



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**



**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**FACULDADE DE GEOLOGIA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**JAMYLLLE TRINDADE DE MATOS**

**RISCO GEOLÓGICO DE INUNDAÇÕES NA ÁREA CENTRAL DE  
BELÉM (PA)**

**GEOCIÊNCIAS  
U F P A**

**BELÉM - PA  
OUTUBRO - 2016**

**JAMYLLLE TRINDADE DE MATOS**

**RISCO GEOLÓGICO DE INUNDAÇÕES NA ÁREA CENTRAL  
DE BELÉM (PA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa

**BELÉM**

**2016**

**JAMYLLLE TRINDADE DE MATOS**

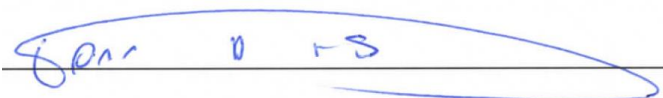
**RISCO GEOLÓGICO DE INUNDAÇÕES NA ÁREA CENTRAL  
DE BELÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: 03/10/2016

Conceito: Excelente

Banca examinadora:



Prof. Tony Carlos Dias da Costa - Orientador  
Doutor em Geologia de Engenharia  
Universidade Federal do Pará



Prof. Arnaldo Queiroz - Membro  
Doutor em Sensoriamento Remoto  
Universidade Federal do Pará



Prof.ª. Dr.ª Aline M. M. de Lima – Membro  
Doutora em Desenvolvimento Socioambiental com  
ênfase em análise espacial de bacias hidrográficas  
Universidade Federal do Pará

Às minhas duas famílias,  
Trindade de Matos e Lopes.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por mais esta vitória.

Aos meus pais, que nunca mediram esforços para me proporcionar uma boa educação, e sonharam os meus sonhos junto comigo.

Ao meu namorado João Paulo, por todo apoio, paciência e amor desmedidos. Sem você eu não conseguiria.

Ao Prof<sup>o</sup> e Orientador Tony Carlos, por me dar a liberdade de escolher o tema para desenvolver meu trabalho.

Aos professores do Instituto de Geociências, em especial ao Prof. Arnaldo Queiroz, pelo apoio e incentivo constantes.

Ao técnico do LAIT (Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido), Paulo José Alves, pelo apoio técnico e amizade.

A todos os amigos e colegas que conquistei durante a graduação, em especial a Letícia, Lívia, Ronny, Jorge, Ivinny, Lorena e Keren. Obrigada por tornarem esta batalha mais suave, e por todo apoio e ajuda ao longo destes anos.

À toda a Família Lopes, por terem me amparado tão carinhosamente nos momentos de maior dificuldade.

*"É melhor tentar e falhar, que se preocupar a ver a vida passar. É melhor tentar, ainda que em vão, que se sentir fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes em casa me esconder. Prefiro ser feliz, embora louco, que em conformidade viver"*

**Martin Luther King**

## RESUMO

Segundo Guerra (2011), o extravasamento do corpo hídrico para além dos limites dos canais principais é um processo natural que ocorre quando a vazão é superior a capacidade de descarga do canal. Belém está circundada por rios e lagos, dentre eles o Rio Guamá e a Bahia do Guajará, fazendo com que o processo supracitado seja normal quando a maré está cheia, porém, a ocupação da área cria a necessidade da realização de um estudo geotécnico aprofundado, no intuito de evitar que as enchentes continuem a prejudicar a população. Existem exemplos de cidades com as mesmas características geológicas de Belém que superaram as inundações e alagamentos em períodos de chuva investindo no planejamento urbano, na educação ambiental da população e na constante limpeza dos canais e dutos. O coordenador do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Pará, José Almir Rodrigues Pereira, em entrevista para o site DOL (Diário Online) disse “É um equívoco pensar que Belém está condenada a alagamentos. Há inúmeros exemplos que provam o contrário. A Holanda tem metade de seu território abaixo do nível do mar e conseguiu reduzir enchentes com diques e comportas”. Desta forma, este trabalho visa explicar sobre as características geológicas, meteorológicas e pluviométricas que levam a área de estudo a sofrer com as constantes inundações e alagamentos, com o objetivo de compreender o fenômeno e iniciar um processo que busque dar soluções as causas das enchentes da região e/ou estabelecer formas mais eficientes de convivência com esse fenômeno, além de colaborar para o crescimento urbano adequado da cidade de Belém.

Palavras-chave: Inundações. Alagamentos. Educação ambiental. Planejamento urbano.

## **ABSTRACT**

According with Guerra (2011), leaking of body fluid beyond the confines of the main channel is a natural process that occurs when the flow exceeds the discharge capacity of the channel. Belém is surrounded by rivers and lakes, including the Guama River and the Bahia Guajará, causing the above process is normal when the tide is high, however, the occupation of the area creates the need to conduct a thorough geotechnical study, in order to prevent floods continue to harm the population. There are examples of cities with the same geological characteristics of Belém who have overcome floods and waterlogging in rainy periods investing in urban planning, environmental education of the population and constant cleaning of canals and pipelines. The coordinator of Hydraulic Research Group and Sanitation of the Federal University of Pará, Almir José Rodrigues Pereira, in an interview to the website DOL (Online Daily) said "It is a mistake to think that Belém is doomed to flooding. There are numerous examples that prove otherwise. The Netherlands has half its territory below sea level and were able to reduce flooding with dams and sluices". Thus, this work aims to explain about the geological, meteorological and rainfall characteristics that lead the study area to suffer from constant flooding and waterlogging in order to understand the phenomenon and initiate a process that seeks to give solutions the causes of flooding of region and / or establish more efficient ways of coexistence with this phenomenon, as well as contributing to the proper urban growth of the city of Belém.

Key-words: Inundations. Floodings. Urban planning. Environmental education.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização da área de estudo. Em destaque, os bairros do Reduto, Campina e Cidade Velha.....	14
<b>Figura 2.</b> Manuscrito do Algemeen Rijksarchief, Haia, 1640.....	17
<b>Figura 3.</b> Proposta para a fortificação do bairro da Cidade.....	17
<b>Figura 4.</b> Mapa de Belém, 1791.....	18
<b>Figura 5.</b> Exemplo de perfil laterítico imaturo da Amazônia.....	21
<b>Figura 6.</b> Perfil esquemático evidenciando as relações de contato das formações geológicas mapeadas na Folha Belém.....	21
<b>Figura 7.</b> Mapa Geomorfológico da porção sul de Belém do Pará. Em destaque estão as unidades geomorfológicas observadas na área deste trabalho.....	25
<b>Figura 8.</b> Modelo digital de elevação confeccionado para a área de estudo com seção A-B ressaltando as formas de relevo, segundo o mapa geomorfológico da PMB (2007), que são planície (em coral) com cota até 5 m, e terraço (em amarelo) com cotas de 5-15 m aproximadamente.....	23
<b>Figura 9.</b> Em A têm-se a instalação dos processos de urbanização, como o desmatamento e a terraplanagem, seguido pela ocupação da comunidade; os processos intempéricos começam a erodir a área, e os sedimentos vão sendo transportados e acumulados no rio. Como resultado, na área ocupada mais alta começam a surgir boçorocas, culminando na destruição das casas; já no rio, o assoreamento do leito leva às inundações, e a população que se instala nessas áreas convive diretamente com o risco.....	24
<b>Figura 10.</b> Classificação climática de Koppen para o Estado do Pará. A área destacada em vermelho diz respeito a região de estudo, classificada como Afi (Clima tropical úmido).....	26
<b>Figura 11.</b> Imagem ilustrando a Célula de Hadley e outros sistemas relacionados ao comportamento médio das chuvas.....	27
<b>Figura 12.</b> A imagem mostra o comportamento das variáveis meteorológicas para Belém, onde em (a) estão as médias extremas de temperatura no ar; (b) a relação precipitação/evaporação; (c) umidade relativa do ar e (d) relação insolação (em horas) e nebulosidade média mensal.....	29
<b>Figura 13.</b> Quadro da Escala de Beaufort para a classificação de ventos, em destaque o tipo condizente com a região de Belém.....	32

