0900 1.7 1538 0.9 2151 1.8	23 QUA 0517 0.7 1121 2.0 1800 0.5	07 QUI 0415 0.9 1023 1.8 1658 0.7 2308 1.8	23 SAB 0024 1.9 0632 0.4 1251 2.0 1915 0.8	07 SAB 0423 0.8 1041 1.9 1704 0.7 2315 1.9	23 SEG 0047 1.9 0715 0.8 1315 1.9 1938 0.7	07 TER 0613 0.8 1228 2.0 1849 0.8	23 QUI 0158 2.0 0821 0.8 1419 2.0 2034 0.8
08 TER 0408 1.0 1011 1.7 1654 0.8 2300 1.7	24 QUI 0004 1.9 0621 0.8 1224 2.1 1858 0.5	08 SEX 0821 0.8 1124 1.9 1754 0.7	24 DOM 0111 2.0 0738 0.5 1338 2.0 1958 0.8	08 DOM 0532 0.7 1147 2.0 1808 0.8	24 TER 0132 2.0 0800 0.8 1400 1.9 2015 0.8	08 QUA 0054 2.1 0719 0.4 1332 2.1 1949 0.5	24 SEX 0232 2.1 0858 0.4 1454 2.1 2108 0.5
09 QUA 0523 0.9 1119 1.8 1758 0.8	25 SEX 0058 2.0 0713 0.5 1315 2.1 1943 0.4	09 SAB 0002 1.9 0817 0.7 1221 2.0 1847 0.5	25 SEG 0156 2.1 0817 0.5 1417 2.1 2038 0.5	09 SEG 0017 2.0 0838 0.8 1247 2.1 1908 0.5	25 QUA 0213 2.0 0841 0.5 1439 2.0 2053 0.5	09 QUI 0153 2.3 0815 0.2 1424 2.3 2039 0.3	25 SAB 0308 2.2 0928 0.4 1528 2.2 2139 0.4
10 QUI 0002 1.8 0819 0.8 1215 1.9 1847 0.8	26 SAB 0143 2.1 0758 0.4 1400 2.2 2021 0.4	10 DOM 0654 2.0 0708 0.5 1313 2.2 1938 0.4	26 TER 0234 2.1 0856 0.4 1458 2.1 2108 0.5	10 TER 0111 2.1 0734 0.4 1345 2.2 2000 0.4	26 QUI 0253 2.1 0915 0.4 1513 2.1 2124 0.5	10 SEX 0245 2.4 0908 0.1 1515 2.4 2128 0.2	26 DOM 0341 2.3 1000 0.3 1602 2.2 2209 0.3
11 SEX 0051 1.9 1304 2.0 1928 0.5	27 DOM 0219 2.2 0838 0.4 1441 2.2 2058 0.4	11 SEG 0141 2.2 0756 0.4 1404 2.3 2021 0.3	27 QUA 0308 2.2 0932 0.4 1534 2.1 2143 0.4	11 QUA 0208 2.3 0828 0.2 1438 2.3 2051 0.3	27 SEX 0328 2.2 0951 0.4 1551 2.1 2200 0.4	11 SAB 0334 2.8 0958 0.0 1604 2.5 2213 0.1	27 SEG 0413 2.3 1032 0.2 1638 2.3 2243 0.3
12 SAB 0134 2.1 0747 0.5 1349 2.2 2008 0.3	28 SEG 0258 2.2 0913 0.3 1517 2.3 2130 0.4	12 TER 0228 2.3 0843 0.2 1454 2.4 2108 0.2	28 QUI 0347 2.2 1006 0.3 1608 2.1 2217 0.4	12 QUI 0258 2.4 0917 0.1 1528 2.4 2141 0.2	28 SAB 0402 2.3 1023 0.3 1624 2.2 2234 0.4	12 DOM 0419 2.8 1045 0.0 1651 2.5 2258 0.1	28 TER 0451 2.4 1102 0.2 1709 2.3 2313 0.3
13 DOM 0213 2.2 0824 0.3 1432 2.3 2049 0.2	29 TER 0332 2.3 0951 0.3 1554 2.2 2204 0.4	13 QUA 0311 2.4 0930 0.1 1543 2.5 2154 0.2	29 SEX 0423 2.3 1043 0.4 1647 2.1 2254 0.4	13 SEX 0347 2.5 1008 0.0 1617 2.5 2228 0.2	29 DOM 0439 2.3 1058 0.3 1702 2.2 2308 0.4	13 SEG 0508 2.8 1130 0.0 1738 2.4 2345 0.1	29 QUA 0524 2.3 1138 0.3 1747 2.2 2349 0.4
14 SEG 0254 2.4 0908 0.2 1513 2.5 2128 0.2	30 QUA 0408 2.3 1024 0.3 1630 2.2 2239 0.4	14 QUI 0400 2.5 1019 0.0 1630 2.5 2241 0.2	30 SAB 0500 2.2 1119 0.4 1724 2.1 2330 0.5	14 SAB 0438 2.8 1058 0.0 1708 2.4 2317 0.2	30 SEG 0515 2.3 1132 0.3 1739 2.2 2341 0.4	14 TER 0554 2.5 1215 0.1 1821 2.3	30 QUI 0800 2.3 1211 0.4 1823 2.1
15 TER 0038 2.4 0949 0.1 1558 2.5 2209 0.1	31 QUI 0445 2.3 1102 0.3 1708 2.2 2311 0.4	15 SEX 0481 2.5 1109 0.1 1721 2.4 2330 0.3		15 DOM 0524 2.8 1151 0.0 1758 2.4	31 TER 0553 2.2 1208 0.4 1815 2.1	15 QUA 0030 0.3 0643 2.4 1304 0.3 1908 2.2	31 SEX 0024 0.4 0643 2.2 1251 0.5 1904 2.0
16 QUA 0417 2.5 1032 0.1 1645 2.5 2254 0.2		16 SAB 0539 2.5 1202 0.1 1813 2.3		16 SEG 0008 0.2 0615 2.5 1243 0.2 1851 2.3		16 QUI 0119 0.4 0732 2.2 1354 0.5 1958 2.0	

