

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NATHAN LASCOSKI GUSMÃO

ESTUDO DE INUNDAÇÃO DA DESEMBOCADURA DO RIO MATINHOS: ANÁLISE
BIDIMENSIONAL UTILIZANDO DELFT3D

PONTAL DO PARANÁ

2019

NATHAN LASCOSKI GUSMÃO

ESTUDO DE INUNDAÇÃO DA DESEMBOCADURA DO RIO MATINHOS: ANÁLISE
BIDIMENSIONAL UTILIZANDO DELFT3D

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador – Prof. Dr. Eng. Gustavo Pacheco Tomas

PONTAL DO PARANÁ

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE:
UFPR / SiBi - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar
Liliam Maria Orquiza – CRB-9/712

Gusmão, Nathan Lascoski
G982e Estudo de inundação da desembocadura do Rio Matinhos: análise bidimensional utilizando Delft3D. / Nathan Lascoski Gusmão. – Pontal do Paraná, 2019.
67 f.: il., 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Pacheco Tomas.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Estudos do Mar, Setor Reitoria, Universidade Federal do Paraná.

1. Inundação. 2. Modelagem numérica. 3. Rio Matinhos. I. Título. II. Tomas, Gustavo Pacheco. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 627.42

TERMO DE APROVAÇÃO

Nathan Lascoski Gusmão

“ESTUDO DE INUNDAÇÃO DA DESEMBOCADURA DO RIO MATINHOS: ANÁLISE BIDIMENSIONAL UTILIZANDO DELFT3D”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:


Prof. Dr. Alexandre Bernardino Lopes - CEM/UFPR


Profa. Dra. Enga. Roberta Brondani Minussi - CEM/UFPR


Prof. Dr. Gustavo Pacheco Tomas - CEM/UFPR
Presidente

Pontal do Paraná, 17 de Dezembro de 2019.

A minha esposa e familiares, que foram grandes incentivadores nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Gustavo Pacheco Tomas, pelo acompanhamento, orientação, ensinamento e amizade.

Ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná do CPP - CEM, pelo apoio e acolhida.

Aos professores do curso, pelos ensinamentos, conversas, e por estarem sempre presentes e atentos para com os alunos. Em especial aos professores que iniciaram este curso, não foram anos fáceis, mas conseguimos!

Aos colegas que fiz, pelo apoio, amizade e companheirismo.

A Hélio D'marqui Junior, Felipe Nascimento Claro, Fabrizio Figueiredo Vella e Alan Senger Rebuli, pelos finais de semana incansáveis estudando para as provas, pelo companheirismo e incentivo.

A todos que de alguma forma contribuíram para o curso e para esta formação.

Por fim agradecer a minha família por tudo, pois tudo que sou hoje devo as pessoas que me acompanharam, me mostraram o caminho. A minha mãe Rozi de Fatima Lascoski Gusmão, a meu pai Antônio Carlos Gusmão, a meu irmão Kayan Gusmão e a minha amada esposa Poliana Moreira Claro Gusmão, esta conquista é de todos nós.

RESUMO

Estudos de inundação são hoje essenciais para cidades costeiras pois a variação meteorológica assim como o aumento do nível médio dos marés, torna estes ambientes suscetíveis a inundações. O município de Matinhos é um exemplo de cidade costeira que vivencia situações de inundação periodicamente. Este trabalho tem o intuito de descrever situações envolvendo níveis de maré e índices de vazão baseados na hidrografia regional. O objetivo principal deste estudo é fornecer dados e prever situações no pior cenário possível a fim de apresentar um mapa de inundação da região da desembocadura do canal de drenagem do rio Matinhos. Para realizar este estudo foi utilizado a modelagem numérica com a utilização do programa Delft3D. com base em dados inserido no modelo foi possível prever as principais situações de inundação na área de estudo. Os resultados obtidos demonstram que a uma maré astronômica os índices de inundação são altos para a região de interesse, ao inserir dados de chuva a possibilidade de inundação é iminente.

Palavra-chave: inundação; modelagem numérica; rio Matinhos

ABSTRACT

Flood studies are essential for coastal cities, as weather variation, and nowa days rising tides make these environments more susceptible to flooding. The municipality of Matinhos is an example of a coastal city that experiences flood situations periodically. This paper aims to describe situations involving tidal levels and flow rates based on regional hydrography. The main objective of this study is to provide data and predict situations in the worst possible scenario in order to present a flood map of the Matinhos river drainage channel mouth region. To perform this study, numerical modeling was used using the Delft3D program. Based on data entered in the model it was possible to predict the main flooding situations in the study area. The results show that at an astronomical tide the flood rates are high for the region of interest. When entering rain data the possibility of flooding is imminent.

Key-words: flood; numerical modeling; Matinhos river

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – VARIAÇÕES DO NÍVEL DE MARÉ SOBRE O RIO MATINHOS. PONTE LIGANDO A RUA IGUAÇU A RUA MIRANGUAIA	14
FIGURA 2 – ESCOAMENTO LAMINAR E TURBULENTO	17
FIGURA 3 – VALORES DO NÚMERO DE MANNING	20
FIGURA 4 – ÁREAS DE INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS	23
FIGURA 5 – RIO MATINHOS EM 1950 ANTES DA RETILINIZAÇÃO E EM 2001 APÓS O PROCESSO DE RETILINIZAÇÃO	24
FIGURA 6 – DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA ESTAÇÃO 83844 LOCALIZADA EM PARANAGUÁ PARA O PERÍODO DE UM ANO.....	25
FIGURA 7 – EDIFICAÇÕES EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	27
FIGURA 8 – GERAÇÃO DA GRADE DELFT3D.....	31
FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MATINHOS	32
FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E INDICAÇÃO O LEITO DO RIO MATINHOS (TRAÇO VERMELHO)	33
FIGURA 11 – DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, EM DESTAQUE O TRECHO DA RIO MATINHOS.....	34
FIGURA 12 – PERFIL BATIMÉTRICO DA DESEMBOCADURA	35
FIGURA 13 – ENCONTRO ENTRE O MAR E O RIO MATINHOS EM PERÍODO DE MARÉ ALTA (a) E BAIXA (b)	36
FIGURA 14 – LOCALIZAÇÃO DAS VAZÕES ADJACENTES AO MODELO, (A) SUB BACIA RIO DA ONÇA, (B) CANAL MILOME, (C) CANAL DNOS II.....	37
FIGURA 15 – LANDBOARD DA POLIGONAL DO RIO MATINHOS NO DELFT3D .	39
FIGURA 16 – GRADE UTILIZADA NO MODELO	40
FIGURA 17 – ORTOGONALIDADE DA GRADE GERADA NO RGFGRID	41
FIGURA 18 – BATIMETRIA GERADA APÓS A INTERPOLAÇÃO NO QUICKIN.....	42
FIGURA 19 – CONTORNO ABERTO – OPEN BOUNDARIES	44
FIGURA 20 – PONTO DE OBSERVAÇÃO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA ..	47
FIGURA 21 – SIMULAÇÃO 01 - MARÉ A 1,0m (a), MARÉ A 1,5m (b), MARÉ A 2,0m (c), MARÉ A 2,5m (d),.....	48
FIGURA 22 – SIMULAÇÃO 01 – SOBREPOSIÇÃO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO	49
FIGURA 23 – SIMULAÇÃO 02 – MARÉ A 1.5m VAZÃO A MONTANTE	50
FIGURA 24 – SIMULAÇÃO 02 – ÁREA DE INUNDAÇÃO	51
FIGURA 25 – SIMULAÇÃO 03 – MARÉ A 1.5m VAZÃO LIMITE DE PROJETO.....	52

FIGURA 26 – SIMULAÇÃO 03 – ÁREA DE INUNDAÇÃO	53
FIGURA 27 – SIMULAÇÃO 04 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA NO TEMPO	54
FIGURA 28 – ELEVAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA	55
FIGURA 29 – SIMULAÇÃO 04 - 02:00 HORAS DE SIMULAÇÃO.....	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DADOS DE ENTRADA DE VAZÃO DE CHUVA SOBRE O CANAL DE DRENAGEM	37
TABELA 2 – DIMENSÕES DA GRADE GERADA.....	39
TABELA 3 – PARÂMETROS UTILIZADOS NO MODELO	43
TABELA 4 – NÍVEL DE ÁGUA UTILIZADO NO MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE ENCHENTE.....	45
TABELA 5 – PARÂMETROS UTILIZADOS CENÁRIO 02.....	45
TABELA 6 – PARÂMETROS UTILIZADOS CENÁRIO 03.....	46
TABELA 7 – DETERMINAÇÃO DA VAZÃO ATRIBUÍDA A MONTANTE DO RIO MATINHOS.....	46
TABELA 8 – DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES REFERENTE AO CANAL MILOME E DNOS II	46

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
SUMÁRIO	10
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 HIDRÁULICA FLUVIAL.....	16
2.1.1 Escoamento.....	16
2.1.2 Rugosidade	19
2.2 CANAIS DE MARÉ	20
2.3 ESTUDOS DE INUNDABILIDADE.....	21
2.3.1 Estudos relacionados ao município de Matinhos	23
2.3.2 Estudos sobre o rio Matinhos	26
3 MODELAGEM COMPUTACIONAL	28
3.1 DELFT3D	29
3.1.1 Módulo Hidrodinâmico	29
3.1.2 Passo de Tempo	30
3.1.3 RGFGRID – Modulo de Formação de Grade	30
4 LEVANTAMENTOS DA ÁREA DE ESTUDO	32
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	32
4.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
4.3 DADOS BATIMÉTRICOS E TOPOGRÁFICOS	35
4.4 HIDROLOGIA E NÍVEL DE MARÉ	36
4.2 RUGOSIDADE ADOTADA	38
5 METODOLOGIA	39
5.1 MODELO GEOMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	39

5.1.1	Qualidade da Grade Numérica	40
5.1.2	Malha Batimétrica	41
5.1.3	Passo de Tempo	42
5.2	MODELO HIDRODINÂMICO	43
5.2.1	Condições Iniciais.....	43
5.2.2	Condições de Contorno	43
5.3	CENÁRIOS SIMULADOS	44
5.3.1	Cenário 01	44
5.3.2	Cenário 02.....	45
5.3.3	Cenário 03.....	45
5.3.4	Cenário 04.....	46
6	RESULTADOS	48
6.3	CENÁRIO 01	48
6.4	CENÁRIO 02	50
6.5	CENÁRIO 03	52
6.6	CENÁRIO 04	54
7	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXO 01 – SUB BACIAS DE DRENAGEM DE MATINHOS	64
	ANEXO 02 – EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS DELFT3D.....	65

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira constitui um espaço territorial privilegiado, no que diz respeito a recursos naturais, econômicos e humanos. Atualmente, no Brasil, 26,6% da população reside em municípios costeiros, segundo dados do IBGE (2010). O grande crescimento populacional e o avanço desordenado nas cidades causam alguns efeitos negativos, relacionados diretamente à falta de planejamento nos municípios costeiros, como falha no processo de drenagem, influenciando no aumento do índice de inundações e enchentes nas áreas costeiras.

Os termos “inundação” e “enchentes” são amplamente discutidos na literatura e suas definições variam de acordo com o autor, logo, para este trabalho, será adotada como “inundação” o transbordamento de água da calha normal do rio quando recebe uma vazão superior àquela que pode suportar (DEFESA CIVIL, 2008). Inúmeros fatores influenciam para o transbordamento da calha, processos naturais como precipitações intensas ou a influência direta das ondas de maré e também processos antrópicos ligados a urbanização, como ocupação de áreas ribeirinhas, falha no processo de drenagem da bacia hidrográfica, impermeabilização da superfície, entre outros.

No Brasil, país com alto potencial econômico, principalmente em áreas costeiras, o risco de inundações está diretamente ligado aos impactos ambientais, humanos e intrinsecamente ligados às mudanças climáticas, principalmente ao aumento do Nível Médio dos Mares (NMM). Para Gandra (2017), as cidades brasileiras situadas em zonas costeiras são mais vulneráveis às mudanças climáticas, em especial, ao aumento do nível do mar e de eventos extremos.

Eventos críticos estão se tornando recorrentes no território brasileiro, principalmente em zonas de costa. Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (ABDN) entre o período de 1991 a 2012 mais de 4600 casos de inundações severas foram registradas no território brasileiro. As inundações constituem a terceira tipologia de desastre natural mais recorrente no Brasil (AMPLA 2012).

O estado do Paraná, em dados oficiais, registrou 158 casos de inundação consideradas como desastre. Segundo o ABDN (Atlas Brasileiro de Desastres Naturais), o município de Matinhos registrou, na inundação de janeiro de 2010, um total de 35.000 pessoas afetadas. Esse evento extremo atingiu todos os bairros da cidade, apresentando áreas de inundação em locais próximos aos rios e córregos que

cortam o perímetro urbano (AMPLA 2012). O principal problema de inundação do município está diretamente relacionado ao sistema hidrográfico do rio Matinhos, que recebe um grande volume de águas pluviais e apresenta baixa capacidade de escoamento em sua foz. O rio desemboca no oceano sofrendo influência direta dos efeitos de ondas e maré.

Este trabalho tem como objetivo avaliar as possíveis áreas de inundação na região próxima a desembocadura do rio Matinhos. A avaliação será realizada com a implementação de um modelo hidrodinâmico, contemplando uma extensão de 1.0km até a desembocadura do rio.

Para relacionar os efeitos da maré sobre a desembocadura do rio Matinhos, será adicionado as condições de contorno da modelagem hidrodinâmica para conhecer os efeitos causados e qual a influência sobre a recorrente incidência de inundações no município em questão. Neste estudo, utilizaremos o modelo hidrodinâmico Delft3D, que possui o código aberto e foi desenvolvido pela *WL Deltares*.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as áreas de inundação na desembocadura do rio Matinhos, utilizando possíveis combinações do transbordamento da calha devido a variação de maré e vazão na calha do rio.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a região e levantar dados topo batimétricos, hidrométricos e de variação de maré.
- Implementar o modelo matemático escolhido.
- Avaliar diferentes cenários, variando as condições de vazão na calha do rio.
- Diagnosticar as condições de início de inundação da desembocadura do rio.
- Gerar um mapa de inundação da região para cada cenário modelado.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o grande desenvolvimento do litoral paranaense, seja pela quantidade de turistas que recebe anualmente, seja pelo número crescente de moradores, problemas na malha de drenagem ficam evidentes com o desenvolvimento das cidades. O município de Matinhos, situada no litoral do Paraná, levando em consideração os efeitos da maré, e tendo ciência de que o oceano é o principal meio de drenagem do município, temos uma situação que pode gerar eventos que trazem risco à saúde da população e também problemas financeiros ao município e principalmente aos moradores.

Grande parte da drenagem urbana do município, levando em consideração a parte habitada, é feita através da desembocadura do rio Matinhos. O rio recebe a incidência de toda a chuva que escoar ao longo do município, e desemboca diretamente no oceano, ou seja, sofre influência direta das ondas e maré.

Com as mudanças climáticas que acontecem em todo mundo e as variações no Nível Médio dos Mares, as ocorrências de inundações estão se tornando recorrentes no município. As ocorrências de transbordamento da calha apenas com a incidência da maré preocupam os moradores do município. A Figura 1 ilustra as diferenças das condições de escoamento na calha do rio Matinhos, na situação (a) e (b) maré alta a ponto de extravasar a calha do rio, (c) e (d) maré baixa normal a região.

FIGURA 1 – VARIAÇÕES DO NÍVEL DE MARÉ SOBRE O RIO MATINHOS. PONTE LIGANDO A RUA IGUAÇU A RUA MIRANGUAIA



FONTE: Autor (2019)

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho foi elaborado de maneira a apresentar de forma coerente conceitos fundamentais relacionados nesta pesquisa. Foi estruturado baseando-se em 08 capítulos, sendo o primeiro destinado a introdução, com a contextualização do tema, a justificativa do trabalho, o objetivo principal da pesquisa e uma breve descrição da ordem apresentada neste estudo.

O segundo capítulo apresenta a revisão literária, definição de conceitos sobre hidráulica fluvial e estudos de inundação. Etapa fundamental para definir conceitos e apresentar teorias para o desenvolvimento do trabalho.

No terceiro capítulo é abordada a relação utilizada em modelos matemáticos e hidrodinâmicos. Ao final é descrito o modelo utilizado, as características do modelo Delft3D e suas equações fundamentais.

O quarto capítulo é destinado a área de estudo, as variáveis utilizadas, as características adotadas, as condições de contorno e interpolações numéricas.

O quinto capítulo é destinado a construção do modelo a ser simulado, acrescentando todos os passos para realização das simulações.

Determinado todos os dados apresentados nos capítulos anteriores, o sexto fica destinado a determinação dos parâmetros e condições de contorno, e a apresentação das simulações a serem realizadas.

Fica definido ao sétimo capítulo apresentar os resultados obtidos pela simulação, colocando cada caso e suas características.

Após a etapa de resultados, o oitavo capítulo apresenta as conclusões deste trabalho, com propostas para continuidade do estudo.

Ao final são referenciados os trabalhos bibliográficos utilizados e os devidos anexos ao estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HIDRÁULICA FLUVIAL

Seja pela necessidade de transporte ou para subsistência, o desenvolvimento das cidades se deu, historicamente, às margens dos rios. Para tal, estudos fluviais são hoje difundidos no meio acadêmico, levando consigo uma série de relações e parâmetros que devem ser analisados e verificados, como tipo de escoamento, nível da água, velocidades, entre outros.

Para Sancho (2012), a hidráulica fluvial compreende a avaliação das características do escoamento e do comportamento geomorfológico dos rios, na sua forma natural, ou causadas por ações antrópicas. A diferença entre os rios e os canais, embora ambos possuam mesmo comportamento hidráulico, está relacionado com a forma geométrica (regular ou irregular).

As variações do leito refletem diretamente nas resultantes geradas, onde inúmeros fatores, como o regime de escoamento, o nível de água ou a velocidade, podem fazer com que estas resultantes mudem, alterando a dinâmica da região. Assim, um rio pode ser considerado como um sistema dinâmico, cujo escoamento é composto basicamente pelo fluido, pela geometria da calha e pelo solo. Desta forma, a interação entre estas faces, somadas a um balanço dinâmico entre erosão, transporte e sedimentação, é o que determina a morfologia dos rios (SILVA; MASCARENHAS; MIGUEZ, 2007).