<b>Figura 14.</b> Extrato do balanço hídrico mensal considerado para a área de estudo.....	34
<b>Figura 15.</b> Comportamento mensal das variáveis: precipitação, ETP (evapotranspiração potencial) e ETR (evapotranspiração real) .....	34
<b>Figura 16.</b> Fluxograma da metodologia utilizada nesta monografia.....	41
<b>Figura 17.</b> Gráfico elaborado a partir da análise quantitativa de respostas à questão que aborda a causa e solução das inundações na área de estudo, disposta no questionário elaborado para este trabalho (APÊNDICE A) .....	43
<b>Figura 18.</b> Mapa de Risco Geológico de Inundação da Área Central de Belém .....	45
<b>Figura 19.</b> Mapa de Risco Geológico de Inundações da Área Central de Belém (PA) com imagem de alta resolução Google Earth Pro (2016). Nesta versão do mapa estão destacados registros de inundações por maré alta e lixo nas ruas (catalizadores) que corroboram para os alagamentos mesmo em cotas mais altas. Em 1 têm-se registro de inundação na Av. Marechal Hermes, bairro do Reduto; em 2, a Avenida Boulevard Castilhos França encontra-se inundada assim como em 3, em parte da Rua 15 de Novembro, ambas no bairro da Campina. Em 4 (Av. Tamandaré) e 5 (Av. Bernardo Sayão) observa-se uma situação comum nas bordas dos canais e obras, lixo acumulado.....	46
<b>Figura 20.</b> Determinação do grau de risco relacionado a altura da maré com ou sem ocorrência de chuvas para a área a Cidade de Belém, segundo o Boletim de Alerta Hidroclimático Diário da Defesa Civil de Belém.....	44
<b>Figura 21.</b> Na imagem A observa-se a inundação das vias Avenida Portugal e Rua 15 de Novembro, e na imagem B observa-se a inundação da Rua Conselheiro João Alfredo. Ambas estavam inundadas no dia 25/06/2016, por volta das 14:00 horas e pertencem ao bairro da Campina.....	47
<b>Figura 22.</b> As imagens A e B são referentes à Rua Marechal Hermes inundada no dia 25/06/2016, quando os dados de maré apontaram 3,2 m.....	48
<b>Figura 23.</b> Zoneamento dos graus de risco à inundação levando em conta a topografia da área, o grau de risco à inundação estabelecido pela Defesa Civil de Belém, e a classificação das vias em inunda, não inunda e somente as casas inundam, elaborada durante a pesquisa de campo.....	49
<b>Figura 24.</b> Modelo de Simulação de Inundações da Área Central de Belém.....	52
<b>Figura 25.</b> Evolução do aumento das águas no leito do rio.....	54

**Figura 26.** Pontos dentro da área de estudo onde foi observado lixo acumulado em demasia. Em A, Canal da Tamandaré na esquina com a Rua Dr. Assis onde é observado bastante lixo doméstico acumulado. Em B, observa-se bastante lixo na margem da baía no dia 25/06/2016, com maré alta; já em C têm-se restos de móveis que foram destruídos pela inundação que a rua sofreu durante uma forte chuva. Em D, na Avenida Bernardo Sayão, observam-se diversos entulhos acumulados nos trechos da obra de macrodrenagem.....56

**Figura 27.** Imagem representando as características e conceitos dos termos enchente, inundação e alagamento.....57

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Tabela produzida com base no relatório da Folha Belém sobre a porção correspondente ao Grupo Barreiras.....19

**Tabela 2.** Dados médios mensais de umidade, nebulosidade, precipitação, insolação e evaporação para a Região Metropolitana de Belém.....31

**Tabela 3.** Tabela de reportagens sobre alagamentos na área de estudo, de 2006 até junho de 2016.....58

**Tabela 4.** Eventos de alagamentos reportados em Belém até junho/2016. As reportagens encontram-se disponíveis no ANEXO C. As setas indicam eventos onde a maré não influenciou na situação de alagamento.....59

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1. Objetivos</b> .....	15
1.1.1. Objetivos específicos.....	15
<b>CAPÍTULO 2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
<b>2.1. A ocupação da cidade de Belém</b> .....	16
<b>2.2. Meio físico</b> .....	18
2.2.1. Geologia local.....	18
2.2.2. Geomorfologia.....	22
2.2.3. Caracterização climatológica e meteorológica.....	26
2.2.3.1. Contexto climatológico e meteorológico da área de estudo.....	28
2.2.3.1.1. <i>Temperatura do ar</i> .....	29
2.2.3.1.2. <i>Precipitação e evaporação</i> .....	29
2.2.3.1.3. <i>Umidade relativa do ar</i> .....	30
2.2.3.1.4. <i>Insolação e nebulosidade</i> .....	30
2.2.3.1.5. <i>Direção e velocidade do vento</i> .....	31
2.2.3.1.6. <i>Balanço Hídrico</i> .....	33
2.2.3.1.7. <i>Marés</i> .....	35
<b>2.3. Técnicas de geoprocessamento aliadas ao estudo de desastres</b> .....	37
<b>CAPÍTULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	40
<b>3.1. Metodologia adotada</b> .....	40
3.1.1. Entrevistas de campo.....	42
<b>CAPÍTULO 4- RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	44
<b>4.1. Mapa de Risco Geológico de Inundação na área central de Belém</b> .....	44

4.1.1. Correlações entre a topografia e as áreas recorrentes de inundação (Modelo de Simulação de Inundações) .....	50
4.1.2. O problema das inundações e alagamentos na área central de Belém.....	53
4.1.3. O caso dos alagamentos na cidade de Belém.....	57
<b>CAPÍTULO 5- CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>
<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>.....</b>

## **CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO**

O crescimento acelerado das principais cidades brasileiras a partir de 1930, trouxe uma série de problemas sempre associados ao elevado crescimento populacional não acompanhados do planejamento urbano e regional que compatibilizassem as equipotencialidades e limitações do meio físico às necessidades de qualidade de vida para a população recém-chegada da área rural. Esse processo ocorreu de forma tão intensa que em 1930 apenas 20% da população brasileira vivia na área urbana. Setenta anos depois o Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1990 registrou 70% da população brasileira na área urbana e 20 anos depois a população urbana já representava 84%, com apenas 16% vivendo na área rural (IBGE, 2010). Essa transferência maciça de população ocorre em um cenário onde a falta de planejamento, associado a ausência e ineficiência na alocação de recursos para manutenção e implantação de infraestrutura urbana, produz o caos urbano observado nas grandes cidades brasileiras, cenário propício a ocorrência de acidentes geológicos.

A cidade de Belém, com seus 1.393.399 de habitantes (IBGE,2010) e estimativa do IBGE para o ano de 2014 de 1.432.844, não se diferencia do cenário descrito acima. Fundada em 12 de janeiro de 1616, a margem do Rio Pará e da Baía do Guajará, que se conformam a partir das contribuições dos rios Guamá, Acará, Mojú, Tocantins e Amazonas, constitui-se em uma planície de inundação que foi aterrada de forma pouco cuidadosa em diversos trechos ao longo dos seus 400 anos, trazendo em seu dia-a-dia as marcas desse passado, onde as inundações em diversos pontos de sua área central e periférica, reclama por soluções definitivas e/ou de convívio mais eficiente com os efeitos indesejados e prejuízos causados por essas enchentes.

Quanto aos riscos geológicos observados no cenário geológico brasileiro, predominam as inundações e os escorregamentos de terra, fenômenos esses ligados à intensa precipitação de chuva, como é característico da cidade de Belém (CHIOSSI, 2013), tendo topografia suave o que a torna estável quanto aos movimentos de terra.

O Artigo 5º da Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de

Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC, estabelece:

Art. 5º São objetivos da PNPDEC:

I - Reduzir os riscos de desastres;

II - Prestar socorro e assistência às populações atingidas por desastres;

III - Recuperar as áreas afetadas por desastres;

IV - Incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais;

.....

XV - Integrar informações em sistema capaz de subsidiar os órgãos do SINPDEC na previsão e no controle dos efeitos negativos de eventos adversos sobre a população, os bens e serviços e o meio ambiente.

As normas legais deixam clara a obrigação do Estado Brasileiro na prevenção e correção dos problemas ambientais, urbanísticos e sociais causados por inundações.