DG-6-55

Original

## ANEXO E – PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS

MÊS	PRECIPITAÇÕES MENSAIS (mm)														
	MÉDIAS	ANO													
	1961 a 1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
jan	102.80	60.00	156.50	49.60	143.40	29.80	159.40	30.60	67.40	44.70	276.40	58.80	231.60	53.30	249.90
fev.	145.00	32.80	348.90	93.10	96.50	124.00	155.00	158.60	42.20	18.80	87.90	56.50	199.50	158.50	226.00
mar.	262.10	143.90	421.80	63.50	293.50	214.50	159.20	224.40	83.60	196.90	174.10	133.70	409.80	397.90	168.80
abr.	325.70	273.30	135.40	135.30	232.80	186.20	462.70	362.70	115.90	103.40	435.40	327.80	140.20	116.10	378.20
mai.	331.80	536.30	141.30	214.70	575.00	351.30	232.00	466.30	187.60	306.10	265.40	59.50	304.20	225.90	327.70
jun.	388.90	208.10	481.20	277.90	671.10	525.20	236.50	182.20	166.60	125.30	562.90	432.40	583.50	474.50	537.30
jul.	389.70	355.50	367.20	183.60	287.10	319.60	380.40	205.40	169.10	259.60	575.00	355.50	282.30	282.20	359.80
ago.	205.80	261.50	159.80	161.30	153.80	46.80	253.80	130.10	277.80	142.20	443.40	211.00	124.20	194.80	138.90
set.	123.60	59.20	146.10	49.40	163.70	26.20	191.00	20.50	52.30	72.80	336.10	106.30	42.50	136.00	81.10
out.	63.60	170.50	42.60	34.20	23.40	27.40	33.40	15.50	55.40	90.30	58.20	103.70	49.00	52.30	33.60
nov.	45.20	61.20	75.00	29.10	15.80	53.80	63.70	43.00	15.80	18.90	45.10	32.10	87.70	26.80	18.20
dez.	67.50	20.10	15.50	34.60	32.70	6.50	38.20	71.80	16.00	104.90	99.10	109.00	33.10	51.50	13.20
TOTAIS	2451.70	2182.40	2491.30	1326.30	2688.80	1911.30	2365.30	1911.10	1249.70	1483.90	3359.00	1986.30	2487.60	2169.80	2532.70

MÊS	PRECIPITAÇÕES MENSAIS (mm)													
	ANO													MÉDIAS
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	1961 a 2017
jan.	14.30	12.30	83.50	85.70	85.20	193.40	139.30	198.80	95.20	108.00	65.80	117.00	30.60	105.12
fev.	80.40	32.40	226.70	32.30	376.10	45.20	336.60	331.20	49.40	145.00	49.00	51.60	21.40	132.88
mar.	75.90	158.20	138.70	395.40	142.80	92.70	129.50	218.40	98.20	235.60	299.40	248.40	126.80	203.85
abr.	168.10	322.20	347.30	314.20	351.80	273.30	647.40	60.60	239.40	269.60	68.60	286.40	277.80	262.78
mai.	507.10	338.00	208.20	415.70	410.10	114.30	755.70	200.80	318.20	286.40	172.60	401.00	397.80	323.25
jun.	709.00	432.10	390.80	391.80	333.00	543.90	303.90	298.00	474.80	304.00	451.80	148.50	393.20	393.87
jul.	182.70	222.50	331.00	374.30	386.80	259.40	544.40	266.80	411.40	270.40	167.60	110.30	468.40	313.14
ago.	290.80	185.80	223.70	294.40	290.20	191.20	201.80	176.20	226.40	153.00	116.60	57.40	117.00	193.92
set.	45.30	79.00	127.10	47.60	83.50	74.30	35.70	22.40	147.60	212.20	24.40	53.80	84.40	94.43
out.	59.70	8.70	25.60	53.60	16.30	37.40	34.60	57.80	133.80	148.60	16.20	14.10	60.40	54.28
nov.	8.70	84.70	40.00	16.00	49.90	23.50	75.00	12.00	80.00	54.20	30.80	18.40	15.40	40.71
dez.	174.20	106.40	30.60	18.30	47.80	84.80	41.80	28.20	173.80	22.80	87.20	71.00	2.00	57.24
TOTAIS	2316.20	1982.30	2173.20	2439.30	2573.50	1933.40	3245.70	1871.20	2448.20	2209.80	1550.00	1577.90	1995.20	2175.47