De forma a estabelecer matematicamente estes parâmetros, este capítulo destina-se a explicar conceitos da hidráulica fluvial como classificações de escoamento, equações dominantes de águas rasas e a resistência ao escoamento.

2.1.1 Escoamento

A característica dos escoamentos de rios e canais é dada pelo fato de apresentarem sempre um escoamento com uma superfície livre. Para Silva, Mascarenhas e Miguez (2007), os escoamentos com superfície livre apresentam duas propriedades fundamentais. A primeira refere-se ao fato de que os escoamentos com superfície livre se efetuam sempre ao contato direto com a pressão atmosférica, podendo assim variar o nível de água no espaço e no tempo. A segunda propriedade

refere-se a susceptibilidade aos efeitos da gravidade, representando a força motriz fundamental do tipo de escoamento.

Os escoamentos são classificados por suas características, e uma das principais é a viscosidade, podendo assim denominar o escoamento como um regime laminar ou um regime turbulento. Para determinar tal regime representamos o número adimensional de Reynolds (Re) Equação (01) o qual estabelece um critério entre as forças de inercia e as forças de viscosidade do escoamento.

$$Re = \frac{U Rh}{\nu} \quad (01)$$

Onde: Re = Número de Reynolds

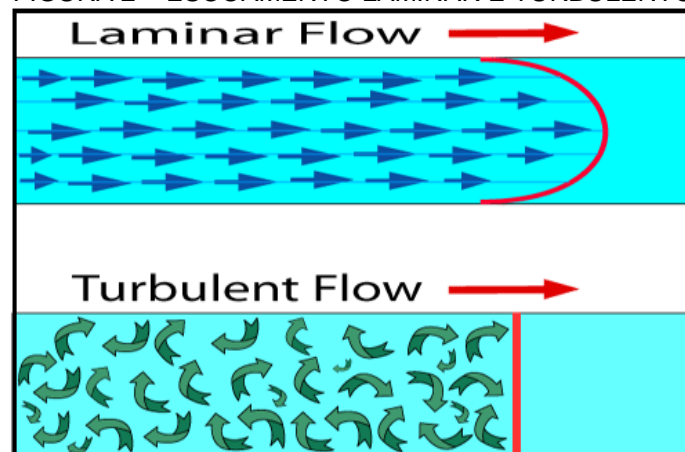
U = Velocidade média do escoamento na seção [m/s]

Rh = Raio hidráulico [m]

ν = Coeficiente de viscosidade cinemática do fluido [m²/s]

Em razão dos valores muito pequenos da viscosidade na água e a elevada rugosidade dos leitos de rios, Chow (1959) define que o escoamento em rios devem ser considerados como turbulentos. No regime turbulento ocorrem movimentos aleatórios no interior do fluido (FIGURA 02), devido a passagem de partículas de água, em regiões com valores de velocidade média diferentes, provocando acelerações e desacelerações das partículas, permitindo que a velocidade possa variar em qualquer direção (TOMAS, 2014).

FIGURA 2 – ESCOAMENTO LAMINAR E TURBULENTO



FONTE: SANCHO (2002)

Além do número de Reynolds, outro número importante em escoamentos com superfície livre é o número de Froude Equação (02). Tal número relaciona os efeitos das forças de inercia e gravitacional e é expressa como:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g\bar{h}}} \quad (02)$$

Onde: Fr = Número de Froude [adm]

U = Velocidade média do escoamento na seção [m/s]

\bar{h} = Profundidade hidráulica média [m]

g = Aceleração da gravidade [m/s²]

O número de Froude classifica o escoamento da seguinte forma:

- $Fr < 1$ → Denominado regime fluvial ou subcrítico, onde as forças gravitacionais são preponderantes as declividades e velocidades moderadas.
- $Fr > 1$ → Regime dito torrencial ou supercrítico, ou seja, o escoamento apresenta altas velocidades e os efeitos da inercia são preponderantes.
- $Fr = 1$ → Regime critico, nesta situação temos um equilíbrio entre as forças que regem o escoamento e a velocidade.

Para Chow (1959), os escoamentos em rio são predominantemente subcríticos, devido as baixas declividades. Os escoamentos ainda podem ser classificados como permanentes ou transientes, se o escoamento não apresentar variação no tempo é denominado permanente.

Devido as inúmeras variáveis existentes no escoamento de rios, e sua geometria de difícil delimitação, usaremos hipóteses simplificadoras para delimitar e simplificar os cálculos. Logo consideraremos o escoamento numa escala bidimensional, considerando um trecho intermediário, onde será considerado a largura do rio como relevante aos cálculos (SILVA; MASCARENHAS; MIGUEZ, 2007)

Na região costeira delimita-se escoamentos de grande escala, devido aos movimentos horizontais possuem escala espacial muito superior a profundidade, permitindo a adoção de simplificações nas equações que descrevem o seu movimento. As equações de águas rasas são um conjunto de equações que descrevem o movimento de um fluido com superfície livre (GOBIRA, 2008).

Para Melo (1998, *apud* JANSEN et al., 1979) na literatura de hidráulica marítima se utiliza, tradicionalmente, os termos equações de “Águas Rasas” para identificar o conjunto de equações governantes do escoamento em canais de maré. Estas equações são obtidas através da integração na seção do canal das equações fundamentais tridimensionais de conservação da massa e do *momentum* em escoamentos turbulentos (MELO, 1998). As equações governantes devem ser referidas a um sistema de coordenadas convenientemente escolhido em função das características específicas de cada caso. Para a dinâmica de canais abertos, será utilizado o sistema cartesiano bidimensional.

2.1.2 Rugosidade

Outro parâmetro importante para este trabalho é a perda de carga, a qual relaciona a velocidade do escoamento com o material do leito. O principal parâmetro para determinação da perda de carga é o coeficiente de rugosidade, propriedade do material do leito. Esta denominada resistência ao escoamento não necessariamente é função direta do material do leito, mas sim da rugosidade superficial, vegetação, irregularidades do canal, erosão, profundidade, seção do canal, e outros fatores que podem influenciar o escoamento. Para tal, são detalhadas equações para determinação destas perdas de carga, duas se destacam na literatura, a fórmula de Chézy e Manning Equação (03) (SILVA; MASCARENHAS; MIGUEZ, 2007).

$$V = \frac{1}{n} R_H^{\frac{2}{3}} I_0^{\frac{1}{2}} \quad (03)$$

Onde: V = Velocidade [m/s]

n = Coeficiente de Manning [$m^{1/3}/s$]

R_H = Raio hidráulico [m^2/m]

I_0 = Declividade [m/m]

Para este estudo será exemplificado apenas o coeficiente de Manning pois, segundo a literatura, é o mais utilizado por ter resultados comprovados sobre a sua validade e de grande quantidade de dados decorrentes destas aplicações (SILVA; MASCARENHAS; MIGUEZ, 2007). Inúmeras variações para se calcular o valor do

coeficiente de Manning são encontrados nas referências. A Figura 03 apresenta o quadro com os valores normalmente utilizados nas modelagens fluviais.

FIGURA 3 – VALORES DO NÚMERO DE MANNING

Natureza das Paredes	Condições			
	Muito Boas	Boas	Regulares	Más
Tubos de ferro fundido sem revestimento.....	0,012	0,013	0,014	0,015
Idem, com revestimento de alcatrão.....	0,011	0,012*	0,013*	---
Tubos de ferro galvanizado.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Tubos de bronze ou de vidro.....	0,009	0,010	0,011	0,013
Condutos de barro vitrificado, de esgotos.....	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de barro, de drenagem.....	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento: condutos de esgoto, de tijolos.....	0,012	0,013	0,015*	0,017
Superfícies de cimento alisado.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Superfícies de argamassa de cimento.....	0,011	0,012	0,013*	0,015
Tubos de concreto.....	0,012	0,013	0,015	0,016
Condutos e aduelas de madeira.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Calhas de prancha de madeira aplainada.....	0,010	0,012*	0,013	0,014
Idem, não aplainada.....	0,011	0,013*	0,014	0,015
Idem, com pranchões.....	0,012	0,015*	0,016	---
Canais com revestimento de concreto.....	0,012	0,014*	0,016	0,018
Alvenaria de pedra argamassa.....	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra seca.....	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares).....	0,011	0,012	0,013	0,015
Idem, corrugadas.....	0,023	0,025	0,028	0,030
Canais de terra, retilíneos e uniformes.....	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes.....	0,025	0,030	0,033*	0,035
Canais abertos em rocha, irregulares, ou de paredes de pedra irregulares e mal-arrumadas.	0,035	0,040	0,045	---
Canais dragados.....	0,025	0,028	0,030	0,033
Canais curvilíneos e lamosos.....	0,023	0,025*	0,028	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes.....	0,025	0,030	0,035*	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedra- dos.....	0,028	0,030	0,033	0,035
ARROIOS E RIOS				
1. Limpos, retilíneos e uniformes.....	0,025	0,028	0,030	0,033
2. Como em 1, porém com vegetação e pedras.	0,030	0,033	0,035	0,040
3. Com meandros, bancos e poços pouco pro- fundos, limpos.....	0,035	0,040	0,045	0,050
4. Como em 3, águas baixas, declividade fraca	0,040	0,045	0,050	0,055
5. Como em 3, com vegetação e pedras.....	0,033	0,035	0,040	0,045
6. Como em 4, com pedras.....	0,045	0,050	0,055	0,060
7. Com margens espraiadas, pouca vegetação...	0,050	0,060	0,070	0,080
8. Com margens espraiadas, muita vegetação...	0,075	0,100	0,125	0,150

* Valores aconselhados para projetos.

FONTE: Porto (2006)

2.2 CANAIS DE MARÉ

O escoamento em canais difere do escoamento em condutos forçados pelo fato de possuir diversas variáveis adicionais que influenciam diretamente o escoamento (LUCCHETTI, 2018). O escoamento apresentado em canais de maré é impulsionado por gradientes horizontais de pressão, ou seja, ocorre por causa das

variações, ou inclinações, geradas horizontalmente pelas marés. Devido ao caráter periódico da maré, a variação das correntes no canal segue a influência das ondas longas de maré logo, os canais de maré não apresentam um sentido exclusivo de movimento. O autor citado também ressalta que, mesmo durante episódios de cheias, a vazão estimada diretamente a partir do nível d'água (através da curva chave) e a vazão real do rio não diferem muito uma da outra para a maioria dos cursos d'água naturais (MELO, 1998).

Para os canais de maré, deve ficar claro que os parâmetros X e Y, do sistema cartesiano, são referenciados ao eixo X como eixo horizontal, coincidindo com o nível de repouso, nível médio dos mares.

Para Rocha (2013), os processos que dinamizam a zona costeira estão relacionados à Geografia Física, que é a ciência que descreve os agentes envolvidos e os fluxos de interação entre eles, fazendo-se, portanto, uma dimensão mais abrangente e precisa do meio físico.

Um sistema complexo, onde muitas vezes predomina o empirismo na formulação de leis que regem o sistema. Segundo Oliveira (2010), as alterações são dadas por ocorrência de processos de águas rasas não-lineares associados a interação com a geometria do material e também pela fricção do fundo. Contudo, as principais forçantes hidrodinâmicas a serem consideradas em um ambiente estuarino são a descarga fluvial, a geometria do canal, a topo batimetria do estuário, a onda de maré e as correntes de maré.

2.3 ESTUDOS DE INUNDABILIDADE

Inundações são processos naturais que afetam constantemente inúmeras pessoas, gerando prejuízos econômicos e sociais. Como definição “inundação” é o fenômeno ocasionado pelo excesso de carga de água em um local, devido a sua capacidade de infiltração e escoamento dessa carga (TUCCI, 2004). Segundo Goerl et al (2012), as inundações vêm se tornando cada vez mais frequentes e intensas nas últimas décadas. O crescimento das áreas urbanas e a impermeabilização das áreas das bacias hidrográficas são exemplos de fatores correlacionados para esta crescente. A redução da capacidade de infiltração das bacias e sub-bacias, causa o aumento do volume do escoamento superficial e sua velocidade, gerando picos de

cheias superiores aos previstos durante o dimensionamento dos dispositivos de drenagem urbana.

Os principais centros populacionais estão localizados junto de encostas de grandes rios, em torno de estuários, colocando o capital econômico e as populações em situação de riscos, incluindo o aumento no nível do mar e inundações resultantes de precipitações (HORA; ALENCAR; JUNIOR, 2016).

Para regiões costeiras, Silva (2014) relata a importância da variação do nível médio dos mares, que tem se elevado nas últimas décadas. A elevação, alinhada com ações de maré e de tempestades, tem resultado num avanço do mar em relação à linha de costa. Os pontos costeiros que apresentam desembocaduras fluviais são bastante afetados, uma vez que os rios são canalizadores naturais do escoamento e a foz sobre influência da variação da maré e ondas.

Segundo Goerl et al (2012 *apud* YALCIN; AKYUREK, 2004), alguns problemas relacionados às inundações podem ser solucionados através de estudos planejados e projetados de forma detalhada sobre as áreas propensas a estes eventos. A avaliação da susceptibilidade e do risco é considerado um instrumento fundamental para a integração dos riscos no planejamento ambiental e costeiro. A utilização de ferramentas numéricas para modelagem, para previsão, análise e alerta de eventos de inundação tem crescido, conforme o avanço computacional (Ribas, 2004).

No cenário mundial temos o destaque da FEMA (Agência Federal de Gerenciamento de Emergências) que atua há 38 anos no controle, prevenção e mitigação de desastres naturais, domésticos ou provocados pela ação humana. A agência mantém dados atualizados de risco à inundação, os quais incluem informações estatísticas, como dados de vazão de rios, marés de tempestades, análises hidrológicas / hidráulicas e chuvas e levantamentos topográficos (FEMA, 2019).

No Brasil, destacam-se os trabalhos realizados pela Defesa Civil com referências aos alertas sobre questões de desastres como inundações. Esta mantém dados atualizados sobre avaliação de risco através do programa SIGRisco PARANÁ, onde dados sobre eventos como inundações podem ser observados. No cenário acadêmico alguns autores se destacam, o principal é como TUCCI em seus estudos como “Regulamentação da drenagem urbana no Brasil” ou “Mudanças climáticas e

impactos sobre os recursos hídricos no Brasil”. No cenário público muitos estudos têm investigado as questões de inundabilidade, como o plano estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro de 2014 voltado à identificação de áreas suscetíveis à inundação ou o plano Nacional de Gestão de Recursos Riscos a eventos como inundação, responsável pelo mapeamento de áreas suscetíveis a inundações.

No âmbito público, destaca-se o trabalho da Prefeitura de Florianópolis, no estudo de Cidades Emergentes e Sustentáveis, na qual o Caderno 2, nomeado de “Vulnerabilidade e riscos ambientais”, apresenta estudos utilizando modelagem numérica para a previsão de possíveis áreas de inundação fluvial e costeira.

FIGURA 4 – ÁREAS DE INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS



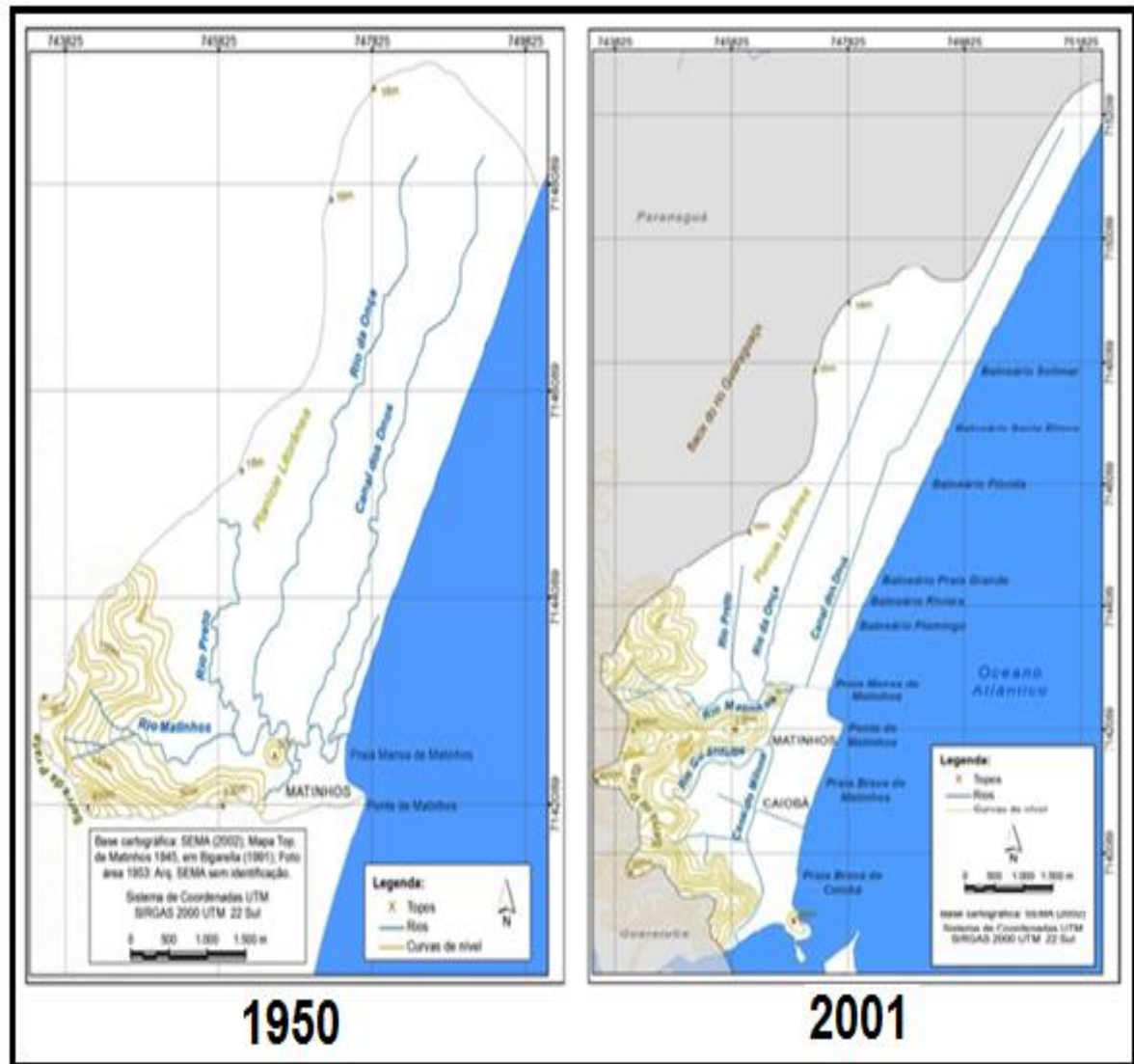
FONTE: IDOM-COBRAPÉ (2010)

2.3.1 Estudos relacionados ao município de Matinhos

A cidade de Matinhos, no estado do Paraná, localizada a aproximadamente 100 km da capital Curitiba, é uma cidade litorânea e turística. Por ser considerada por muitos um “paraíso natural”, passou a ser muito requisitada. Com as obras do

Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) a partir de 1948, os rios da região litorânea paranaense sofreram muitas intervenções antrópicas de drenagem com o intuito de urbanizar as cidades. Isso fez com que seus leitos fossem modificados ou até substituídos por canais.