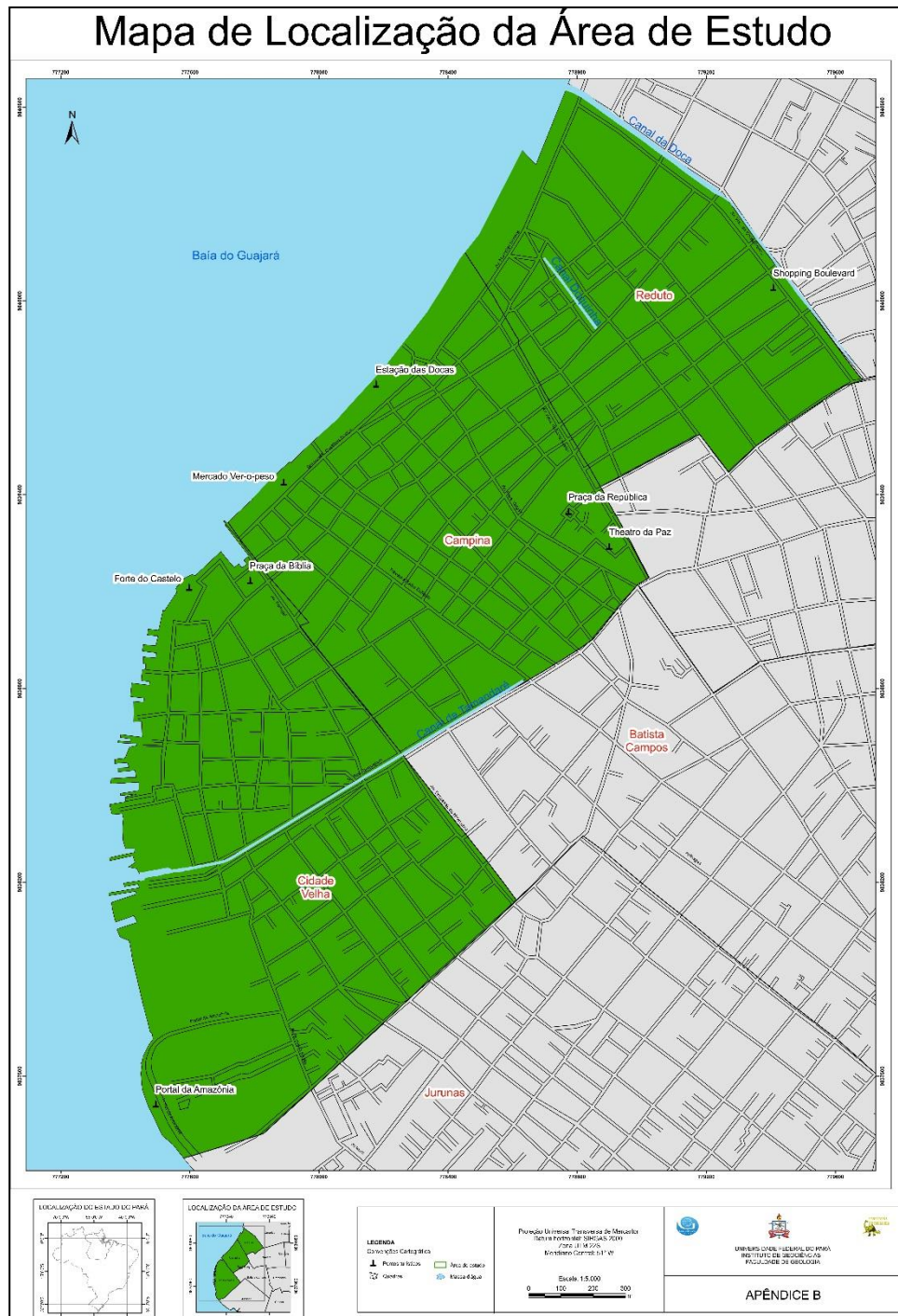
Segundo Kobiyama *et.al* (2006), o termo “inundação”, que é popularmente tratado como enchente, é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele. Estas áreas planas próximas aos rios sobre as quais as águas extravasam são chamadas de planícies de inundação. Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação.

O enfrentamento das inundações requer como medida inicial compreender suas causas e sua área de ocorrência dentro do espaço que se pretende ver livre de sua ocorrência ou de seus efeitos mais perniciosos. Isto compõe uma vasta gama de informações em relação à sua formação e composição geológica, que proporcionará a maior compreensão da hidrogeologia local e das implicações ambientais desta no meio urbano, assim como o entendimento dos impactos da ampliação desordenada da área urbanizada, que gera uma conseqüente impermeabilização da superfície, colaborando para as inundações e alagamentos.

A área de estudo localiza-se na cidade de Belém, Estado do Pará, onde serão abordados estrategicamente os bairros da Campina, Cidade Velha e Reduto, por

serem áreas onde as inundações são constantes nos períodos mais chuvosos e de maré de sizígia (Figura 1 – APÊNDICE B).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Em destaque, os bairros do Reduto, Campina e Cidade Velha.



Fonte: Elaborado pelo Autora.

## **1.1. Objetivos**

Esta monografia tem como objetivo principal a produção do Mapa de Risco Geológico de Inundações da Área Central de Belém, a fim de discriminar as vias susceptíveis aos eventos de inundação e alagamento que ocorrem na área.

### **1.1.1. Objetivos específicos**

- Compreender as causas das inundações na área central da cidade de Belém;
- Identificar os principais problemas gerados pelas inundações na área central de Belém;
- Delimitar as áreas de ocorrências das inundações na área central de Belém;
- Delimitar os períodos do ano onde a área fica suscetível ao fenômeno;
- Propor soluções para enfrentamento das inundações na área central de Belém, objetivando colaborar para o melhor bem-estar da sociedade;

## CAPÍTULO 2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. A ocupação da cidade de Belém

Segundo Cruz (1973), a cidade de Belém foi fundada no ano de 1616, e sua consolidação está relacionada à construção de um forte localizado na confluência da baía do Guajará com o rio Guamá, chamado de “*Forte do Presépio*”, situado estrategicamente ao sul do estuário amazônico e protegido do oceano. Os dados históricos contidos em Cruz (1973, p 20) mostram o relato de Bento Maciel (àquela época Governador do Maranhão) a respeito do estado do forte em 1630, 14 anos após a chegada destes

nas terras belenenses:

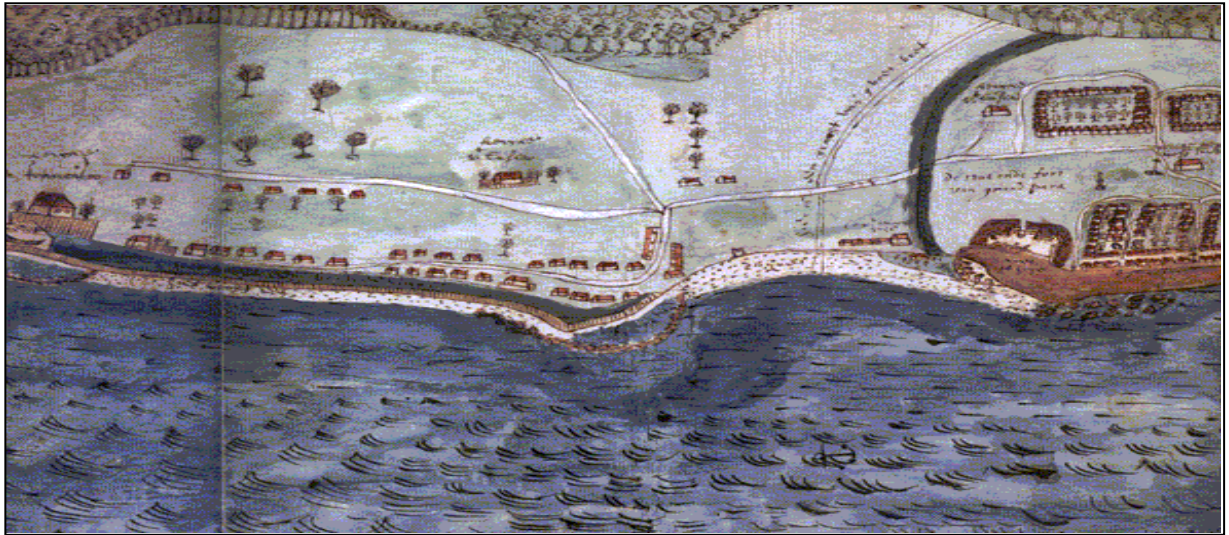
Sendo que a gente que tirou da cidade de Belém era nela mui importante e necessária para a defesa dela e da fortaleza *que está desmantelada* e fácil de tomar a qualquer inimigo que a fôr cometer, e importa muito ao governo de S. Majestade *mandar fortificar e povoar* a dita cidade e na mesma forma da outra banda do Cabo do Norte na boca do Rio Genipapo aonde convém que haja *cento e cincoenta praças e duzentos moradores* para guardar e se defender aquela grande boca.

Como observado, o povoamento da cidade de Belém ocorreu para que as terras não fossem dominadas por inimigos da corte portuguesa, estas permanecendo sob sua posse pelos anos seguintes, assim, a construção deste forte militar contribuiu para a expansão lusa ao norte do Brasil. Estudos denominam a fase inicial de crescimento da cidade de Belém, de “*ribeirinha*”, devido às primeiras ruas haverem surgido paralelamente do “*rio*”. A rua do Norte, por exemplo, teria surgido ao lado do rio Guamá. Mas, o processo de expansão da cidade deu-se no sentido norte-sul, próximo ao Forte do Presépio, visto que no sentido horizontal a existência do alagado Piri demandou longas obras de drenagem durante o século XIX, com vistas a possibilitar o referido crescimento (ALMEIDA, 2010).

Assim como em outras cidades, a população de Belém procurou se estabelecer e desenvolver próximo ao rio principal, pois a comercialização e o abastecimento de água nos estabelecimentos comerciais e residências estaria muito mais facilitada (Figura 2). Por isto, quanto mais se expandia a cidade, maior se tornava o número de habitantes que se dirigia às fontes, rios ou igarapés em busca da água, culminando em sua total habitação e partindo daí para os planos de

aterramento dos alagadiços e braços de rio com vistas à continuidade da expansão da cidade (ALMEIDA, 2010).

Figura 2. Manuscrito do Algemeen Rijksarchief,Haia, 1640.



Fonte: Reis Filho (2000).

No entanto, o plano de aterrar os alagadiços e braços de rio não foi o único proposto para a expansão da Cidade, pois como observado na Figura 3, houve propostas de fortificações do sítio que contavam com pontes, sem a necessidade de aterrar o Lago do Piri e o rio que atualmente é o canal da Travessa 14 de Março.

Figura 3. Proposta para a fortificação do bairro da Cidade.



Fonte: Reis Filho (2000).

Porém, o plano aplicado foi o de aterramento, e já no mapa da Cidade de 1791 se pode observar o Lago do Piri em vias de entrar no processo de drenagem e aterramento, com sua área total dividida em lotes (Figura 4). A partir disto, com o passar dos anos as áreas alagadas foram sendo aterradas e o processo de urbanização se intensificou cada vez mais, compondo nos dias atuais uma paisagem completamente modificada da natural.

Figura 4. Mapa de Belém, 1791.



Fonte: Reis Filho (2000).

## 2.2. Meio físico

### 2.2.1. Geologia local

A área de estudo é constituída geologicamente pelo Grupo Barreiras, Sedimentos Pós-Barreiras e Cobertura Detrítica-Laterítica, que serão brevemente discutidas a seguir.

- Grupo Barreiras

O Grupo Barreiras também é designado em diversos artigos por “Formação Barreiras”, porém, no presente trabalho será adotada a terminologia formal “Grupo Barreiras”, como em Oliveira (2011). Consiste em uma extensa faixa de rochas de idade miocênica que ocorrem desde o Estado do Amapá até o Estado do Rio de Janeiro, e que segundo Costa (2008) tem sua distribuição relacionada às superfícies

de laterização ocorrentes na região, que estão posicionadas estratigraficamente acima do Grupo Barreiras.

Oliveira (2011) descreve oito fácies para o Grupo Barreiras na Folha Belém, sendo elas: Fácies pelítica laminada (PI); Fácies pelítica maciça (Pm); Fácies areno-argilosa com estruturas wavy e lenticular/linsen (Sw); Fácies arenosa com estratificação plano-paralela (Ap); Fácies arenosa com estratificação cruzada acanalada (Sa); Fácies arenosa com estratificação cruzada sigmoidal (As); Fácies arenosa grossa a conglomerática (Sg) e Fácies conglomerática com clastos de pelito (Cp). Estas fácies estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Fácies sedimentares do Grupo Barreiras aflorantes na Folha Belém.

<b>TABELA DE FÁCIES DO GRUPO BARREIRAS NA FOLHA BELÉM</b>	
<b>Fácies</b>	<b>Descrição</b>
<b>Fácies pelítica laminada - (PI)</b>	Pelitos finamente laminados de coloração cinza escura a negra quando não intemperizados ou coloração avermelhada a cinza claro e branca quando intemperizados.
<b>Fácies pelítica maciça - (Pm)</b>	Pelitos maciços que apresentam originalmente coloração cinza escuro e quando intemperizada mostram cores variando de vermelha, amarelada a branca.
<b>Fácies areno-argilosa com estruturas wavy e lenticular/linsen - (Sw)</b>	Arenitos finos, siltitos e argilitos ocorrendo em lâminas suavemente onduladas e/ou lentes, definindo estruturas wavy e linsen.
<b>Fácies arenosa com estratificação plano-paralela - (Ap)</b>	Arenitos finos a médios, podendo ocorrer pequenos seixos e grânulos de quartzo dispersos, apresentando estratificação plano-paralela de baixo ângulo e sub-horizontal
<b>Fácies arenosa com estratificação cruzada acanalada - (Sa)</b>	Arenitos ferruginosos de granulação fina a média, coloração cinza escuro, apresentando estratificação cruzada acanalada de pequeno a médio porte.
<b>Fácies arenosa com estratificação cruzada sigmoidal - (As)</b>	Arenitos de granulação fina a média, mal selecionados e com cimentação por óxido de ferro, resultando em uma coloração cinza escuro a violácea. Apresenta lobos com estratificação sigmoidal.
<b>Fácies arenosa grossa a conglomerática (Sg)</b>	Arenitos ferruginosos de granulação grossa a conglomerática, contendo seixos de quartzo, e apresentando ocasionalmente lentes ou lâminas de pelitos avermelhados.
<b>Fácies conglomerática com clastos de pelito - (Cp)</b>	Apresenta matriz arenosa grossa, ferruginosa, com clastos de pelitos angulosos a semi-arredondados, amarelados, com tamanhos variados, podendo atingir até 5 centímetros.

- **Unidade Sedimentos Pós-Barreiras**

A Unidade Sedimentos Pós-Barreiras é descrita por Vasquez & Rosa-Costa (2008), como “depósitos que recobrem discordantemente a sucessão Pirabas/Barreiras e horizontes de perfis das Coberturas Lateríticas Imaturas.” Sua área de ocorrência abrange a região central entre os rios Tocantins e Pará, porção central e sudoeste da Ilha do Marajó e a margem direita da Baía do Marajó. Segundo Tatum *et al* (2008) esta unidade possui idades variando de 29.500 até 3.300 anos, entendendo-se assim que a deposição desses sedimentos ocorreu desde o final do Pleistoceno até o Holoceno.

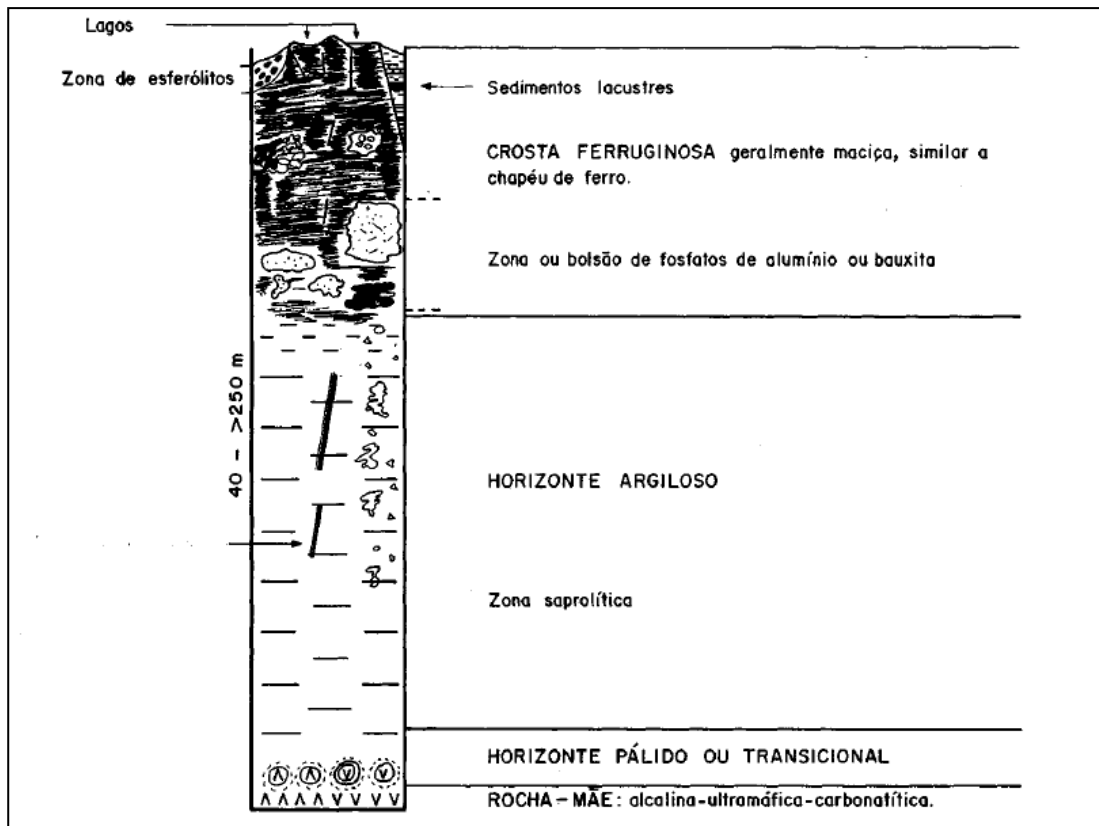
Os Sedimentos Pós-Barreiras são compostos de areias consolidadas e semi-inconsolidadas, possuindo coloração variando de amarelada a branca, com granulometria fina a média, além da fração argilosa e de diminutos clastos de quartzo. Estas fácies estão relacionadas a depósitos eólicos costeiros, de planície de maré, canal e mangue (VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

- **Unidade Cobertura Detrítica-Laterítica**

Costa (2008) classifica os lateritos como produtos geológicos do processo de laterização, sendo formados em razão do intemperismo tropical atuante na região, que pode ocorrer em qualquer tipo de rocha exposta na superfície. Os lateritos amazônicos são classificados como maduros e imaturos por Costa (1991), sendo os pertencentes à Folha Belém identificados como imaturos (Figura 05), apresentando feições típicas de baixo grau de evolução, como a presença de horizonte ferruginoso (ou crosta ferruginosa) (OLIVEIRA, 2011).