FIGURA 5 – RIO MATINHOS EM 1950 ANTES DA RETILINIZAÇÃO E EM 2001 APÓS O PROCESSO DE RETILINIZAÇÃO



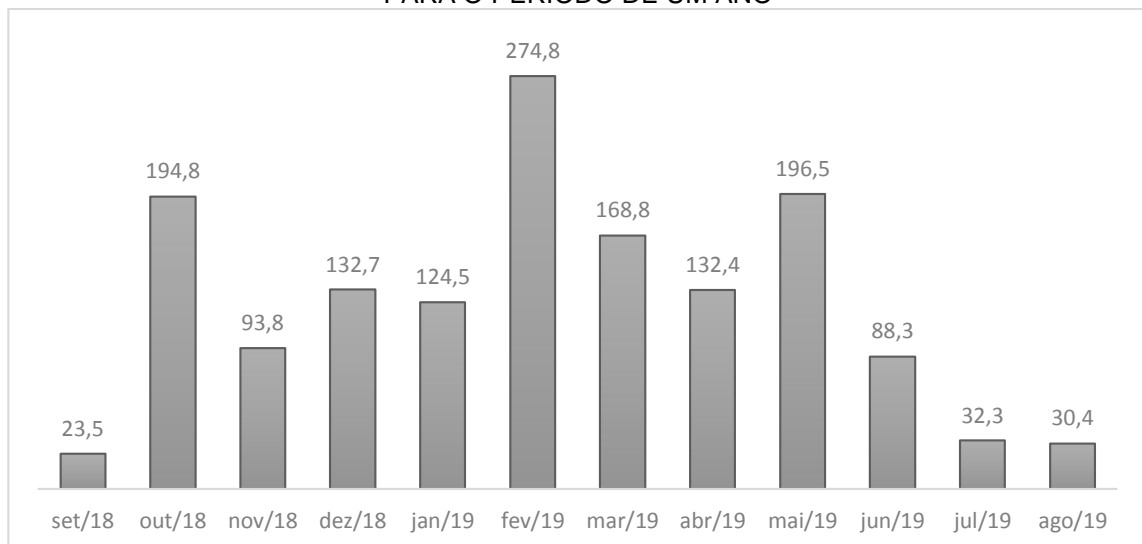
FONTE: Milani (2011)

Através de outros levantamentos e pesquisas, Kutchma (2016), constatou que importantes rios e lagoas da região, essenciais ao sistema de drenagem natural do município, foram suprimidos para a realização de loteamentos na região. Um desses rios é o Rio Matinhos, que historicamente também passou por obras de reutilização e alargamentos. O complexo hidrográfico do rio Matinhos foi interligado também a parte

do rio Guaratuba, cuja desembocadura foi aterrada para fins de loteamento (RIBEIRO, 2008).

A drenagem no município de Matinhos é fonte de uma discussão antiga. Segundo dados do Plano de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável – PDITS (2017), a cidade recebe uma população flutuante de até 1,5 milhão de pessoas durante a temporada de verão. Em paralelo, essa é a época em que o índice pluviométrico do município é mais elevado. O litoral paranaense atinge índices superiores a 2000mm/ano e boa parte desse número é registrados nos meses de verão (KUTCHMA 2016). A Figura 06 ilustra o gráfico referente a relação entre os índices pluviométricos (em milímetros), e os meses de incidência. Nota-se um alto índice entre os meses de outubro e maio. Os dados foram retirados do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, precisamente da estação 83844 localizada no município de Paranaguá.

FIGURA 6 – DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA ESTAÇÃO 83844 LOCALIZADA EM PARANAGUÁ PARA O PERÍODO DE UM ANO



FONTE: INMET (2019)

Segundo o Sistema de Meteorologia do Paraná – SIMEPAR, toda a região costeira paranaense se caracteriza por possuir cotas topográficas muito baixas, tendo sua cota estipulada, aproximadamente, até 2,0m. Esta característica se estende por volta de 1,0Km da costa, em relação ao nível médio dos mares. Considerando a combinação das cotas de maré alta de sizígia, junto com eventos pluviométricos extremos, o sistema de drenagem local não deve suportar (SIMEPAR, 2007).

Ao levar em consideração uma maré alta de sizígia junto com eventos pluviométricos elevados, o sistema precário de drenagem não funcionará (SIMEPAR, 2007). O estudo também descreve que na tentativa de solucionar problemas pontuais, apenas ações localizadas foram realizadas, agravando as inundações em outros pontos no município.

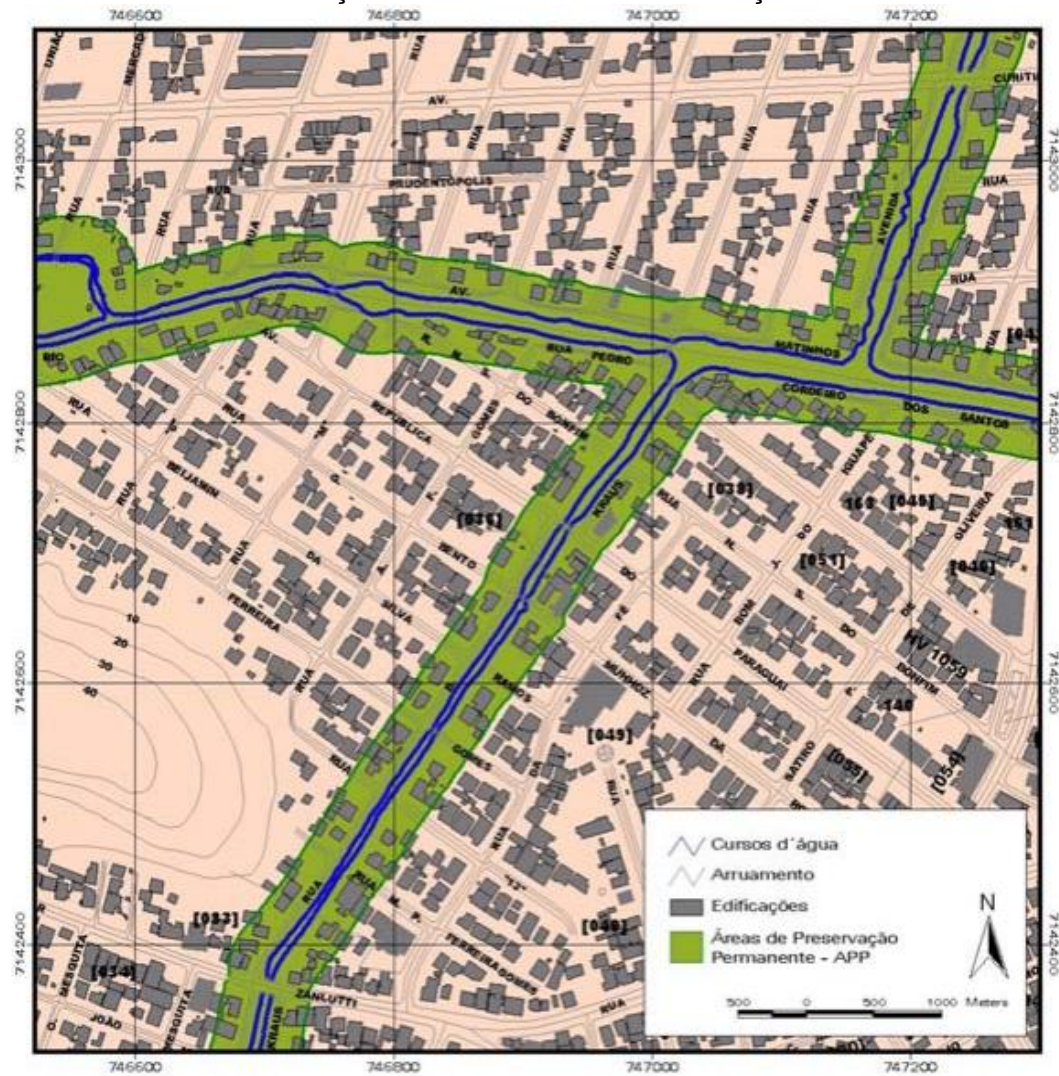
2.3.2 Estudos sobre o rio Matinhos

De acordo com o Plano Municipal de Recursos hídricos de Matinhos – PDPI (2006), o município está inserido em duas grandes bacias hidrográficas, a primeira a Bacia do Rio Guaraguaçu, com maior contribuição dentro do perímetro municipal, e a segunda é a bacia oceânica, onde se insere grande parte da área urbana municipal. Dentro da bacia oceânica destaca-se a Sub bacia do Rio Matinhos, responsável por drenar 46% da área urbanizada (ANEXO 01). Com relevo plano, tem ligação direta com o oceano e sofre as principais influências das ondas de maré (AMPLA, 2012). O aporte hídrico do rio é dado tanto pela interação com o oceano quanto com a vazão do sistema de drenagem pluviométrico. Por sofrer com os efeitos das ondas e marés até alguns quilômetros de sua desembocadura, é definido por teóricos como Milani (2001) de micro estuário.

O Rio Matinhos, subdivide-se em dois ramais: o primeiro ao pé da serra do mar com extensão aproximada de 1500m; o segundo, iniciando-se próximo à Rua Adrianópolis e prolongando-se até sua desembocadura no oceano com extensão aproximada de 1900m (AMPLA, 2012). Para fins de estudo, será estudada a desembocadura do rio Matinhos entre a Rua Mandaguari, região que sofre direta influência das variações de maré.

A região de estudo foi citada no Plano Diretor Perceptivo de Desenvolvimento Integrado de Matinhos, em 2006, referente às ocupações irregulares próximas às margens do rio (FIGURA 07), situadas em área de preservação permanente (PDPI, 2006).

FIGURA 7 – EDIFICAÇÕES EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE



FONTE: PDDI (2006)

Segundo o AMPLA (2006), a região sofre intervenções como a desobstrução dos canais de macrodrenagem pelo instituto das águas mas, pela forte relação com as incidências da maré, as inundações continuam acontecendo, acarretando em sérios danos aos moradores.

3 MODELAGEM COMPUTACIONAL

O sistema hidrográfico do Rio Matinhos é um sistema complexo, gerado pela interação entre os ambientes continental e marinho e destes com elevada taxa de intervenção antrópica, tanto sobre a rede hidrográfica, quanto sobre a linha de costa. Trata-se de um sistema de drenagem independente das baías de Paranaguá e Guaratuba, ou seja, drena suas águas diretamente para o oceano. Apesar de representar uma área pouco significativa em superfície, sua importância se deve ao seu alto coeficiente de energia hidrodinâmica, dado pelos sistemas continental e oceânico, além da alta taxa de urbanização (VIANA, 2012).

Entre as possibilidades para se caracterizar e prever o comportamento hidrodinâmico de um corpo d'água, a modelagem numérica tem sido cada vez mais empregada na engenharia. O uso da ferramenta tem sido importante para caracterizar fenômenos e no auxílio de projetos, como o dimensionamento de obras ou a gestão de recursos hídricos.

Para Ribas (2004), a dinâmica física dos estuários representa um processo vital na manutenção destes ecossistemas e está vinculada principalmente a fatores meteorológicos (ventos, chuvas), fluviais (vazão), oceanográficos (ondas, marés) e geológicos (tipo de sedimentos). Desta forma, para uma compreensão mais robusta da hidrodinâmica estuarina, diferentes parâmetros devem interagir entre si, sendo necessário o levantamento destes parâmetros físicos e suas interações.

Para realizar essas interações, foram criados modelos numéricos hidrodinâmicos, que tem como característica uma resposta mais rápida e com um menor custo que os modelos físicos. Os modelos também possuem a capacidade de simular diferentes cenários possíveis, entretanto, devido à complexidade matemática envolvida, existe um grande gasto computacional envolvido.

Segundo Oliveira (2009) diversos modelos podem ser aplicados em sistemas estuarinos, porém a escolha deve considerar os objetivos do trabalho e a classificação do estuário a ser estudado. Atualmente diversos modelos hidrodinâmicos, sejam bidimensionais ou tridimensionais, estão capacitados para estudos em ambientes costeiros e estuarinos.

Um dos métodos mais utilizado no estudo de modelagem numérica, principalmente em regiões costeiras, dentre os modelos mais utilizados destaca-se o

Delft3D. Desenvolvido pela *Deltares Hydraulics*, é capaz de realizar simulações bidimensionais e tridimensionais em ambientes costeiros e estuarinos.

3.1 DELFT3D

O sistema de modelagem utilizado neste estudo é o Delft3D desenvolvido por pesquisadores holandeses da *WL Delft Hydraulics*, é uma ferramenta gratuita com código aberto, sendo composta por módulos de pré-processamento, processamento e pós processamento, de forma a facilitar o desenvolvedor na construção do modelo matemático. Consegue simular fluxos não estacionários em duas ou três dimensões (2D ou 3D), fenômenos de transporte resultantes da maré, descargas de água doce, efeitos meteorológicos, entre outros. Possui foco em ambientes costeiros, bacias hidrográficas, deltas de maré, reservatórios e rios.

O sistema do Delft3D é baseado nos seguintes módulos:

- Hidrodinâmico (FLOW);
- Ondas (WAVE);
- Transporte de sedimentos (SED);
- Morfologia (MOR);
- Qualidade da água (WAQ);
- Traçadores (PART);
- Ecologia (ECO); e
- Química (CHEM).

O Delft3D atualiza, a cada passo de tempo, as cotas batimétricas decorrentes da geomorfologia de fundo. De interface simples, o sistema utiliza os módulos de forma separada, facilitando a compreensão do utilizador.

No decorrer do trabalho, serão demonstradas as principais características do modelo através de seu módulo hidrodinâmico

3.1.1 Módulo Hidrodinâmico

O módulo hidrodinâmico, chamado de FLOW, é capaz de simular escoamentos permanentes e não-permanentes em duas ou três dimensões, descargas de água, efeitos meteorológicos e transporte resultante de marés. O

Delft3D FLOW ainda fornece e simula a base hidrodinâmica para os módulos de onda (WAVE) e de morfologia (MOR). A solução do esquema numérico é iniciada pelo mapeamento da geometria do domínio no espaço matemático, a partir da discretização da área, partindo de uma malha retangular ou curvilínea de diferenças finitas (TOMAS, 2014).

No ambiente matemático, o modelo considera uma série de simplificações que permitem calcular as condições de escoamento do fluido. A consideração do fluido incompressível e o gradiente de pressões hidrostático são exemplos dessas condições. O modelo utiliza as equações da continuidade e da quantidade de movimento, acoplados a modelos de turbulência externos para simular o comportamento do fluido (AZENHA, 2014). O Anexo 02 detalha o processo de cálculo do modelo

3.1.2 Passo de Tempo

Um dos principais parâmetros para a realização das simulações computacionais, influencia diretamente no tempo da simulação. Sua verificação se dá pelo número de *Courant* (Ct) Equação (04).

$$Ct = \frac{\Delta t \sqrt{gh}}{\{\Delta x, \Delta y\}} \quad (04)$$

Onde Δt = Passo de tempo.

g = Aceleração da gravidade.

h = Profundidade total.

$\{\Delta x, \Delta y\}$ = Espaçamento da malha.

Para uma boa acurácia e estabilidade numérica do modelo, o número adimensional de *Courant* (Ct) não pode exceder o valor maior que 10 (DELTARES, 2014).

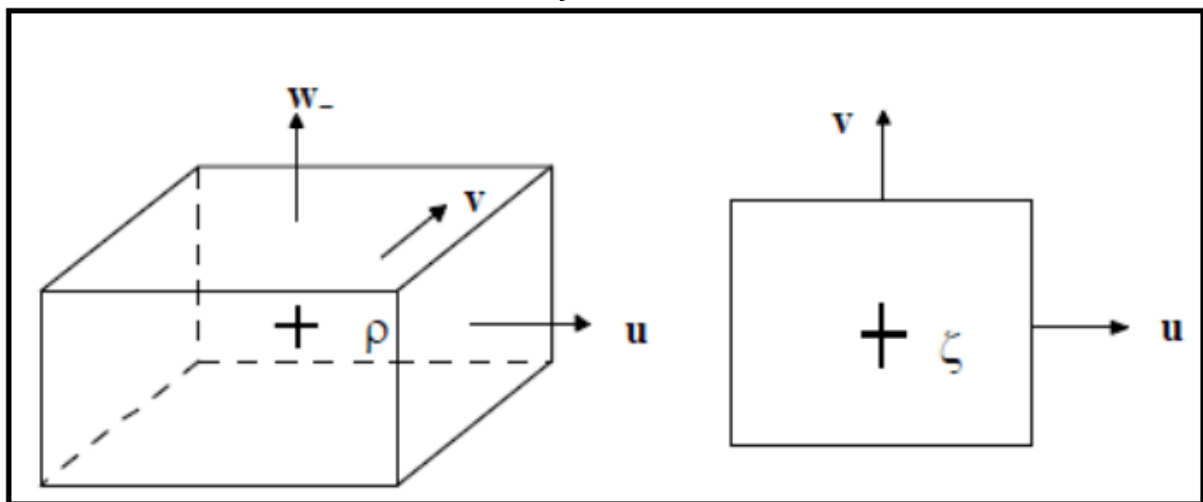
3.1.3 RGFGRID – Modulo de Formação de Grade

O módulo RGFGRID é utilizado para a geração da grade numérica no modelo. No plano horizontal, a grade pode ser ortogonal ou curvilínea. Grades curvilíneas proporcionam maior flexibilidade, possibilitando o aumento de resolução em áreas de

grandes gradientes de velocidade e/ou batimetria complexa, melhorando a precisão e a eficiência computacional. A grade utilizada no plano horizontal é a mesma para versões 2D e 3D, no plano horizontal o usuário define um número constante de pontos de grade (OLIVEIRA, 2009).