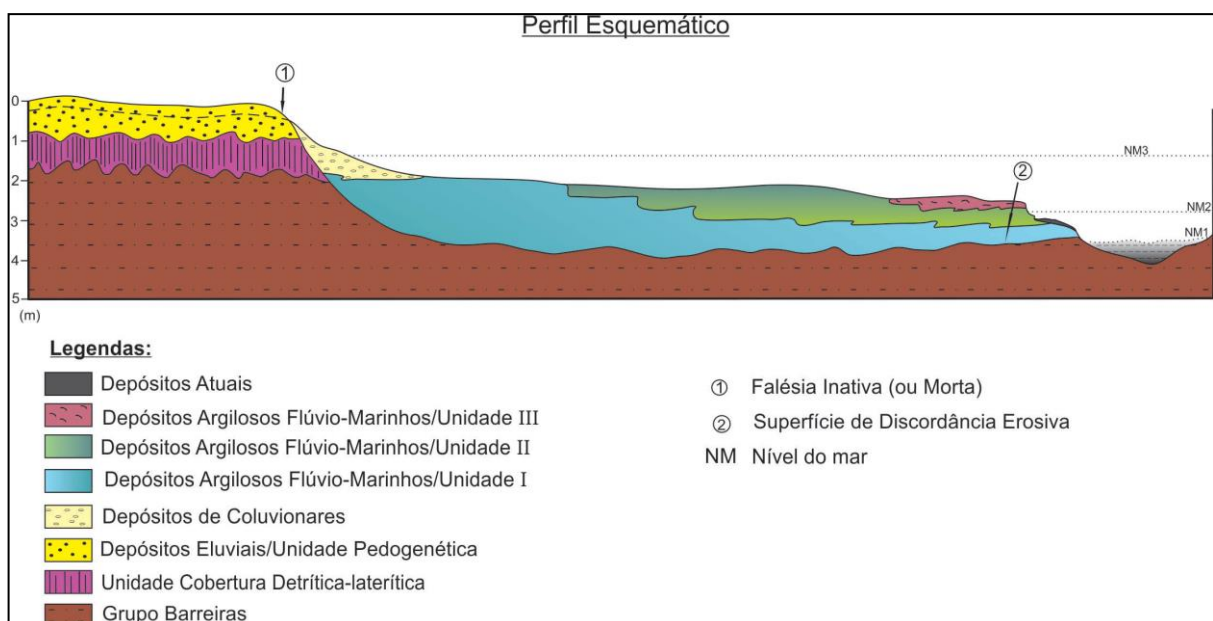
De acordo com Oliveira (2011), na Folha Belém há a ocorrência predominante de perfis imaturos que apresentam a seguinte sequência da base para o topo: horizontes saprolítico (base), mosqueado, ferruginoso, concrecionário, e horizonte de latossolos (topo). Nestes perfis ocorre, em geral, o truncamento devido a erosão, favorecendo a exposição do Grupo Barreiras, apresentando também contatos erosivos com a Unidade Sedimentos Pós-Barreiras, evidenciados na Figura 6.

Figura 5. Exemplo de perfil laterítico imaturo da Amazônia.



Fonte: Costa (1991)

Figura 6. Perfil esquemático evidenciando as relações de contato das formações geológicas mapeadas na Folha Belém.



Fonte: Oliveira (2011).

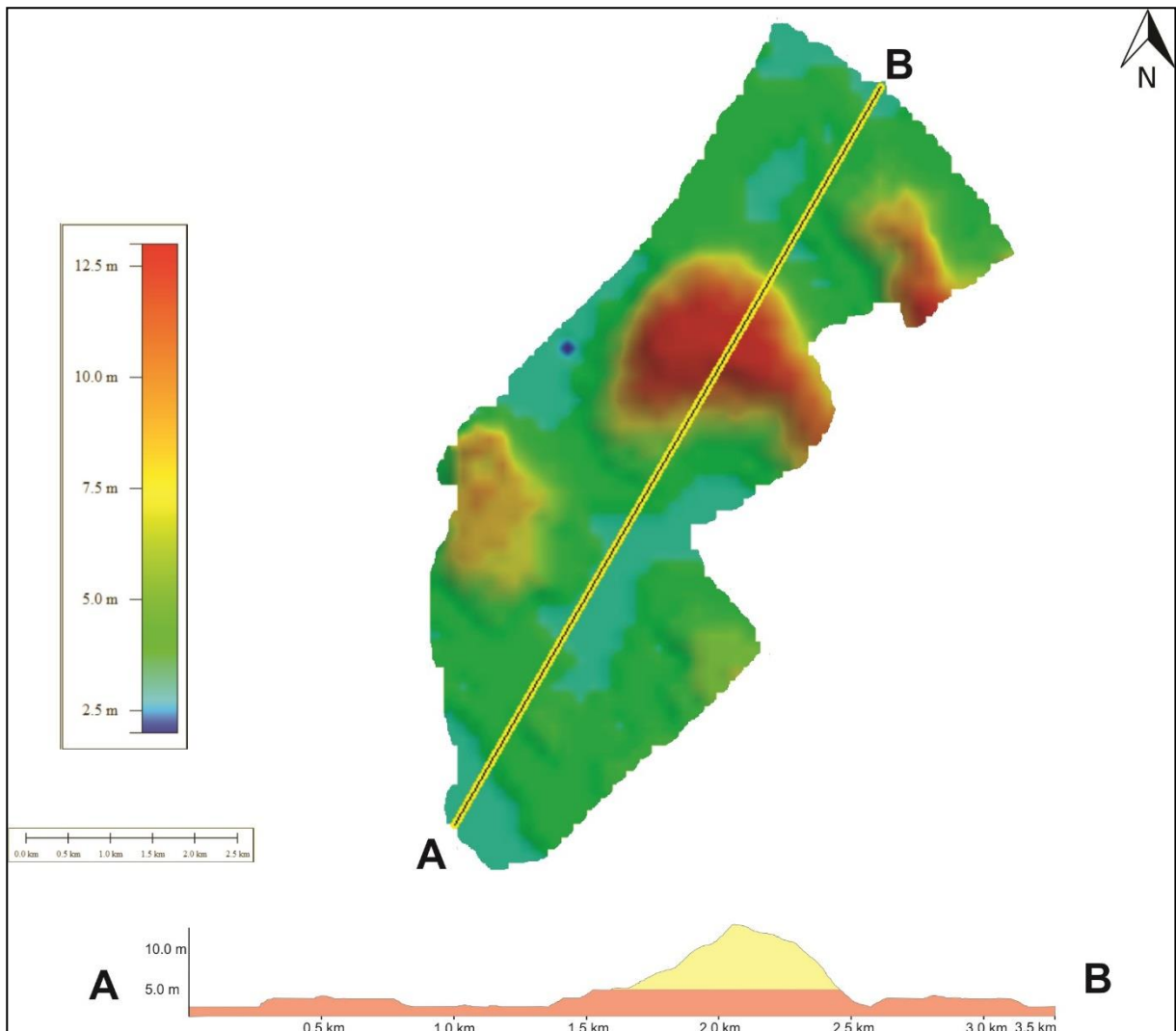
### 2.2.2. Geomorfologia

A região de Belém possui duas grandes feições geomorfológicas posicionadas na fisiografia regional como uma área de terra firme e de várzeas. Estas feições se diferenciam pelas suas características naturais, que nessa região já se encontram intensamente descaracterizadas em decorrências das ações antrópicas. Considera-se que o relevo da região seja caracterizado por uma topografia predominantemente plana denominada de Planície Amazônica, que se distribui em uma área alongada de direção oeste-leste, ao longo do rio Amazonas, de acordo com o mapeamento geomorfológico executado no Projeto Radar na Amazônica (RADAM), escala de 1:250.000, publicado em 1974.

O mapa geomorfológico da porção sul da cidade de Belém, com escala de 1:20.000, elaborado pela empresa ENGESOLO para a Prefeitura Municipal de Belém no ano de 2007, permite discriminar com mais detalhe as formas de relevo da área de estudo, que são basicamente Planície e Terraço (Figura 7). A Planície é a forma de relevo constituída por depósitos fluviais do Holoceno com cotas de até 5m, que é constantemente inundada durante os meses com alta atividade pluviométrica e/ou variações na maré; já o Terraço diz respeito a antigas planícies de inundação, provenientes do período Quaternário Holocênico, com cotas de variam de 5 -15 m (FURTADO & PONTE, 2013).

Segundo Araújo Junior (2013), tais formas de relevo possuem um forte relacionamento geológico/estrutural, definindo as unidades litológicas típicas da região, que estão relacionadas a eventos tectono-estruturais ocorridos durante Mioceno-Pleistoceno e eventos climáticos (principalmente do Pleistoceno), formadores da morfologia da área de estudo. No entanto este mesmo autor cita que ainda não há muita clareza acerca dos últimos e que para melhor entendimento os estudos devem ser avançados nesse sentido. Para a melhor visualização da topografia e das unidades de relevo, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborado a partir da base topográfica da CODEM 2008. A Figura 8 mostra uma seção transversal no produto anterior, onde foi possível classificar as unidades de relevo de acordo com o intervalo de cotas citado no mapa geomorfológico, sendo utilizado para isso as mesmas cores discriminadas no mapa (coral para a Planície e amarelo para o Terraço).

Figura 8. Modelo digital de elevação confeccionado para a área de estudo com seção A-B ressaltando as formas de relevo, segundo o mapa geomorfológico da PMB (2007), que são planície (em coral) com cota até 5 m, e terraço (em amarelo) com cotas de 5-15 m



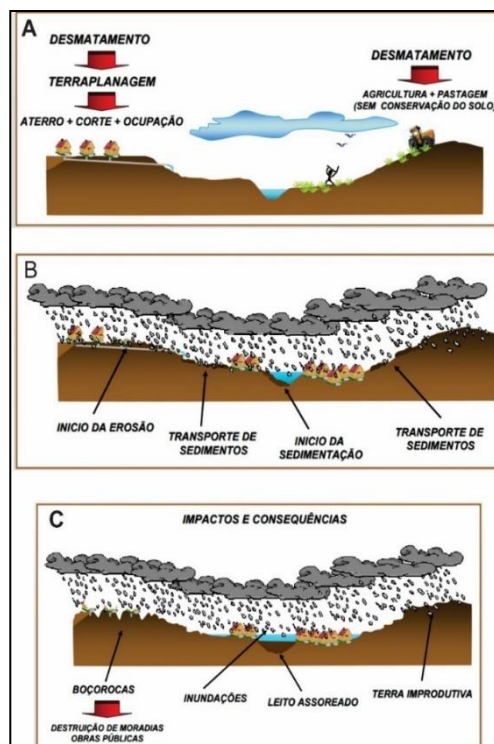
Fonte: Elaborado pela Autora.

No entanto, como mencionado acima, na área de estudo as feições geomorfológicas já se encontram bastante desconfiguradas do seu estado natural, de forma que se faz necessário entender as características dessa geomorfologia urbana, cujo sujeito modificador é o homem. De acordo com Goudie e Viles (1997 *apud* ARAÚJO JUNIOR, 2013), a geomorfologia urbana ou antropogeomorfologia, como citado por Souza e Pereira (2015), é definida como a relação existente entre os fatores do meio físico e os impactos provocados pela ocupação humana, considerando para isso que tais impactos podem ser positivos ou negativos no tempo e no espaço. Jorge (2011) apresenta como morfogênese antrópica em áreas urbanas a erosão e a produção de sedimentos e lista como objeto de estudo da

geomorfologia urbana o assoreamento, o corte de taludes, os aterros e os movimentos de massa induzidos, a mineração em área urbana e periurbana e as inundações e alagamentos.

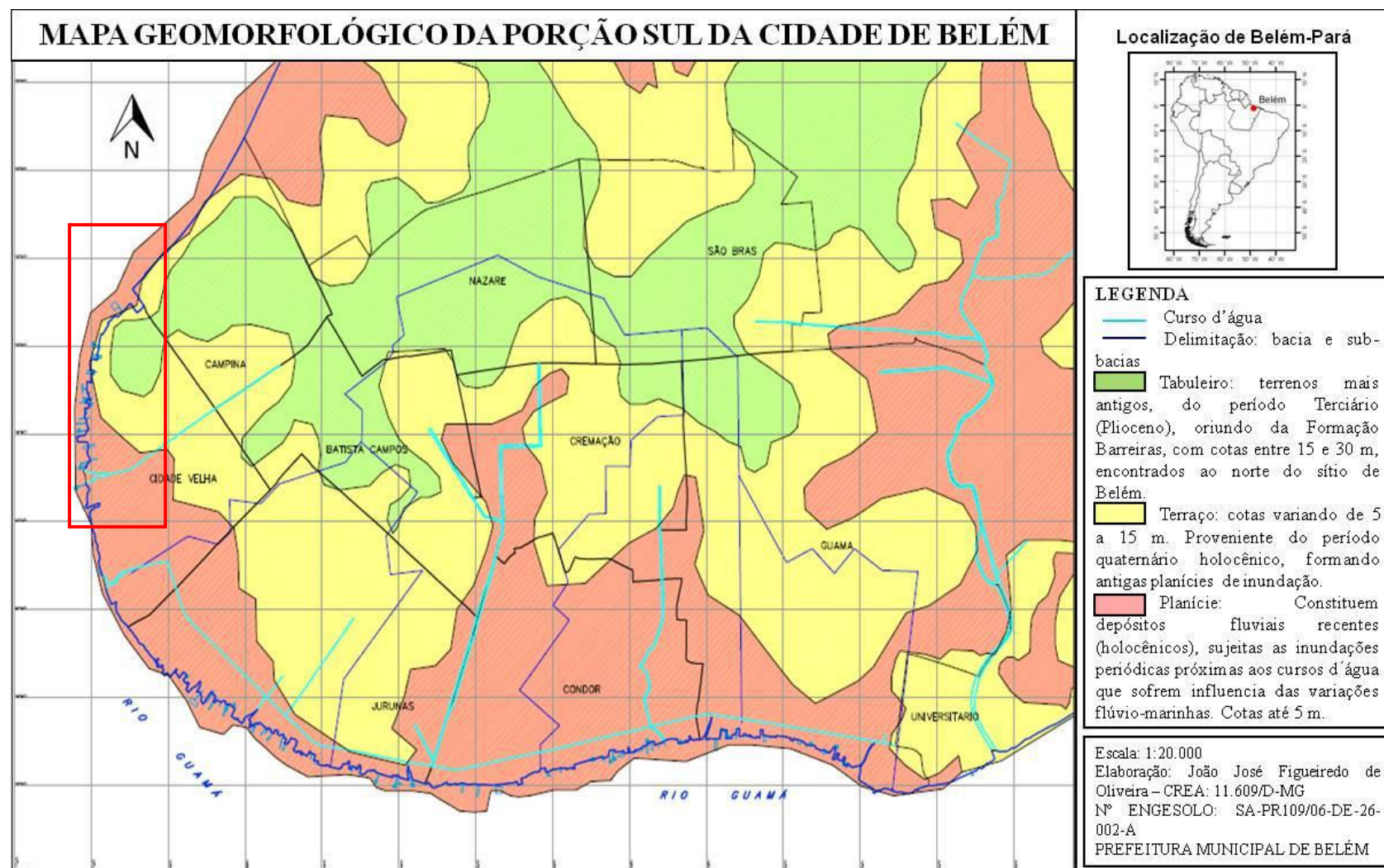
Como o homem pode alterar a configuração natural de um espaço? As construções urbanas e grandes obras de engenharia podem alterar a morfologia do terreno, e este pode ser um fator positivo (quando há um estudo efetivo e consciente das características do sítio que visem solucionar problemas urbanos, como as inundações) ou negativo (quando as informações sobre o meio físico da área são ausentes, insuficientes ou até mesmo não têm a devida importância reconhecida para a execução das obras e acabam gerando ou agravando situações de risco já existentes, como no caso dos alagamentos e inundações da área central de Belém) (ARAÚJO JUNIOR,2013). Na Figura 9 é mostrada a evolução dos efeitos da ação antrópica sobre a geomorfologia natural de uma região, que ilustra os eventos danosos que vem ocorrendo à paisagem natural da cidade de Belém.