Baseado em diferenças finitas, o modelo adota o sistema de grade chamado *staggered grid*, ou no português “grade escalonada”. Os pontos de elevação estão definidos no centro da célula e as componentes de velocidade são perpendiculares aos lados da grade (FIGURA 08).

FIGURA 8 – GERAÇÃO DA GRADE DELFT3D



FONTE: Oliveira (2014)

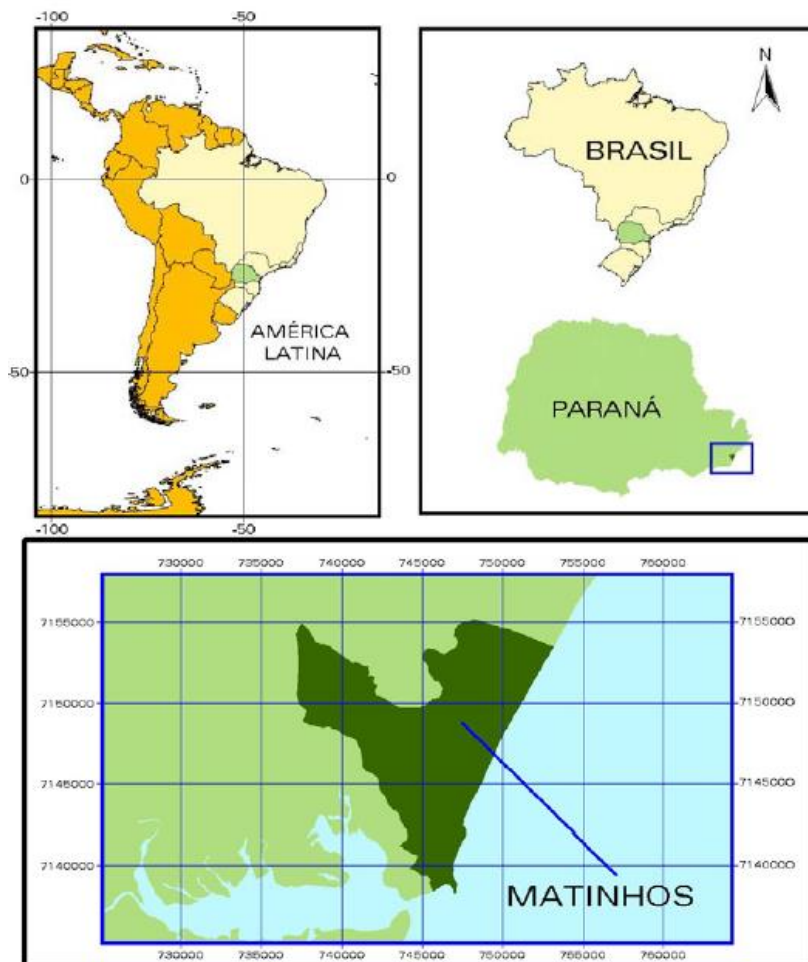
O sistema de grade escalonada facilita a implementação das condições de contorno, prevenindo oscilações espaciais de elevação e diminuindo a discretização das variáveis (DELFT3D, 2019).

4 LEVANTAMENTOS DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A região de interesse está localizada nas coordenadas de Latitude $25^{\circ}48'45,04''\text{S}$ e Longitude $48^{\circ}31'55,24''\text{O}$. Neste ponto encontra-se a desembocadura do rio Matinhos, um dos principais canais de drenagem do município em questão (FIGURA 09).

FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MATINHOS



FONTE: PDS LITORAL (2006)

A região a ser estudada compreende o rio Matinhos, aproximadamente 1,0 quilômetros (FIGURA 10) contando da sua desembocadura. Região a qual se caracteriza como micro estuário, bastante alterada pela ação humana, onde o regime

hidrológico depende tanto dos volumes de água oriundo das precipitações como das massas de água fornecidas pelo mar (MILANI, 2001).

FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E INDICAÇÃO O LEITO DO RIO MATINHOS (TRAÇO VERMELHO)



FONTE: Autor (2019)

Devido ao crescimento urbanos e intervenções antrópicas, como alterações de fluxo de rios, a área drenada pelo rio Matinhos atualmente apresenta 33 km² de extensão (no Anexo 01 pode-se encontrar o mapa de drenagem do município). Em sua extensão observa-se que grande parte do fluxo de moradias se concentra na bacia de drenagem de estudo. Fatores como crescimento desordenado e sem autorização municipal, sistemas de drenagem subdimensionados, micro drenagem deficiente nas ruas, ligações clandestinas de redes de esgoto são fatores que influenciam no processo de inundações do município.

4.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A criação do domínio de área de modelagem se deu através do Google Earth Pró (2019), onde foi possível atribuir uma região que o estudo pudesse ser construído. Estendendo-se da desembocadura do rio Matinhos até aproximadamente 1,0Km a montante do rio, região a qual sofre grande influência das ondas de maré. Para estudo de inundação, se fez necessário delimitar uma região adjacente ao rio, com o intuito de evidenciar áreas de inundação. A partir do polígono criado foi construído um arquivo para introduzir ao Delft3D (extensão .ldb), neste caso foi preciso usar o aplicativo *Global Mapper* (2016).

FIGURA 11 – DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, EM DESTAQUE O TRECHO DA RIO MATINHOS

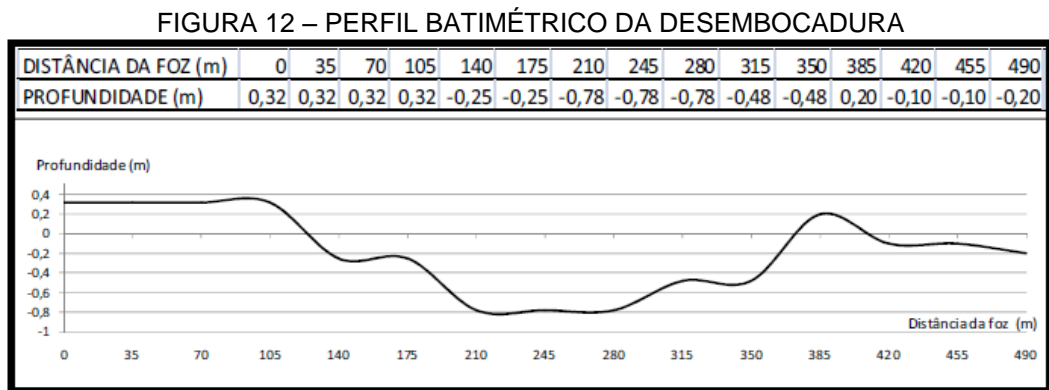


FONTE: Autor (2019)

Com uma área de aproximadamente 450 m², a região de estudo fica limitada o norte da grade a principal avenida municipal, Avenida Curitiba, o sul próximo à Avenida José Artur Zanluti e como fronteira a montante do rio temos a Rua Mandaguari.

4.3 DADOS BATIMÉTRICOS E TOPOGRÁFICOS

Os dados batimétricos utilizados no modelo baseiam-se nos dados extraídos em pesquisa de campo de Milani (2001), o mesmo retratou o perfil de fundo do canal utilizando dados coletados em campo no período de dois meses. Podemos observar na Figura 12 o perfil gerado por Milani (2001) sobre uma distância de aproximadamente 500m em relação a sua foz.



FONTE: Milani (2001)

Para Milani (2001), nos primeiros 150 metros distantes da foz, os sedimentos marinhos são depositados em quantidades significativas em virtude da atuação efetiva das ondas, principalmente nos períodos de preamar e também pelo fato de o rio ter sido fixado por correntes guias sobre a faixa intermarés, alongando-o na direção do mar.

As correntes guias, segundo Milani (2001), funcionam como uma calha cujo nível é mais profundo que o nível médio da praia. Na Figura 13 podemos observar os sedimentos marinhos depositados durante os períodos de preamar, quando a maré apresenta taxa de energia elevada. Observa-se que os sedimentos são transportados, fazendo o rio ocupar toda a sua calha. Portanto, para fins de modelagem, foi aplicado uma declividade constante nos pontos.

FIGURA 13 – ENCONTRO ENTRE O MAR E O RIO MATINHOS EM PERÍODO DE MARÉ ALTA (a) E BAIXA (b)



FONTE: Autor (2019)

Os dados referentes à topografia da região foram atribuídos baseados em pesquisas de campo atribuídos por Milani (2001), correlacionados com dados fornecidos pelo laboratório de topografia do CPP/UFPR. Os dados adquiridos foram ambos referenciados pelo aplicativo *Global Mapper*, assim forma ambos referenciados a coordenada UTM *datum* WGS84.

4.4 HIDROLOGIA E NÍVEL DE MARÉ

Para estudo o hidrológico, foram atribuídos dados obtidos pelo SIMEPAR, onde o mesmo apresenta um estudo de micro drenagem da bacia do rio Matinhos. Para o cálculo da vazão de pico, o referenciado estudo utiliza como equação o Método Racional, podendo então estabelecer a vazão de projeto para a região drenada. O TR (tempo de retorno) adotado no estudo foi de 03 anos, por se tratar de um estudo de micro drenagem. Segundo o SUDERHSA (2002), o tempo de retorno de uma rede de micro drenagem, deve variar de 2 a 10 anos. Salienta-se que a falta de dados hidrológicos da região, pois a estação de monitoria do INMET mais próxima fica em Paranaguá aproximadamente 60km da bacia de drenagem do rio Matinhos, dificultando a criação de uma serie longa de dados hidrográfico. A Tabela 01 ilustra os valores dados como vazão de projeto.

TABELA 1 – DADOS DE ENTRADA DE VAZÃO DE CHUVA SOBRE O CANAL DE DRENAGEM

	Local	Comprimento [m]	TR [ano]	Vazão [m ³ / s]
A	Canais Rio Matinhos	3,439	03	27,53
B	Canal Milome	3,284	03	17,43
C	Sub Bacia Rio da Onça	3,465	03	13,02
D	Sub Bacia Canal DNOS II	5,066	03	22,50

FONTE: SIMEPAR (2012)

As localizações das descargas de água, podem ser visualizadas na Figura 14.

FIGURA 14 – LOCALIZAÇÃO DAS VAZÕES ADJACENTES AO MODELO, (A) SUB BACIA RIO DA ONÇA, (B) CANAL MILOME, (C) CANAL DNOS II



FONTE: Autor (2019)

Os dados referentes à altura de maré foram referenciados a cota do IBGE, os registros encontrados sobre a variação de maré da DHN não foram utilizados pois a régua da DHN não está referenciada ao IBGE, mas sim a marcos próprios. Logo os valores de maré serão simulados levando em consideração a cota 0 do IBGE no modelo hidrodinâmico.

A maré na região sul do Brasil é do tipo sem diurna com desigualdades diurnas, com isso ocorrem duas preamares e duas baixa-mares por dia, com amplitudes diferentes, sendo as amplitudes normais do tipo micro maré, em torno de 1,0 m. As amplitudes nas marés de sizígia são inferiores a 2 m (em geral as máximas chegam a 1,50 m) e nas marés de quadratura inferiores a 0,65 m (ÂNGULO, 2016 citado por ASSUNÇÃO, 2017).

4.2 RUGOSIDADE ADOTADA

Para definir um valor de rugosidade para o modelo, buscou-se na literatura valores a fim de prever parâmetros para o estudo em questão. Na literatura encontra-se um grande número de tabelas, obtidas a partir de ensaios e medições de campo, permitindo a estimativa do coeficiente de rugosidade de Manning. Para tal a tabela utilizada para este modelo baseada no livro do Porto (FIGURA 03).

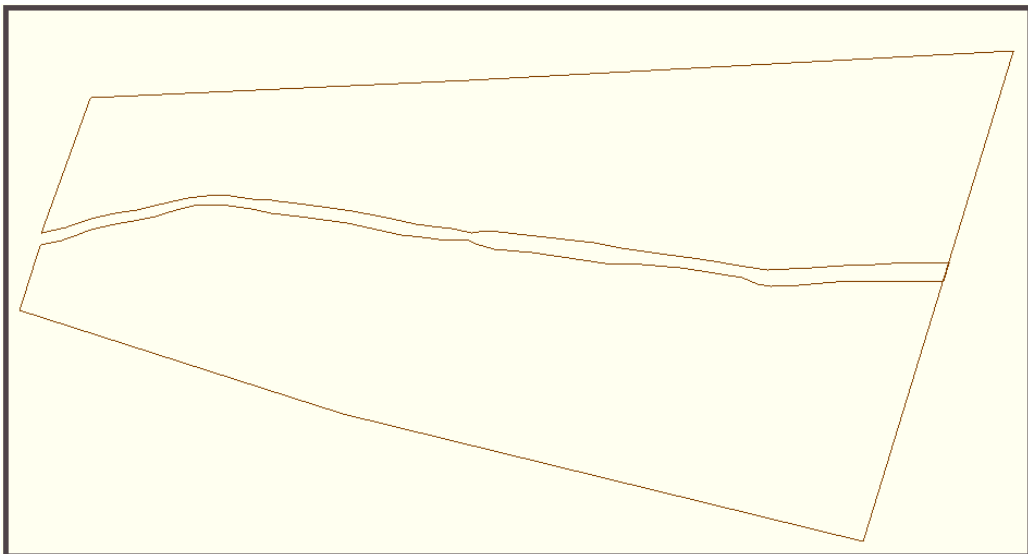
O valor adotado para o rio foi $0,03 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ definida pelo fato de o rio apresentar retilinidade, vegetação e uma inclinação dos taludes com inclinação suave em alguns pontos. Já para as áreas adjacentes, foi definido $0,07 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ por apresentar locais sem estruturas construídas, locais com vegetação e regiões abertas, livres para o escoamento.

5 METODOLOGIA

5.1 MODELO GEOMETRICO DA ÁREA DE ESTUDO

Utilizando imagens do Google Earth, foi possível delimitar a região de estudo (FIGURA 11). Baseando-se no contorno foi então gerado com a ferramenta RGFGRID a delimitação da área de interesse (FIGURA 15). Uma vez elaborado os limites, foi possível criar a grade numérica de forma curvilínea acompanhando os contornos gerados.

FIGURA 15 – LANDBOARD DA POLIGONAL DO RIO MATINHOS NO DELFT3D



FONTE: Autor (2019)

A dimensões da grade gerada para esta modelagem é apresentada na Tabela 02. Nota-se uma grande concentração de grade na região delimitada pelo rio, isto porque, a região de interesse no estudo é baseada na influência gerada por este, logo, os dados ali gerados devem ser mais refinados que os dados altimétricos da região.

TABELA 2 – DIMENSÕES DA GRADE GERADA

* Deltares, RGFGRID Versão 5.05.00.59149 (Win64), Nov 13 2018, 21:19:05

* Arquivo criado em: 2019-11-25, 15:28:18

Dimensão atual da grade regular:

Número de células na direção M : 100

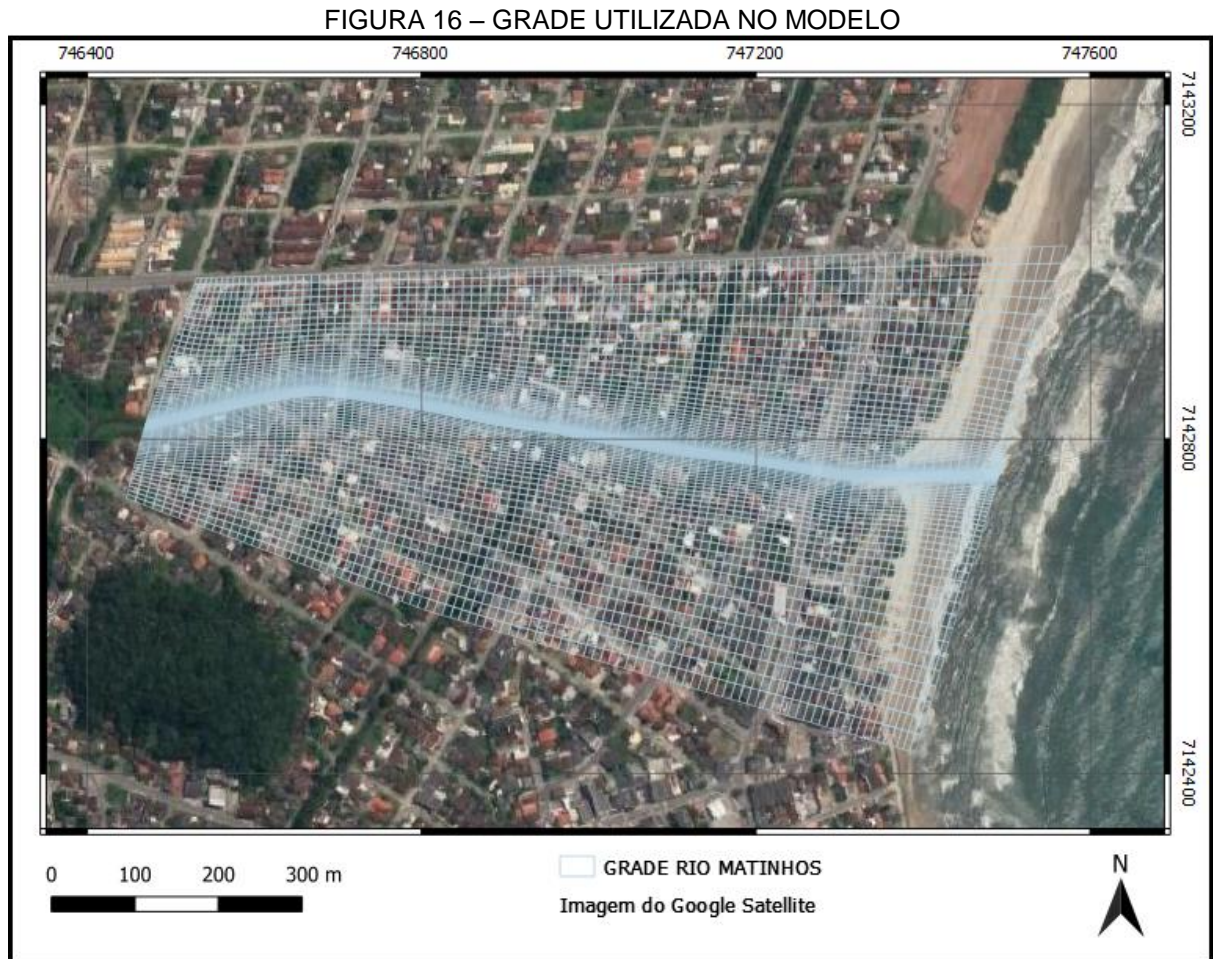
Número de células na direção N: 90

Elementos de grade: 9000

FONTE: Autor (2019)

Os valores M e N de grade gerados são coordenadas locais do sistema de grade, tendo sua origem no centro inferior esquerdo, M aumentando em direção a leste e N na direção norte.

De forma a facilitar a visualização da grade a Figura 16 apresenta a grade gerada no rio Matinhos, assim como a região adjacente ao estudo.



FONTE: Autor (2019)

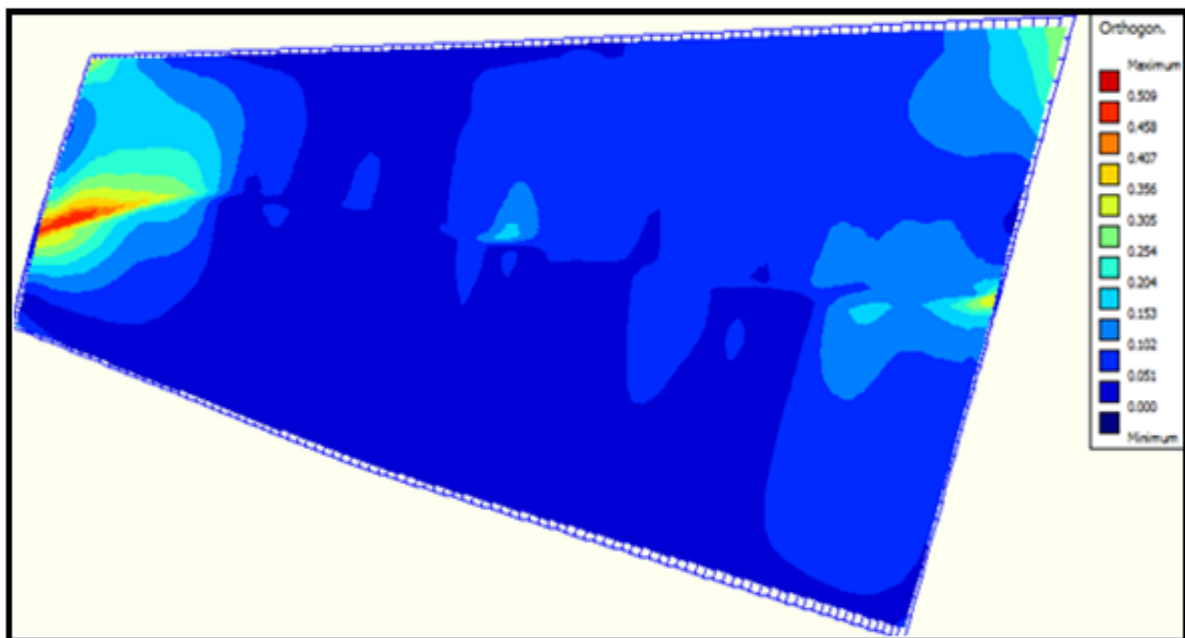
5.1.1 Qualidade da Grade Numérica

Dentro da ferramenta RGFRID, existem parâmetros os quais devem ser observados antes de se terminar a criação da grade, o parâmetro adotado neste trabalho, a ortogonalidade.

A medida de ortogonalidade utilizada pelo Delft3D é o ângulo, ou o cosseno do ângulo, entre as linhas de grade nas direções M e N. O erro na direção do gradiente de pressão é proporcional ao valor do cosseno desviado de zero, parâmetros de referencial para ortogonalidade são definidos pelo Delft3D, para o presente trabalho

foi considerado 0 como sendo ótimo e 1 não-ortogonal. Pelo fato da malha ser curvilínea, o modelo apresentou (FIGURA 17) valores ortogonais inferiores a 0,6, sendo considerada uma boa ortogonalidade para o modelo em questão. Nota-se uma grande variação na ortogonalidade no ponto onde o rio inicia uma curva gerando inconsistência na ortogonalidade da grade. O refinamento na grade do rio tornou pontos ângulos na grade curvilínea, gerando assim dados um pouco mais elevados de ortogonalidade.

FIGURA 17 – ORTOGONALIDADE DA GRADE GERADA NO RGFGRID

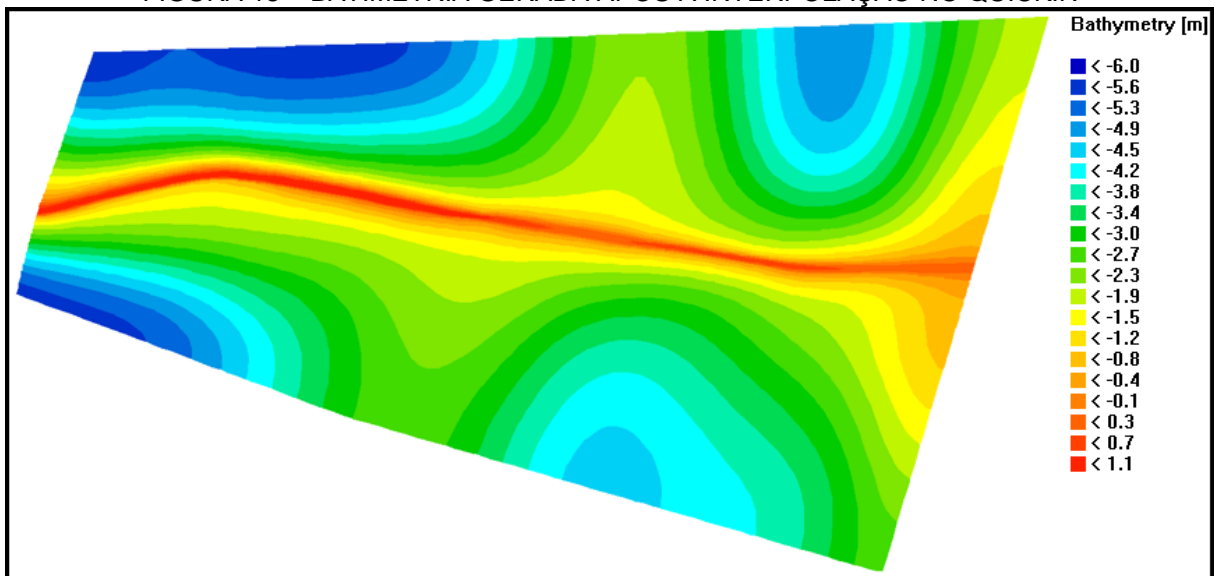


FONTE: Autor (2019)

5.1.2 Malha Batimétrica

Para elaboração da grade da batimétrica e topográfica, foram utilizados os dados descritos no subcapítulo 4.3. Após refinar a grade e obter uma grade numérica satisfatória foi possível utilizar a ferramenta QUICKIN para conseguir interpolar os dados batimétricos e altimétricos da região. Para realizar a interpolação dos dados, foram utilizados os métodos de interpolação triangular, média entre células adjacentes e difusão interna, ferramentas que estão disponíveis no Delft3D. Desta forma foi possível obter os seguintes dados (FIGURA 18), sendo dados positivos relacionados à batimetria da região e dados negativos referente à altimetria, topografia da região de interesse.

FIGURA 18 – BATIMETRIA GERADA APÓS A INTERPOLAÇÃO NO QUICKIN



FONTE: Autor (2019)

Nota-se que a batimetria gerada permite a distinguir a região da calha do rio. Também é possível observar duas áreas adjacente ao rio com cotas muito baixas. Na Figura 08 é possível ver que estas cotas são referenciadas a dois canais de drenagem, Canal Milome e DNOS II, assim estas são possíveis áreas de inundação ao modelo.

5.1.3 Passo de Tempo

A verificação do número de *Courant* descrito no item 3.1.2, se deu pela ferramenta QUICKIN, o qual apresenta as variações de forma gráfica, sendo possível analisar diversos passos de tempo. Neste estudo o passo de tempo adotado foi de 0,1 min.

Os valores de *Courant* para o rio apresentam um valor um pouco mais elevado em relação a grade, isto devido ao seu número ser uma relação entre profundidade e espaçamento da grade, logo o detalhamento feito a grade e a batimetria variável torna o seu valor um pouco mais elevado, mesmo assim os valores encontrados satisfazem os parâmetros adotados.

5.2 MODELO HIDRODINÂMICO

Definida a geometria do modelo é possível estabelecer os parâmetros físicos adotados, as condições de contorno, os dados de entrada para cada simulação, assim como as condições utilizadas no modelo.

5.2.1 Condições Iniciais

Os valores constantes utilizados nas simulações estão descritos na Tabela 03.

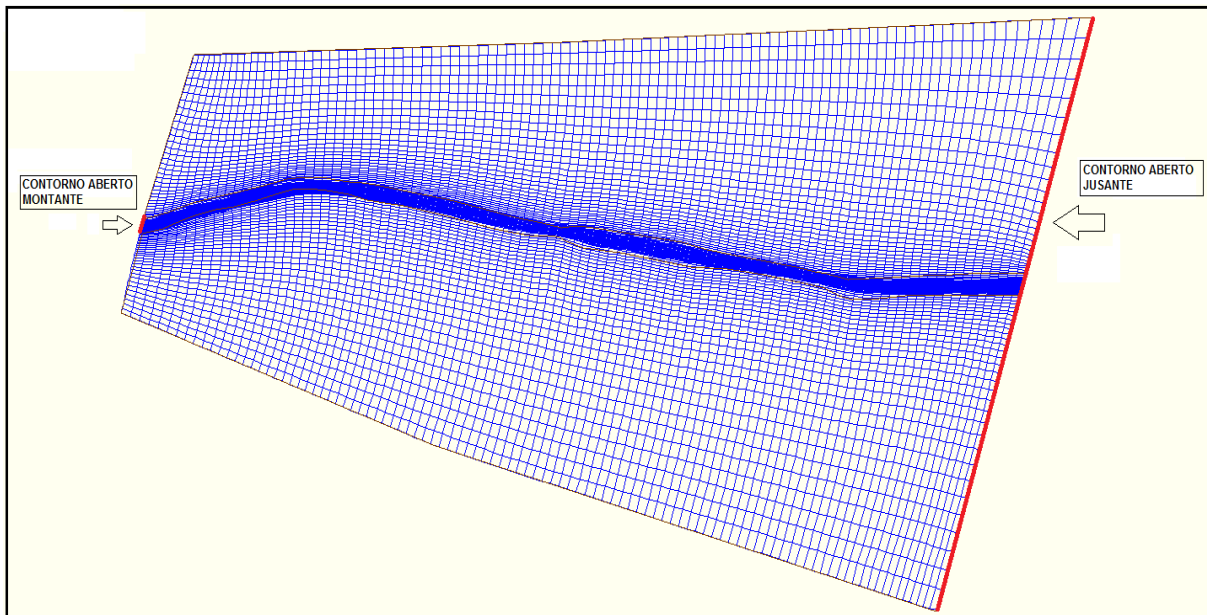
Gravidade	9,81 m ² /s
Densidade da água	1021 Kg/m ³
Viscosidade Turbulenta Horizontal	0,1 m ² /s
Rugosidade Uniforme “Manning” Rio	0,03 m ^{1/3} /s
Rugosidade Uniforme “Manning” Área Adjacente	0,07 m ^{1/3} /s

FONTE: Autor (2019)

5.2.2 Condições de Contorno

Devido a área de estudo ser delimitada por uma região costeira de águas rasas, dominada por fenômenos de maré, não tendo a influência de estruturas hidráulicas, o comportamento do fluxo foi considerado predominantemente bidimensional. O modelo apresenta as fronteiras fechadas nos limites territoriais e abertas no limite oceânico e na vazão do rio (FIGURA 19). Para a fronteira com o oceano foi delimitada como *Water Level* ou “nível da água”. Já para fronteira a montante do rio foi delimitado como *Total Discharge* ou “descarga total”.

FIGURA 19 – CONTORNO ABERTO – OPEN BOUNDARIES



FONTE: Autor (2019)

5.3 CENÁRIOS SIMULADOS

Neste trabalho foram realizadas simulação permanentes e não - permanentes correspondente a vazões referente a drenagem e a níveis de maré astronômica. Os cenários foram dimensionados da seguinte forma:

- **Cenário 01** – Padrões gerados pela forçantes da maré;
- **Cenário 02** – Padrões gerados pela vazão de pico do rio Matinhos;
- **Cenário 03** – Padrões gerados pela vazão de pico do rio Matinhos adicionando as vazões adjacentes;
- **Cenário 04** – Adotado um valor fixo de maré e com introdução das vazões sobre o rio;

5.3.1 Cenário 01

Para estabelecer a relação nível de maré e índice de enchente, a simulação foi realizada para observar a qual ponto teríamos uma cota de enchente, ou seja, em qual ponto a maré obtém nível da calha, sem que ocorra o transbordamento da mesma. A simulação foi realizada de forma permanente, ou seja, as variações de maré não apresentam variações nos dados de entrada ao longo do tempo, mantendo os mesmos valores durante a simulação.

TABELA 4 – NÍVEL DE ÁGUA UTILIZADO NO MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE ENCHENTE.

		Passo de tempo [dd mm aaaa hh mm ss]	Tempo [min]	Nível da água [m]
A	Início	20 11 2019 00 00 00	0,1	1,0
	Fim	20 11 2019 06 00 00	0,1	1,0
B	Início	20 11 2019 00 00 00	0,1	1,5
	Fim	20 11 2019 06 00 00	0,1	1,5
C	Início	20 11 2019 00 00 00	0,1	2,0
	Fim	20 11 2019 06 00 00	0,1	2,0
D	Início	20 11 2019 00 00 00	0,1	2,5
	Fim	20 11 2019 06 00 00	0,1	2,5

FONTE: Autor (2019)

Desta forma é possível estabelecer a altura da cota de enchente do rio, que será a principal condição de contorno nos próximos cenários.

5.3.2 Cenário 02

De forma a simular uma determina chuva, foi definido a cota de enchente a qual será adotada como condição de contorno a simulação, uma cota fixa simulando o pior cenário para a entrada de maré. A vazão adotada para simulação, no estado permanente, foi determinada pela Tabela 05, para este cenário adotou-se a vazão a montante, referenciada como entrando no canal Matinhos, acrescida da sub bacia do Rio da Onça, atribuídos ao contorno aberto a montante do rio.

TABELA 5 – PARÂMETROS UTILIZADOS CENÁRIO 02

	Passo de tempo [dd mm aaaa hh mm ss]	Tempo [min]	Maré [m]	Vazão [m³/s]
Início	20 11 2019 00 00 00	0,1	1,5	40,60
Fim	20 11 2019 06 00 00	0,1	1,5	40,60

FONTE: Autor (2019)

5.3.3 Cenário 03

Para determinar o pior cenário possível, foi estabelecido a entrada das vazões adjacentes ao canal, disponíveis na Tabela 01, acrescidos da condição de contorno de maré, admitida no cenário 01. A simulação se deu de forma permanente onde foi introduzida a vazão final estabelecida no projeto. A vazão adotada como total nesta simulação foi dada pela contribuição da vazão a montante acrescida das vazões

adjacentes (canal Milome e canal DNOS II), como na Figura 12, não sendo então toda a vazão referente a montante do canal de drenagem.

TABELA 6 – PARÂMETROS UTILIZADOS CENÁRIO 03

	Passo de tempo [dd mm aaaa hh mm ss]	Tempo [min]	Maré [m]	Vazão [m ³ /s]
Início	20 11 2019 00 00 00	0,1	1,5	80,60
Fim	20 11 2019 06 00 00	0,1	1,5	80,60

FONTE: Autor (2019)

5.3.4 Cenário 04

Neste cenário o escoamento transiente foi simulado. Como condição inicial, ou de contorno, atribuímos a mesma maré dos cenários anteriores, na cota de enchente. Desta forma foi possível observar a qual vazão se tem o determinando ponto de inundação.

TABELA 7 – DETERMINAÇÃO DA VAZÃO ATRIBUÍDA A MONTANTE DO RIO MATINHOS FRONTEIRA ABERTAS

	Passo de tempo [dd mm aaaa hh mm ss]	Maré [m]	Vazão [m ³ /s]
Início	20 11 2019 00 00 00	1,5	00,00
	20 11 2019 02 00 00	1,5	10,15
	20 11 2019 04 00 00	1,5	20,30
	20 11 2019 06 00 00	1,5	30,43
	20 11 2019 06 30 00	1,5	40,60
Fim	20 11 2019 07 00 00	1,5	40,60

FONTE: Autor (2019)

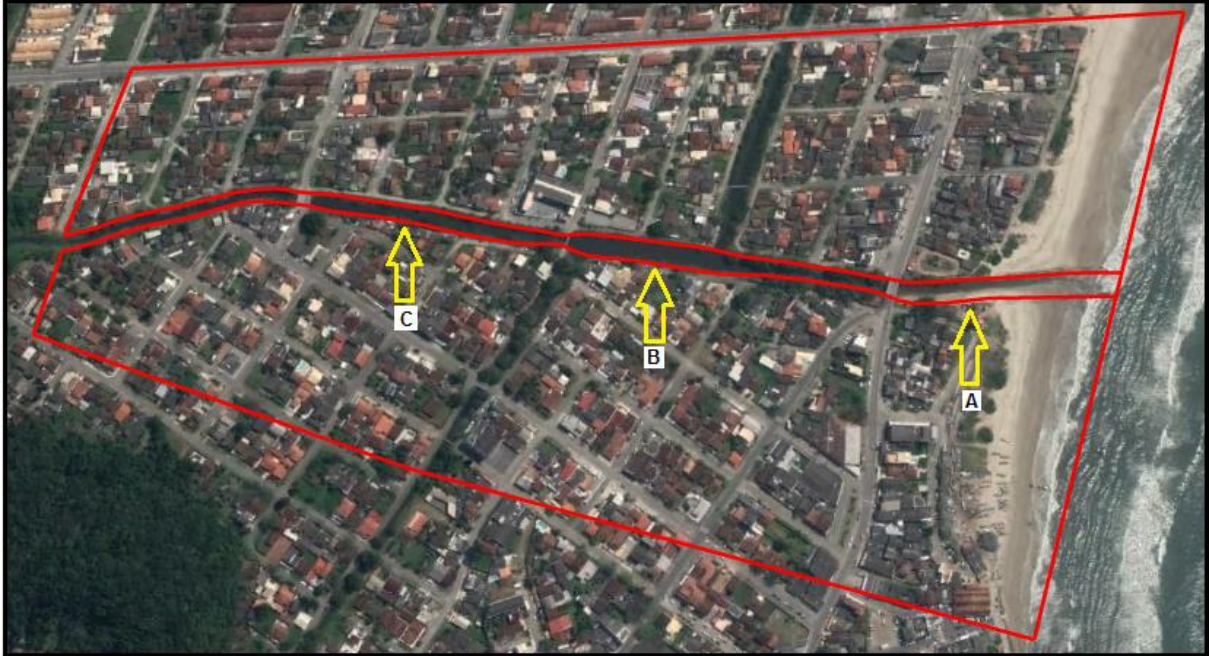
TABELA 8 – DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES REFERENTE AO CANAL MILOME E DNOS II DESCARGA CANAIS ADJACENTES

	Passo de tempo [dd mm aaaa hh mm ss]	Milome [m ³ /s]	DNOS II [m ³ /s]
Início	20 11 2019 00 00 00	00,00	00,00
	20 11 2019 02 00 00	10,00	12,50
	20 11 2019 04 00 00	10,00	12,50
	20 11 2019 06 00 00	17,43	22,50
	20 11 2019 06 30 00	17,43	22,50
Fim	20 11 2019 07 00 00	17,43	22,50

FONTE: Autor (2019)

De forma a evidenciar as elevações do nível da água foram acrescentados três pontos de observação (FIGURA 20), assim é possível observar a real elevação do nível da água.