Figura 9. Em A têm-se a instalação dos processos de urbanização, como o desmatamento e a terraplanagem, seguido pela ocupação da comunidade; os processos intempéricos começam a erodir a área, e os sedimentos vão sendo transportados e acumulados no rio. Como resultado, na área ocupada mais alta começam a surgir boçorocas, culminando na possível destruição das casas; já no rio, o assoreamento do leito leva às inundações, e a população que se instala nessas áreas convive diretamente



Fonte: acessado em 26/09/2016

Figura 7. Mapa Geomorfológico da porção sul de Belém do Pará. Em destaque estão as unidades geomorfológicas observadas na área deste trabalho.

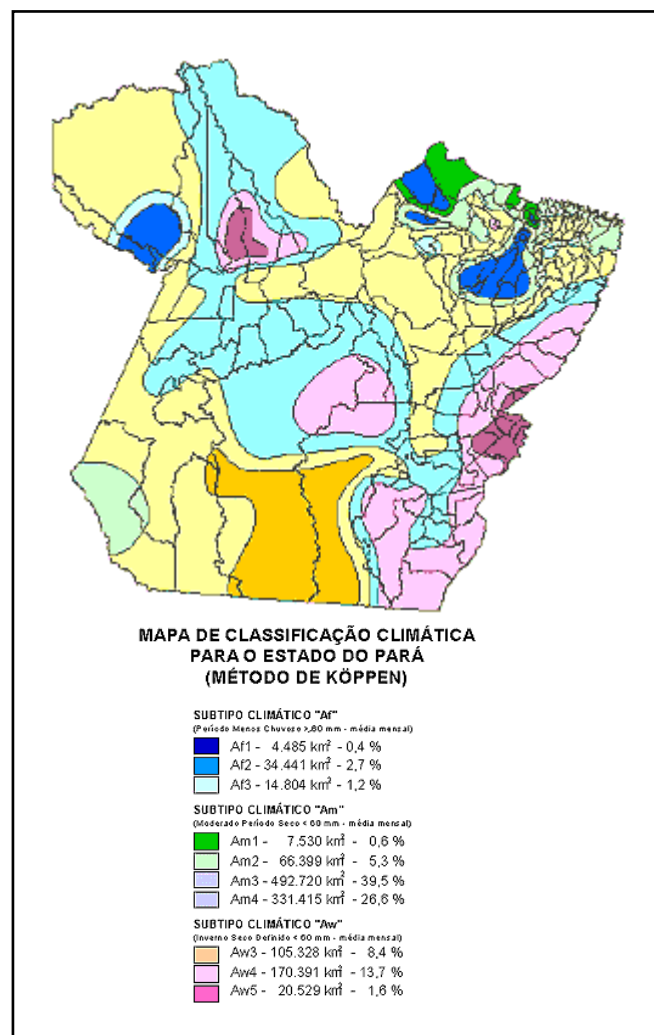


Fonte: Prefeitura Municipal de Belém, 2007.

### 2.2.3. Caracterização climatológica e meteorológica

A área de estudo deste trabalho localiza-se dentro da região metropolitana de Belém, nordeste do estado do Pará, que possui um clima caracterizado como quente e úmido devido sua localização próxima ao equador, com uma incidência de raios solares na superfície quase que perpendiculares, fazendo com que a temperatura do ar fique constantemente elevada ao longo do ano. A localização na porção oriental da Amazônia e sua adjacência ao Oceano Atlântico favorece os altos valores de umidade observados na região, esse vapor d'água é trazido pelos ventos alísios de nordeste que atuam em grande parte do ano. Na classificação climática de Köppen (Figura 10), a região está enquadrada na zona Afi que corresponde ao clima de Floresta Tropical, constantemente úmido, sem estação fria (INMET, 2016).

Figura 10. Classificação climática de Köppen para o Estado do Pará. A área destacada em vermelho diz respeito a região de estudo, classificada como Afi (Clima tropical úmido).

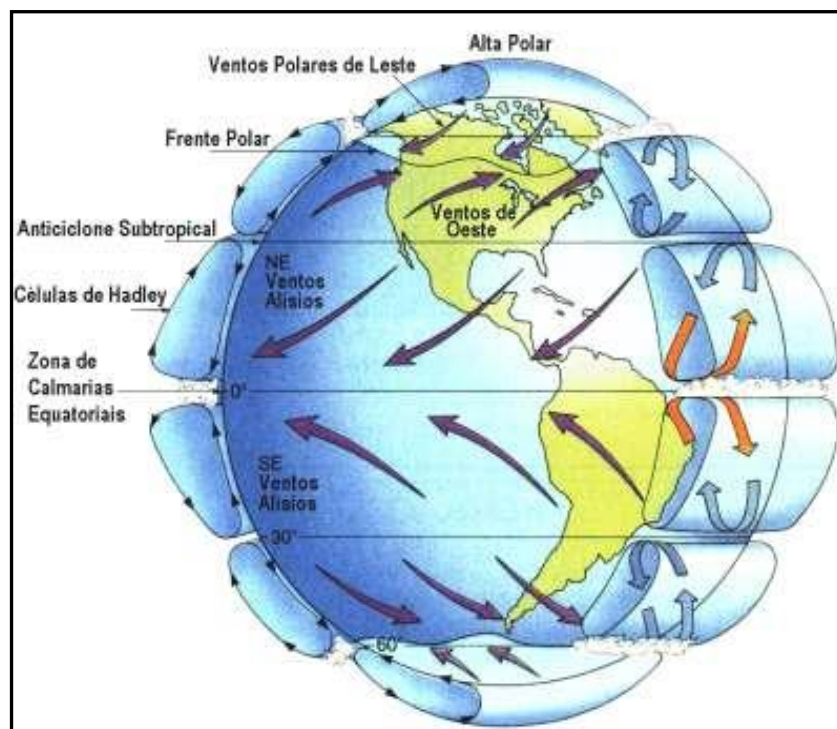


Fonte: disponível em <http://www.para30graus.pa.gov.br/classifica.htm>

A precipitação é um dos elementos climáticos mais importantes a ser analisado na região tropical, pois induz as características e o comportamento de outras variáveis, tais como temperatura (SANTOS *et al.*, 2006a), umidade relativa, etc. Nesse contexto o conhecimento desta variável é de grande importância para definição do clima da região em estudo.

Os principais sistemas que definem o comportamento médio espacial e temporal das chuvas no nordeste paraense e leste da Amazônia são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (UVO, 1989; ROCHA, 2001, SANTOS *et al.*, 2006b) e Linhas de Instabilidades (LI) (COHEN, 1989; COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995), que provocam fortes chuvas no verão e outono. A ZCIT, segundo Torres (2011), forma-se na área de baixas latitudes do globo, e nessa região ocorre o encontro dos ventos alísios vindos do sudeste com os provenientes do nordeste. Este encontro cria a ascendência das massas de ar, que são em geral úmidas. Segundo Waliser e Gautier (1993) a ZCIT constitui o ramo ascendente da célula de Hadley (Figura 11) com uma característica faixa de nebulosidade convectiva ao longo da região equatorial.

Figura 11. Imagem ilustrando a Célula de Hadley e outros sistemas relacionados ao comportamento médio das chuvas.