FIGURA 20 – PONTO DE OBSERVAÇÃO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA



FONTE: Autor (2019)

O ponto A a jusante do canal próximo ao oceano, o ponto B entre os rios DNOS II e Milome e o ponto C entre a ponte da rua Iguaçu e a ponte da rua Apucarana, ambos os pontos se localizam no meio do canal.

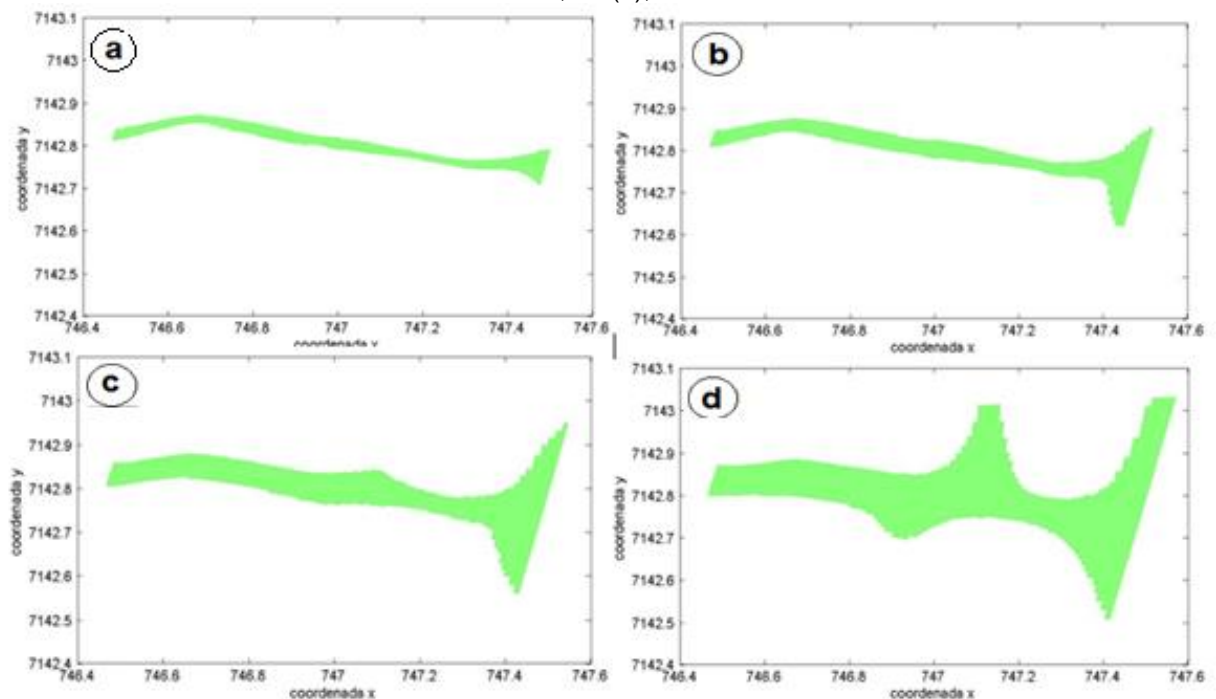
6 RESULTADOS

Os resultados obtidos junto ao modelo, não apresentam calibração ou algum tipo de validação, os dados de inundação descritos neste projeto, têm caráter qualitativo e informativo. A seguir estão expostos os resultados obtidos nas simulações realizadas.

6.3 CENÁRIO 01

Para obtenção dos dados referentes a cota de inundação do rio Matinhos foram realizadas simulações com níveis de maré. Os resultados obtidos estão descritos abaixo.

FIGURA 21 – SIMULAÇÃO 01 - MARÉ A 1,0m (a), MARÉ A 1,5m (b), MARÉ A 2,0m (c), MARÉ A 2,5m (d),

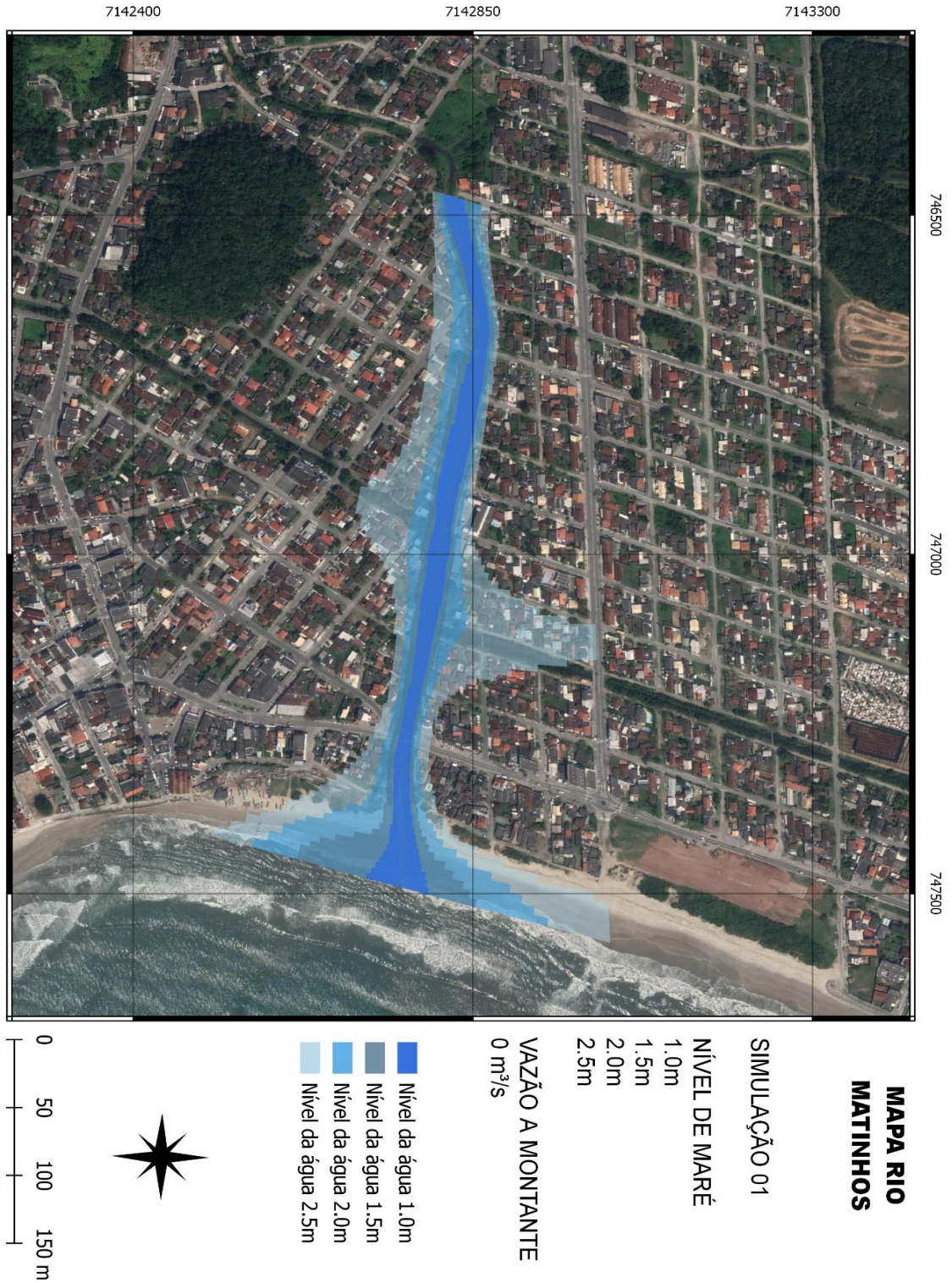


FONTE: Autor (2019)

Analisando as imagens pode-se avaliar as simulações a fim de estabelecer uma cota de inundação. Com o nível de maré a 1,0m (cota do IBGE) temos que a entrada de maré não ocasionou o transbordamento da calha, assim como a cota de 1,5m. Para uma melhor compreensão, observe a Figura 22. A Sobreposição das

imagens ilustra que a cota de maré a 1,5m ocupa toda a calha do rio, sendo então esta cota estabelecida como cota de enchente.

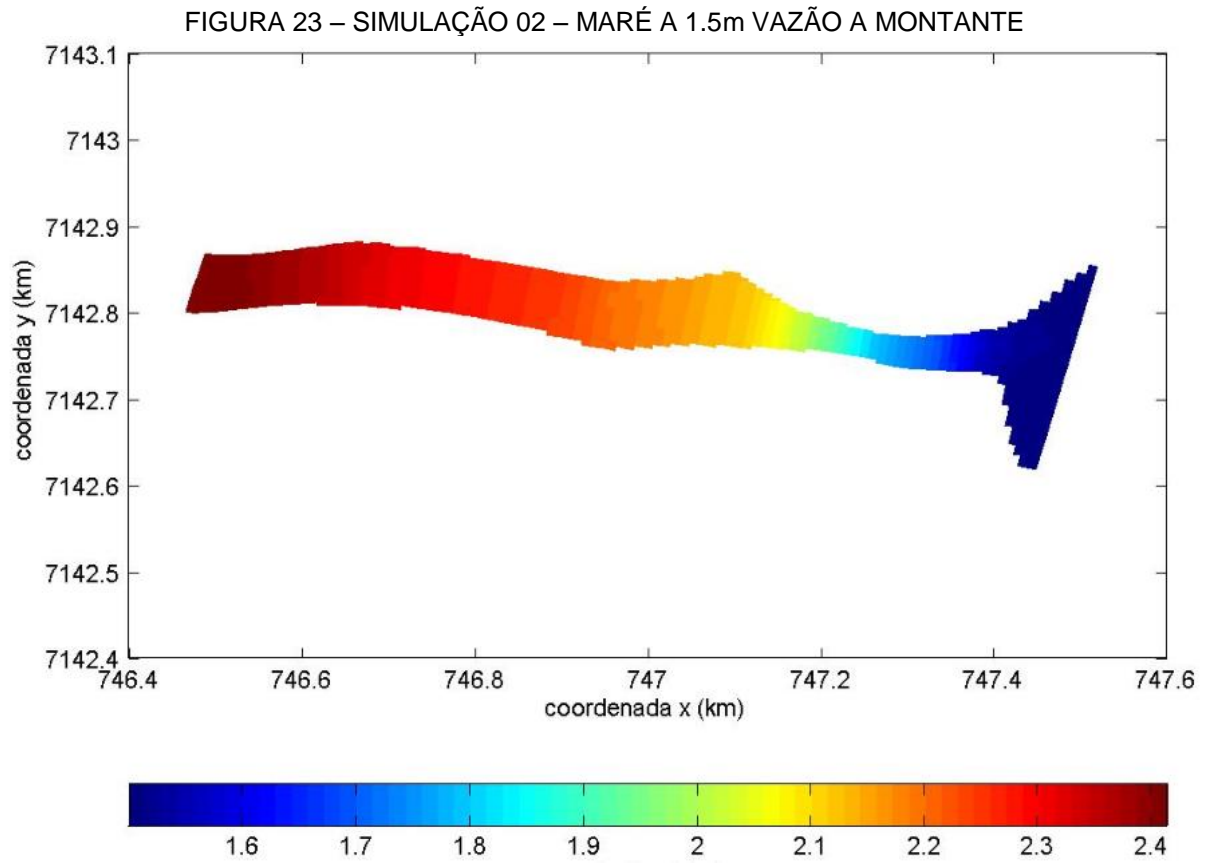
FIGURA 22 – SIMULAÇÃO 01 – SOBREPOSIÇÃO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO



FONTE: Autor (2019)

6.4 CENÁRIO 02

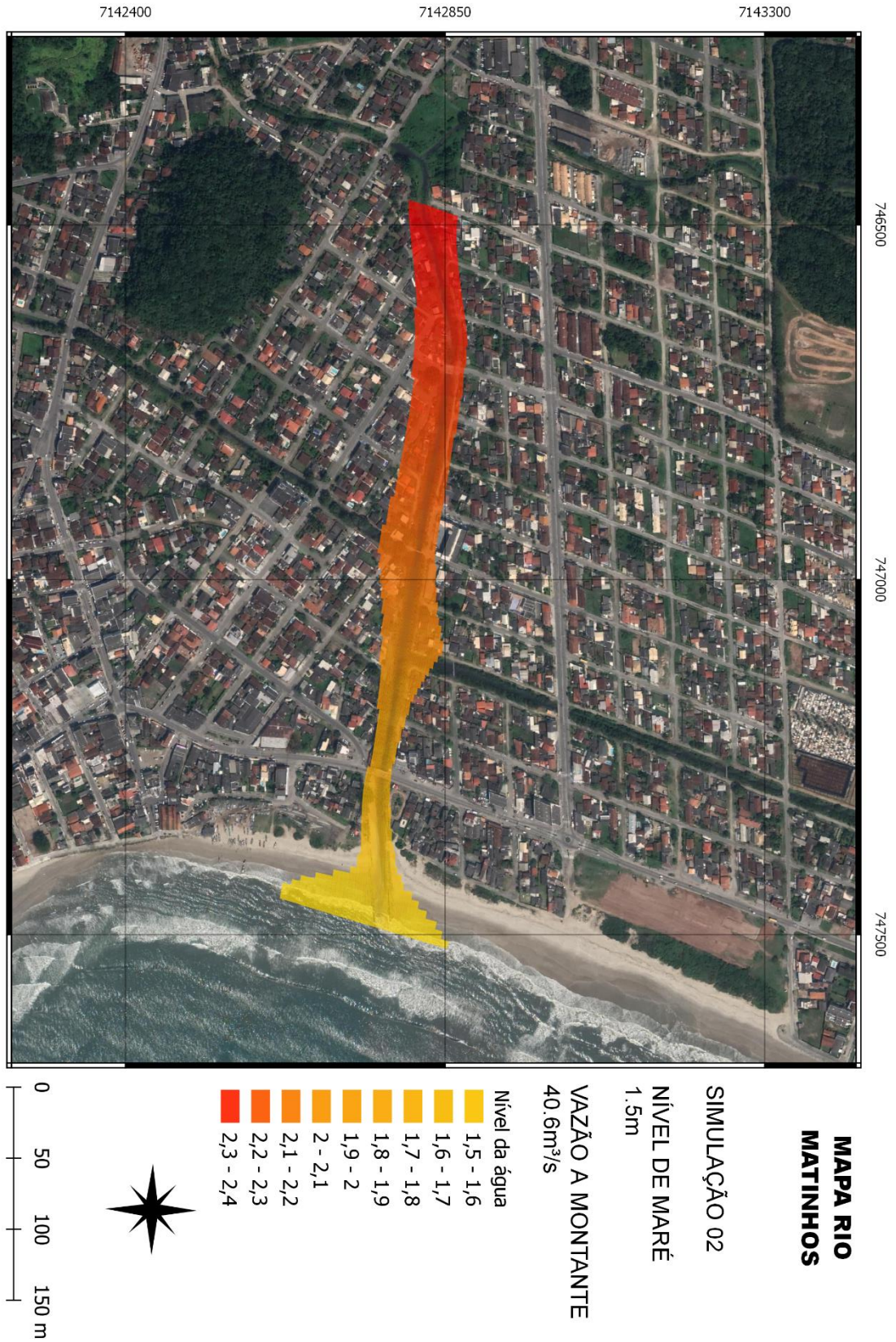
A simulação permanente realizada com a maré no ponto fixo e a vazão de pico referente a sub bacia do Rio da Onça e a vazão referente ao rio Matinho apresentou a relação mostrada na Figura 23.



FONTE: Autor (2019)

De forma a avaliar os resultados referentes as áreas de inundação obtém-se a situação apresentada na Figura 24.

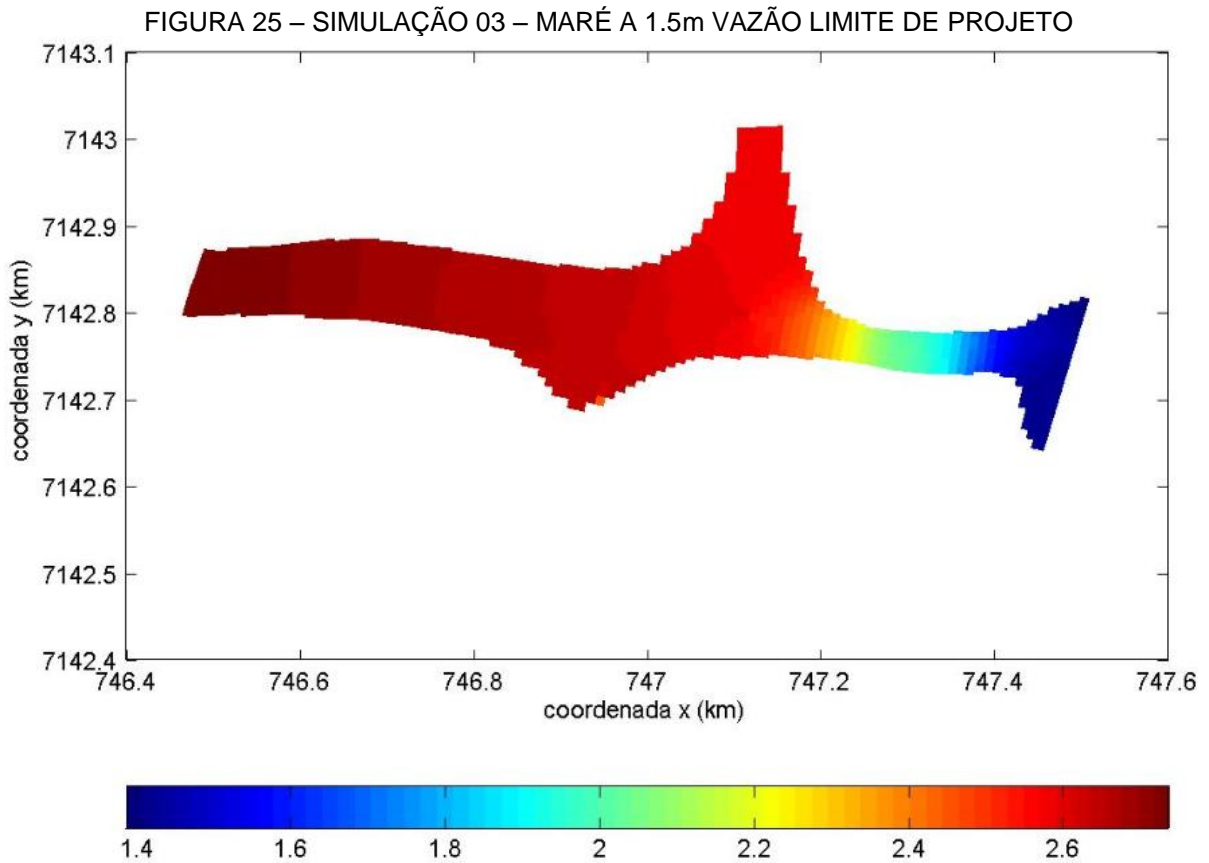
FIGURA 24 – SIMULAÇÃO 02 – ÁREA DE INUNDAÇÃO



FONTE: Autor (2019)

6.5 CENÁRIO 03

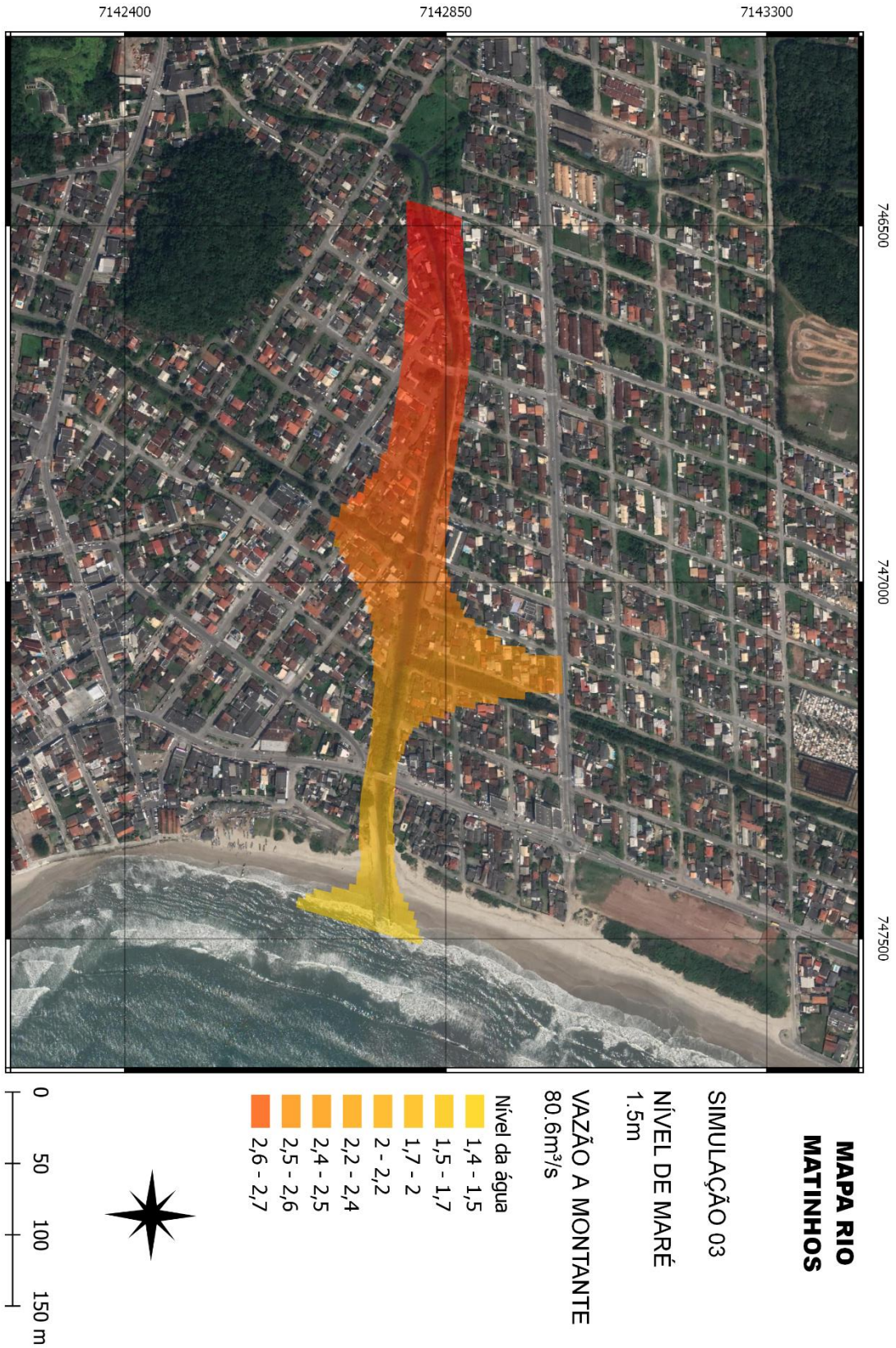
A simulação de forma permanente realizada com a maré no ponto fixo e a vazão de pico referente as sub bacias drenadas pelo rio Matinhos, apresentou os seguintes resultados (FIGURA 25).



FONTE: Autor (2019)

De foram a avaliar os resultados referente as áreas de inundação obtemos a seguinte situação. A Figura 26 ilustra nas margens o transbordamento da calha e as áreas de inundação.

FIGURA 26 – SIMULAÇÃO 03 – ÁREA DE INUNDAÇÃO

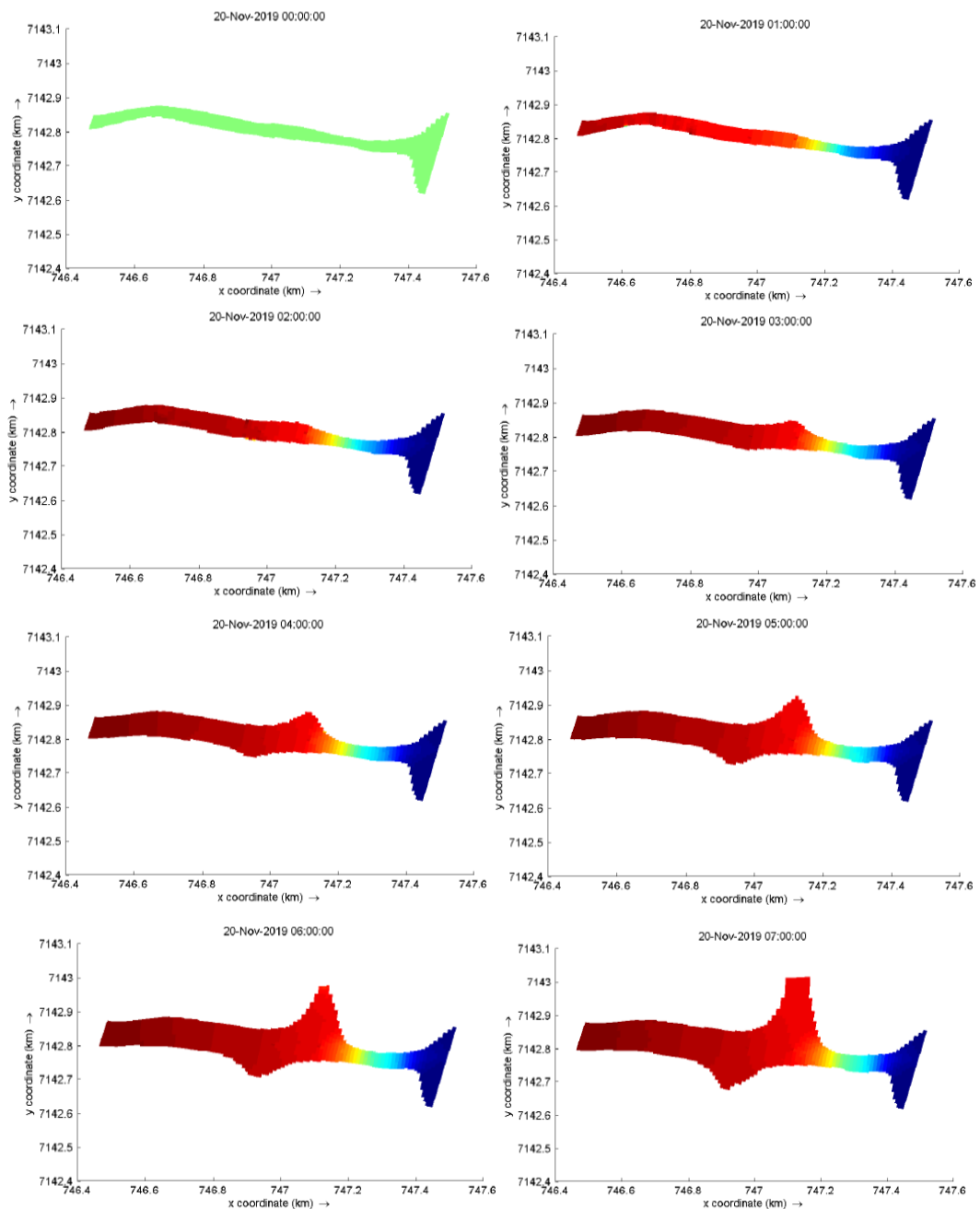


FONTE: Autor (2019)

6.6 CENÁRIO 04

A simulação feita neste cenário de forma não permanente, utilizou as condições de contorno referenciadas no capítulo 5, e com a maré constante a 1,5m. A simulação ocorreu durante um período de tempo de 7 horas, sendo adicionado 4 pontos de observação para estudar a variação do nível do rio. Os resultados podem ser observados na Figura 27.

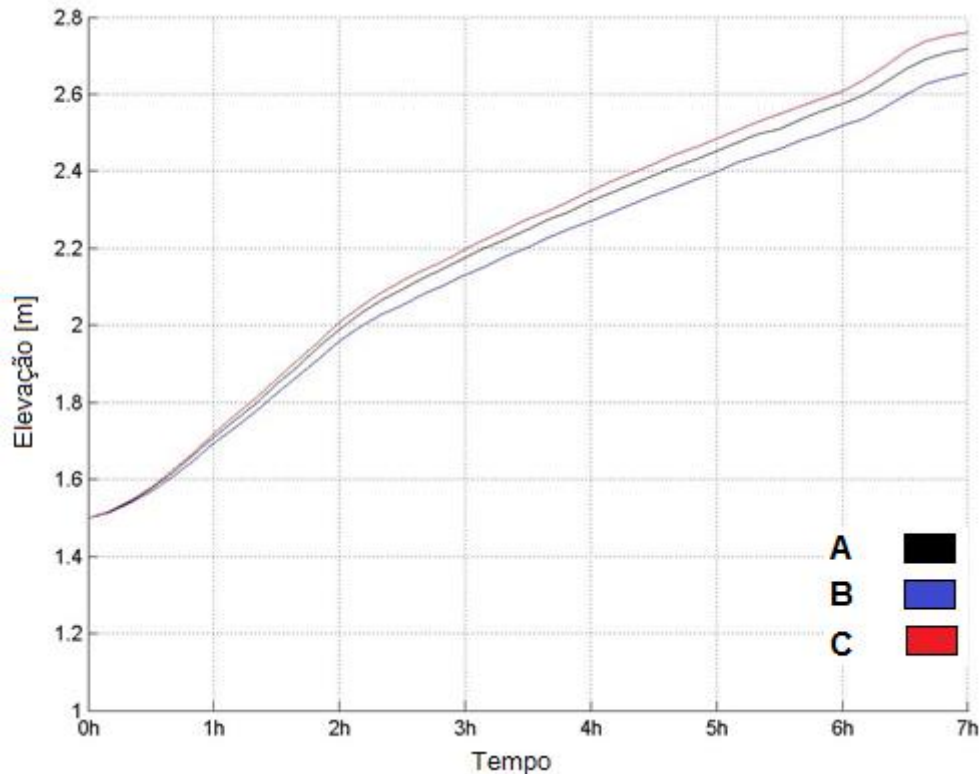
FIGURA 27 – SIMULAÇÃO 04 – VARIAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA NO TEMPO



FONTE: Autor (2019)

Na Figura 28 tem-se a elevação (eixo y) em função do tempo (eixo x) nos três pontos de observação.

FIGURA 28 – ELEVAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA

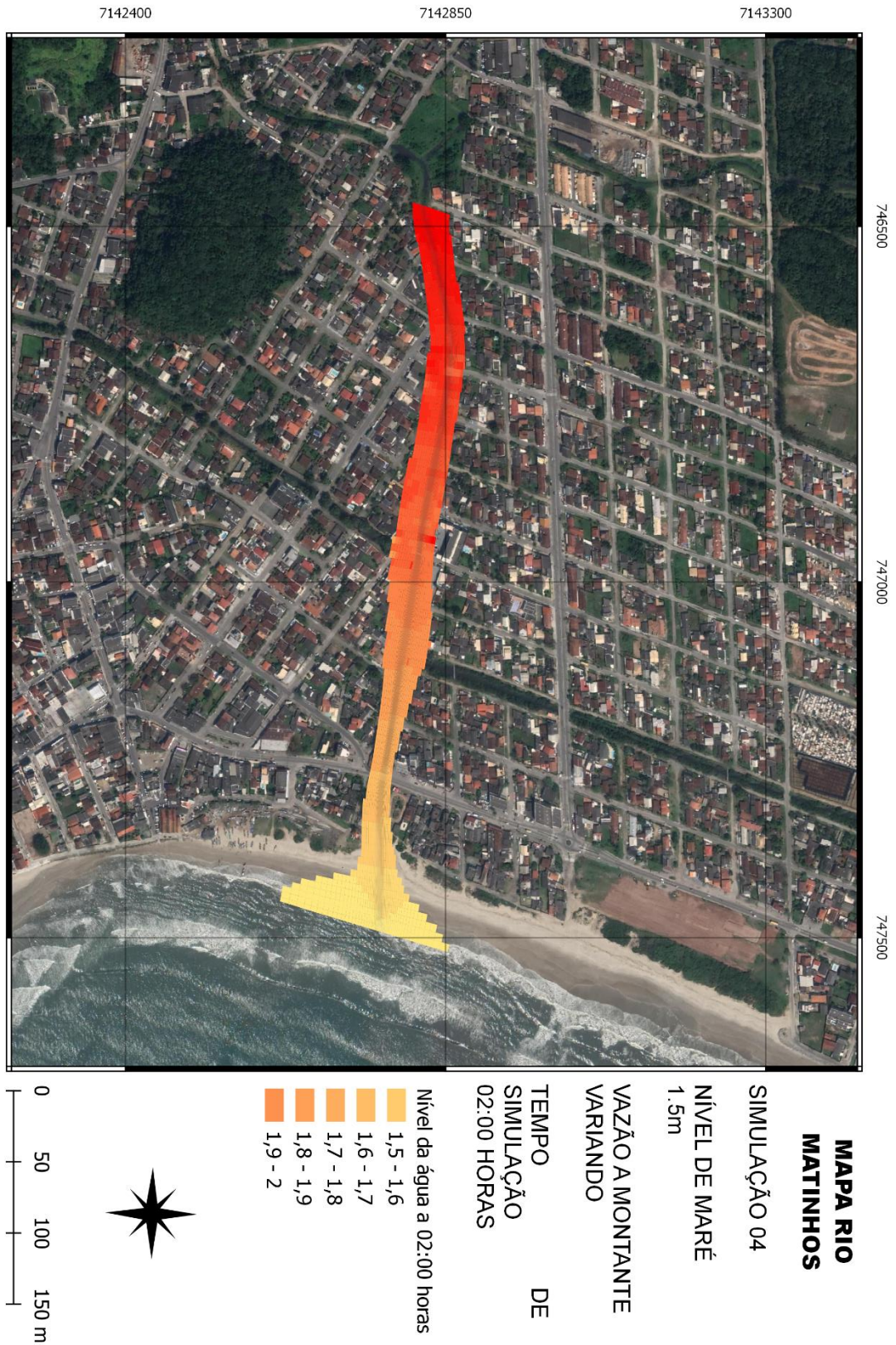


FONTE: Autor (2019)

Pode-se observar que, com a variação a montante do rio a um nível fixo de maré, ocorreu uma elevação de aproximadamente 1,0m de coluna d'água. Ao observar a batimetria do canal observa-se que as cotas nas margens do rio (FIGURA 18) situam-se entre 1,5m a 2,0m, logo acrescentando no pior caso estudado 1,0m de coluna d'água o índice de enchente se torna alarmante.

Com a mesma imagem, pode-se estabelecer que após 2h de simulação a elevação da água, nos três casos apontados, ficam na cota dos 2,0m ou seja, próximo das maiores cotas topográficas da região, assim podemos estabelecer que a cota de inundação para as áreas observadas se torna crítica após este período. Logo podemos acrescentar que existe risco real de inundação, quando as vazões do canal Milome e do canal do DNOS II estiver próximo a 22,50m³/s acrescido da vazão do rio Matinhos próximo a 10,15m³/s. Na Figura 29 pode-se observar a simulação realizada a 2h de simulação.

FIGURA 29 – SIMULAÇÃO 04 - 02:00 HORAS DE SIMULAÇÃO



FONTE: Autor (2019)

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi simulado um modelo bidimensional afim de estudar as possíveis áreas de inundação do rio Matinhos, principal canal de drenagem do município. Tendo-se obtido as vazões de projeto de micro drenagem da região que apresenta o rio Matinhos como única descarga para o oceano, foi possível observar uma relação entre os cenários simulados, de forma a estabelecer as principais áreas de inundação e os valores limites de vazão e maré.

Avaliou-se que a uma maré astronômica a possibilidade de inundação é muito alto e amplifica ainda mais quando se acrescenta os dados de chuva da região. A região próxima ao rio está vulnerável a inundação tanto pelo efeito marítimo quanto pelo efeito fluvial, para a literatura esta região denomina-se leito maior do rio.

A proporção de danos de uma inundação está diretamente ligada a ocupação desorganizada e irregular da região que deve ser considerada, baseando-se nos resultados obtidos, área do leito do rio, muito suscetível a inundação. Ressalta-se que no presente estudo não foram levados em consideração dados como poluição, assoreamento, ocupações irregulares, entre outros elementos e situações que influenciam diretamente num estudo de inundabilidade, logo o risco a inundação é maior para a região de estudo.

O presente estudo teve uma abordagem qualitativa afim de, através de informações existentes sobre a região, estabelecer dados para a construção de um projeto de inundabilidade, que constantemente sofre com as frequentes cheias. Para este trabalho considerou-se o fluxo bidimensional, uma batimetria interpolada por dados retirados em diferentes medições, um estudo topográfico também interpolado por dados de diferentes autores, uma relação hidrológica com uma TR muito baixa. Logo todas as interpolações e falta de dados podem ter gerado um índice de erro para com os resultados.

Desta forma recomenda-se para um próximo estudo de inundabilidade da região da desembocadura do rio Matinhos:

- Um estudo detalhado sobre os índices de maré sobre a região, levando em consideração as variações climatológicas dos últimos anos.
- Um levantamento topográfico e batimétrico do rio e de seu entorno, podendo então gerar um alerta de inundabilidade com dados precisos.

- Realizar um estudo hidrológico da região de interesse com diferentes tempos de retorno.
- Calibrar e validar o modelo a ser utilizado e simular novos cenários de forma a compreender a real possibilidade de inundação das áreas adjacentes.

REFERÊNCIAS

AMPLA. **Diagnóstico dos sistemas da Prefeitura Municipal de Matinhos**. Matinhos – PR. 2012.

ASSUNÇÃO, A. A. L. **Quantificação da erosão costeira e balanço sedimentar da praia de Brejatuba no município de Guaratuba – Pr**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Geologia da Universidade Federal do Paraná) Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2017

AZENHA, T. D. **Efeitos da ponte Eurico Gaspar Dutra na morfologia do rio Paraguai**. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2014

CHOW, V.T. – **Open Channel Hydraulics**. Nova Yourk: Mc Graw-Hill Book Company, 1959. 680 p.

DELTARES, **Delft3D FLOW User Manual**. Holanda: deltares. Version 5.00 144p. 2019

DELTARES, **Delft3D RFGGRID User Manual**. Holanda: deltares. Version 5.00 110p. 2019

DELTARES, **Delft3D QUICKIN User Manual**. Holanda: deltares. Version 5.00 140p. 2019

MELO, E. F. **Considerações sobre a hidráulica de canais fluviais e de canais de maré**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 3 n.2 Abr/Jun 1998, 95-107.

FEMA, **Programa Nacional de Seguro contra Cheias: Mapeamento de Perigos de Cheias**. Disponível em: <<https://www.fema.gov/national-flood-insurance-program-flood-hazard-mapping>> Acesso em: 02 de novembro de 2019.

GANDRA, A. **Cidades costeiras são mais vulneráveis a mudança do clima.** Agencia Brasil, Rio de Janeiro, 2017, jun 2017, Geral.

GOBIRA, A. B. **Modelagem Do Espalhamento De Óleo Em Águas Rasas.** Trabalho de conclusão de curso. (Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo) Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2008.

GOERL, R. F., KOBİYAM, E. M., PELLERIN, J. R. G. M. **Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de rio Negrinho – SC.** Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012

HORA, L. L. P. S., ALENCAR, M. H., JUNIOR. L. P. **Gerenciamento de riscos de enchentes e alagamentos: uma análise da literatura.** In: 35º Encontro nacional de engenharia de produção Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil. João Pessoa. 2016

IBGE. **Censo 2010 – Resultados Preliminares.** Brasília – Paraná, IBGE. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em agosto de 2010

IDOM-COBRAPÉ **Vulnerabilidade e risco ambientais. Prefeitura de Florianópolis.** Caderno 02. 190p Florianópolis. 2010

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Climatológicos da Estação de Paranaguá.** Brasília, DF: INMET, 2012. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>>. Acesso em: 10/10/2019.

KUTCHMA, C. **Enchentes: causa e efeito – Matinhos – Pr.** 2016. Trabalho de conclusão de curso. (Especialização em Questão Social na Perspectiva Interdisciplinar). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2016

LUCCHETTI, P. A. P. **Modelagem numérica da dispersão de pluma térmica em rios e canais.** 2018. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia

Química). Universidade Federal Fluminense. Departamento de Engenharia Química e de Petróleo. Rio de Janeiro. 2018.

MACHADO, B, M. **Modelagem Tridimensional da Dispersão de Poluentes em Rios**. Campinas, São Paulo, 2006.

MILANI, J. R. **Geomorfologia fluviomarina: Ocaso do rio Matinhos**. Tese (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2001

MILANI, J. R.; CANALI, N. E. **O sistema hidrográfico do rio Matinhos: uma análise morfométrica**. R. RA'EGA, Curitiba, n. 4, p. 139-152. 2000. Editora da UFPR.

OLIVEIRA, K. S. S. **Comportamento da Maré e das Correntes de Maré em um Sistema Estuarino utilizando o modelo Regional Ocean Modeling System (ROMS)**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal do Espírito Santo. 2010. Vitória. Espírito Santo. 2010

OLIVEIRA, H. A. **Aplicação do modelo numérico hidrodinâmico DELFT3D na baía de Guanabara**. Trabalho de conclusão de curso (Título de bacharel em Oceanografia). Centro Universitário Monte Serrat. 2009. Santos. São Paulo. 2009.

PARANÁ, Prefeitura Municipal. Plano Diretor Participativo e de Desenvolvimento Integrado – PDPDI – Matinhos, Paraná, Brasil: **AMPLA Municipal: Socioeconômico, Físico, Territorial – Caderno 1 de 2 (Proposta)**. Curitiba: 2006. 2006 a.

PARANÁ, Prefeitura Municipal. Plano Diretor Participativo e de Desenvolvimento Integrado – PDPDI – Matinhos, Paraná, Brasil: **AMPLA Municipal: Parcelamento do Solo Urbano – Caderno 2 de 2 (Proposta)**. Curitiba: 2006. 2006b.

PDITS. **Plano Diretor Participativo e de Desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável – Matinhos**. AMPLA Municipal Socioeconômico e Físico Territorial (2006)

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4ª ed. 540f. São Carlos. EESC-USP. 2006

REIS, P. A. **Identificação de áreas vulneráveis das enchentes e inundações urbanas através do modelo topográfico e hidráulico.** 2015. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Uberlândia. 2015

RIBAS, T. M. **Implementação de modelo numérico para estudo hidrodinâmico das baías de Antonina e de Paranaguá – Pr.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004

RIBEIRO, H.I. **Histórico da ocupação do balneário de Caiobá: um relato sob a perspectiva da história ambiental.** IV Encontro Nacional da Anppas. 2008. Brasília – DF.

ROCHA, G. H. M. **Morfodinâmica de desembocadura de sistemas estuarinos barrados: o caso do rio Pacoti – Ceara.** Tese (Mestrado em Análise Geo ambiental e Ordenação do Território nas Regiões Semiáridas e Litorâneas.) Fortaleza. Ceará. 2013.

SANCHO, F. **Processos Fluviais e Costeiros.** Introdução Hidrovia Fluvial. 2002. 5f. Disponível em <http://www.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/PFC_acetatos_01.pdf>. Acesso em: 02 de novembro de 2019

SANTOS, R.T.F. **Efeitos da subida do nível do mar na inundação costeira na costa leste do Brasil devido às mudanças climáticas.** Tese (Doutor em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2017

SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. **Processos Hidrológicos – inundações, enchentes, enxurradas e alagamentos na geração de áreas de risco.** Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para Prevenção e Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais. 06 de Outubro de 2008. Vitória / ES

SILVA, R. C. V.; MASCARENHAS, F. C. B.; MIGUEZ, M. G. **Hidráulica Fluvial – Volume I.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2007. 304 p.

SILVA, P.G. **Exposição à inundação costeira nas praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa, Florianópolis, SC.** Tese (Dissertação de Mestrado, Departamento de Geociências – CFH), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SIMEPAR Sistema Meteorológico do Paraná. **Projeto básico integrado de micro drenagem, macro drenagem e controle de erosão marinha.** Matinhos. 2007

SUDERHSA Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Manual de Drenagem Urbana.** Curitiba. Paraná. Dezembro 2002.

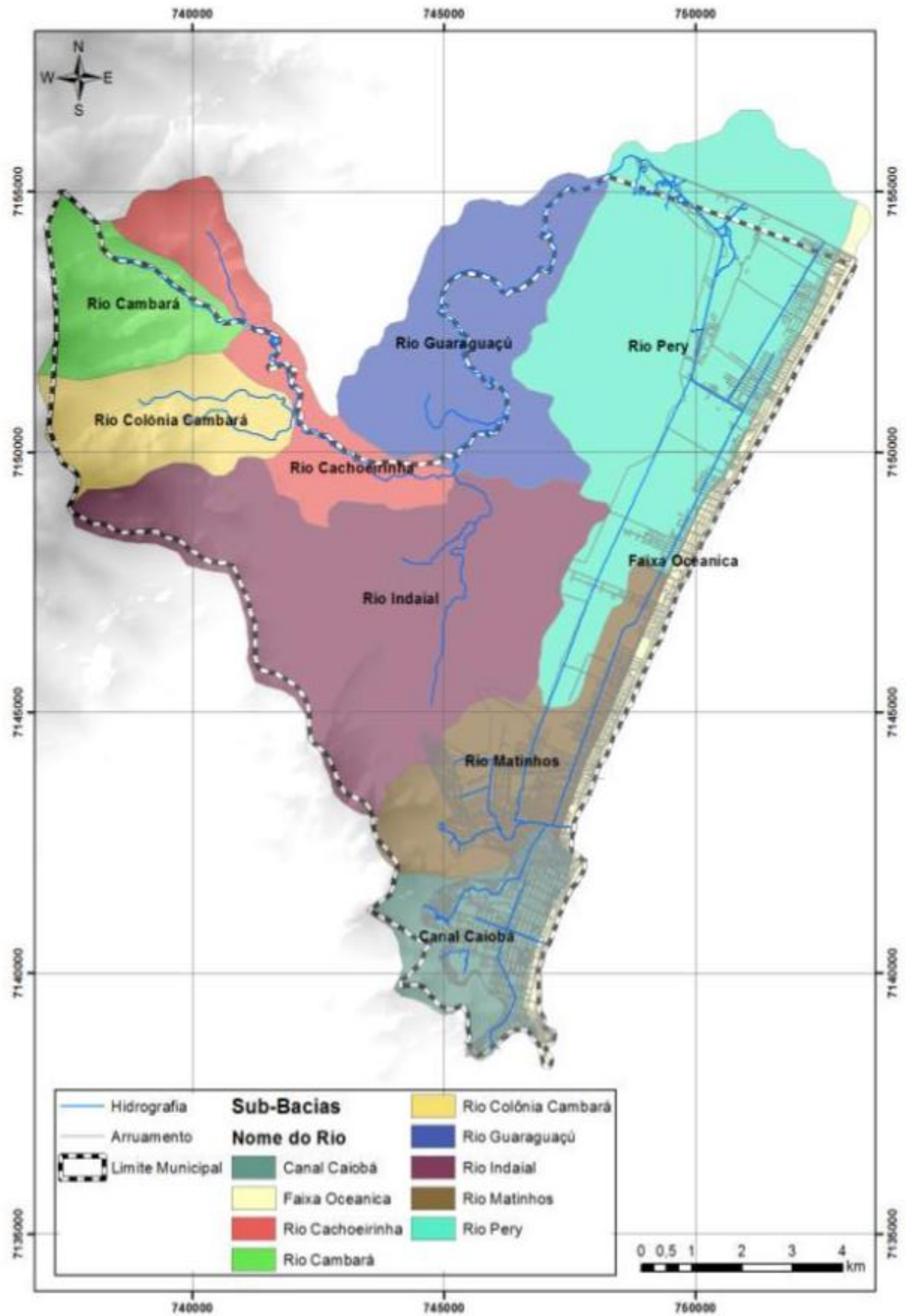
TOMAS, G. P. **Avaliação hidromorfológica do uso de espigões em hidrovias.** 216f. Tese (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2014

TUCCI, C.E.M. **Escoamento superficial.** In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3ª edição, Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2004. Pg 252.

UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012.** Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

VIANA, L. M. **Impactos do despejo de efluentes domésticos sobre o rio matinhos no município de Matinhos – Pr.** 2012. Trabalho de conclusão de curso. (Especialização em Questão Social na Perspectiva Interdisciplinar). Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2012.

ANEXO 01 – SUB BACIAS DE DRENAGEM DE MATINHOS



ANEXO 02 – EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS DELFT3D

O módulo hidrodinâmico trabalha com as equações de *Navier-Stokes* para fluidos Incompressíveis, com as seguintes aproximações:

- A aceleração vertical é considerada desprezível quando comparada à aceleração da gravidade, justificando-se pelo fato de razão aspecto (profundidade/escala horizontal) ser muito pequena (aproximações de águas rasas). Assim, a equação do momento é reduzida à equação do equilíbrio hidrostático;
- Somente a variação longitudinal da densidade é levada em conta no cálculo do componente baroclínico da força de gradiente de pressão (aproximação de Boussinesq);
- O atrito moderado é considerado como condição de contorno no fundo (condição de escorregamento);
- Modelo de turbulência anisotrópica (horizontal \neq vertical).

As equações diferenciais parciais utilizadas pelo modelo, em combinação com as condições iniciais e de contorno apropriadas, são discretizadas utilizando o método de diferenças finitas. O modelo resolve problemas que exigem o uso de um sistema de coordenadas esféricas ou cartesianas ortogonais ($O_{x,y,\sigma}$). Utiliza grade numérica curvilínea, tendo a terceira dimensão espacial em termos de coordenadas adimensional sigma ($\sigma = z/H$) que transforma a coluna de água da superfície ($z=0$) até o fundo ($z=H$) em uma profundidade uniforme, variando de 0 a 1. Essa transformação é necessária, uma vez que a profundidade local sofre variações devido às movimento (1, 2 e 3) e de massa (4), simplificadas para a condição de águas rasas, com profundidade H, resolvidas numericamente pelo modelo são as seguintes em coordenadas $O_{x,y,\sigma}$: oscilações da maré.

As expressões analíticas das equações tridimensionais de conservação de quantidade de movimento (1, 2 e 3) e de massa (4), simplificadas para a condição de águas rasas, com profundidade H, resolvidas numericamente pelo modelo são as seguintes em coordenadas $O_{x,y,\sigma}$:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{w}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + F_x + \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + m_x \quad \text{Equação 1}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{w}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + F_y + \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + m_y \quad \text{Equação 2}$$

$$p = p_a + gH \int_{\sigma}^0 \rho(x, y, \sigma, t) d\sigma \quad \text{Equação 3}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \sigma} = q_{in} - q_{out} \quad \text{Equação 4}$$

Nas equações (1) e (2), u e v representam os componentes horizontais de velocidade em relação ao referencial de coordenadas cartesianas $O_{x,y,\sigma}$ e ρ_0 é a densidade de referência. As variáveis p , p_a , ζ , f e K_v representam, respectivamente, a pressão, a pressão atmosférica, a elevação da superfície livre (em relação à condição de repouso), o parâmetro de Coriolis e o coeficiente cinemático vertical de viscosidade turbulento, com dimensão L^2T^{-1} . As parcelas Nas equações (1) e (2), u e v representam os componentes horizontais de velocidade em relação ao referencial de coordenadas cartesianas $O_{x,y,\sigma}$ e ρ_0 é a massa específica de referência. As variáveis p , p_a , ζ , f e K_v representam, respectivamente, a pressão, a pressão atmosférica, a elevação da superfície livre (em relação à condição de repouso), o parâmetro de Coriolis e o coeficiente cinemático vertical de viscosidade turbulento, com dimensão L^2T^{-1} . As parcelas restantes dessas equações (F_x e F_y) e (m_x e m_y) indicam a força dissipativa de energia devido à viscosidade no plano horizontal e eventuais obstruções no movimento.

A equação (3) indica que na direção O_z o modelo assume condições de equilíbrio hidrostático. A partir dessa condição é possível obter os seguintes componentes barotrópico e baroclínico da força de gradiente de pressão em função dos gradientes horizontais da superfície;

livre $\left(\frac{\partial \zeta}{\partial x, y}\right)$ e da densidade $\left(\frac{\partial \rho}{\partial x, y}\right)$:

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} = g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} + g \frac{H}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma_0} \left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \right)_{\sigma} + \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma \quad \text{Equação 5}$$

e

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} = g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} + g \frac{H}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma_0} \left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial y} \right)_{\sigma} + \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma \quad \text{Equação 6}$$

As parcelas F_x e F_y , que representam as tensões de cisalhamento horizontais de Reynolds, são simuladas analiticamente por:

$$F_x = K_H \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \text{ e } F_y = K_H \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad \text{Equação 7 (a) e (b)}$$

Onde K_H representa o coeficiente cinemático horizontal de viscosidade turbulento, com dimensão $L^2 T^{-1}$.

Quando o modelo é utilizado no modo tridimensional o coeficiente de viscosidade horizontal é decomposto em três parcelas: a primeira devido às trocas turbulentas de quantidade de movimento no plano horizontal (K_{2D}), a segunda devido às trocas de quantidade de movimento turbulento segundo a direção vertical (K_{3D}) e mais uma parcela que leva em conta a viscosidade molecular (K_{mol}). Sendo assim:

$$K_H = K_{2D} + K_{3D} + K_{mol} \quad \text{Equação 8}$$

A parte tridimensional K_{3D} é estimada segundo um modelo de fechamento turbulento. Por sua vez, a turbulência vertical, parametrizada pelo coeficiente K_V , gerada pelo vento e pelo atrito de fundo, mas atenuada por forças de empuxo pela estratificação vertical, tem esse coeficiente simulado por,

$$K_V = K_{3D} + K_{mol} \quad \text{Equação 9}$$

A parte tridimensional K_{3D} é estimada segundo um modelo de fechamento turbulento.