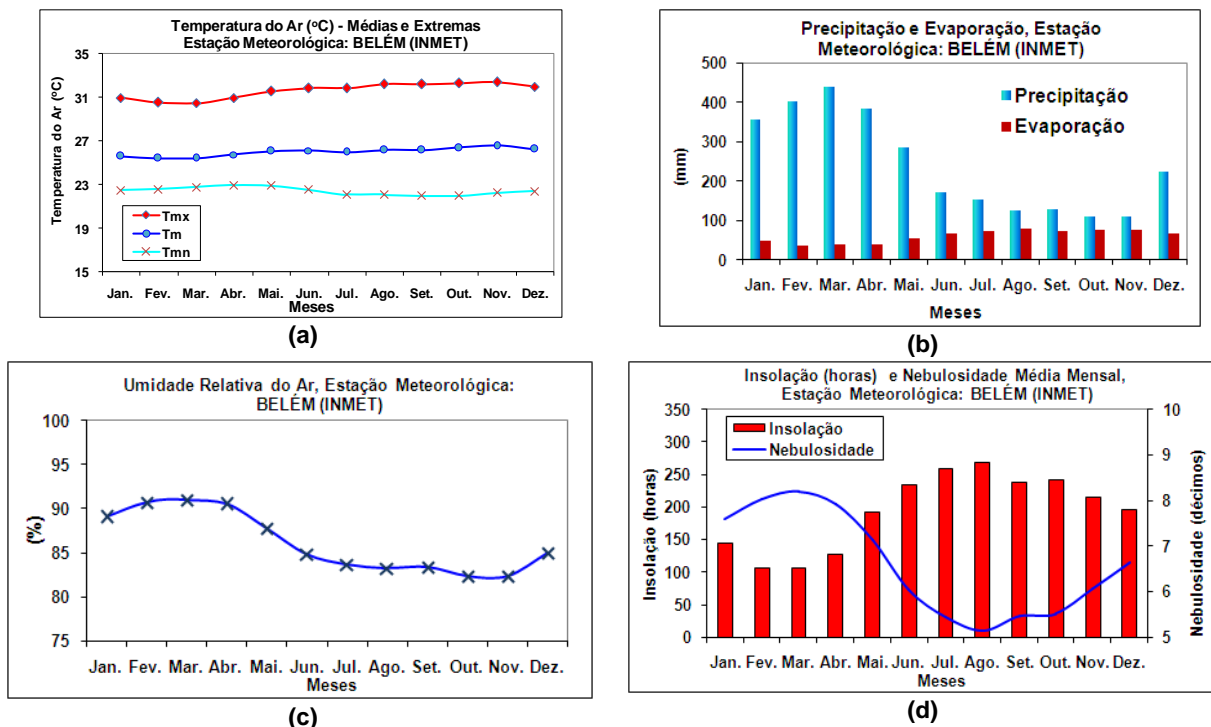
Por sua vez, LIs são caracterizadas por possuir grandes conglomerados de nuvens cumulo-nimbus e são formadas ao longo da costa devido à circulação de brisa marítima (COHEN, 1989). Nas outras estações do ano a região passa por um período de estiagem devido a ZCIT migrar para o Hemisfério Norte (HOREL *et al.*, 1989), porém, no inverno, a precipitação nesta região permanece em torno de 200 mm (ROCHA, 2001), devido às LIs que se propagam continente a dentro (LIPs) estarem na época de maior frequência (abril a agosto) (COHEN, 1989). Portanto entende-se que tais sistemas modulam o comportamento médio da precipitação no nordeste paraense, e influenciam indiretamente outros parâmetros meteorológicos.

Santos *et al.* (2007) mostram que no nordeste paraense o mês mais chuvoso é março com valores próximos a 700 mm no litoral, seguido do mês de abril com precipitações em torno de 400 mm. Segundo Souza e Ambrizzi (2003) esse comportamento está associado principalmente a ZCIT a qual atinge sua posição mais austral no Atlântico equatorial sul entre os meses de março e abril. Os meses de menor precipitação no nordeste paraense observados por Santos *et al.* (2007) são setembro e outubro com grande parte da região nordeste paraense registrando precipitações médias entre 0 e 50 mm.

### **2.2.3.1. Contexto climatológico e meteorológico da área de estudo**

O comportamento climatológico mensal das variáveis meteorológicas é observado na Figura 12, onde os dados utilizados são referentes à estação meteorológica de Belém, a qual é a mais próxima da área estudada. Esta estação está localizada na latitude 1,27° S, longitude 48,28° W e elevação 10,0 m operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com série histórica de 1923 a 2007.

Figura 12. Mostra o comportamento das variáveis meteorológicas para Belém, onde em (a) estão as médias extremas de temperatura no ar; (b) a relação precipitação/evaporação; (c) umidade relativa do ar e (d) relação insolação (em horas) e nebulosidade média mensal.



Fonte: INMET (2016).

### 2.2.3.1.1. Temperatura do ar

A temperatura do ar apresenta pequenas amplitudes ao longo do ano, com temperatura média anual ( $T_m$ ) em torno de  $26^\circ\text{C}$ , as temperaturas máximas ( $T_{mx}$ ) ficam em torno de  $32^\circ\text{C}$ , e assim como a  $T_m$ , os maiores valores ocorrem no mês de novembro e os menores no mês de março. As temperaturas mínimas ( $T_{mn}$ ) têm um comportamento inverso ao das máximas, com os maiores valores ( $22,9^\circ\text{C}$ ) no mês de abril e os menores valores ( $21,9^\circ\text{C}$ ) no mês de outubro. As temperaturas máximas e mínimas também apresentam pequena amplitude (Figura 12 (a)).

### 2.2.3.1.2. Precipitação e evaporação

O período chuvoso ocorre nos meses de dezembro a maio com máximas precipitações no mês de março em torno de 440 mm e mínimas no mês de novembro (109 mm). Na época mais chuvosa, a precipitação é relacionada à ZCIT, e pelos efeitos de meso-escala, como as linhas de instabilidades que se formam na costa Atlântica da Guiana e Pará (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995), conforme

discussão dos aspectos regionais. De junho a agosto, final do período chuvoso, as chuvas são provocadas por efeitos locais, como as brisas terrestres e marítimas e por Ondas de Leste (OL são fenômenos que se formam no campo da pressão atmosférica, ao longo dos alísios, na faixa tropical do globo) (VIANELO & ALVES, 1991). De setembro a novembro, período de estiagem, a precipitação geralmente é provocada pelos fenômenos de meso-escala (Figura 12 (b)).

A região é caracterizada por apresentar forte convecção, ar instável e alta umidade do ar favorecendo a formação de nuvens convectivas, dando origem a uma grande incidência de precipitação na forma de pancadas, principalmente no período da tarde, situação característica de regime de chuva do tipo continental (NECHET, 1996). A evaporação mostrou um comportamento inverso a precipitação, ou seja, maior evaporação no período menos chuvoso e menor evaporação no período mais chuvoso. Em anexo estão os gráficos das chuvas acumuladas em Belém de janeiro de 2010 a julho de 2016 (ANEXO A), e a análise destes evidencia que dentro dessa série histórica o maior pico de precipitação ocorreu em 2012, no mês de março, com precipitação acumulada de aproximadamente 720 mm .

#### *2.2.3.1.3. Umidade relativa do ar*

No gráfico da umidade relativa do ar (Figura 12 (c)), observa-se que o período de maior umidade (90%) está associado ao período chuvoso, assim como, o período menos úmido, com umidade em torno de 80%, ocorre no período menos chuvoso, caracterizando a região metropolitana de Belém como úmida. Observa-se que mesmo na época de menor precipitação a umidade observada na região é alta, associada a sua localização próxima ao oceano e a consequente entrada de umidade.

#### *2.2.3.1.4. Insolação e nebulosidade*

O período de maior insolação (junho a dezembro) está associado ao período de menor nebulosidade, logo, no período de maior nebulosidade (período chuvoso) observam-se os menores valores de insolação (Figura 12 (d)). Esse comportamento é coerente, uma vez que quanto maior for a cobertura de nuvens, menor será a penetração dos raios solares na atmosfera e no solo, e, conseqüentemente, quando

o céu está claro (sem cobertura de nuvens) os raios solares penetram mais facilmente na atmosfera e atingem o solo.

Os dados médios mensais das variáveis observadas na Figura 12 são mostrados na Tabela 2 com seus respectivos valores anuais, onde observa-se que a precipitação total anual na região metropolitana de Belém está acima de 2.800 mm com precipitação de 723 mm, umidade relativa média anual de 86%, temperatura média de 26°C (Tabela 2).

Tabela 2. Dados médios mensais de umidade, nebulosidade, precipitação, insolação e evaporação para a Região Metropolitana de Belém.

MESES	TEMPERATURA DO AR (°C)			UMID. REL. (%) MED.	NEB. (0 - 10) MED.	PRECIPIT AÇÃO TOTAL(M M)	INSOL. TOTAL (HS)	EVAP. PICHÉ (MM)
	Médias		Med. Comp.					
	Máx.	Mín.						
<b>Jan</b>	30,9	22,4	25,6	89	7,6	355,1	143,6	47,3
<b>Fev</b>	30,5	22,6	25,4	91	8,0	403,8	105,9	36,8
<b>Mar</b>	30,5	22,7	25,4	91	8,2	441,1	105,6	39,5
<b>Abr</b>	30,9	22,9	25,7	91	7,9	385,2	126,8	40,3
<b>Mai</b>	31,6	22,9	26,0	88	7,1	284,2	191,1	53,1
<b>Jun</b>	31,8	22,5	26,1	85	6,0	169,9	233,8	65,7
<b>Jul</b>	31,8	22,1	25,9	84	5,4	152,7	259,6	74,2
<b>Ago</b>	32,2	22,1	26,2	83	5,1	124,0	267,6	77,9
<b>Set</b>	32,2	21,9	26,6	83	5,5	126,9	237,4	71,9
<b>Out</b>	32,3	21,9	26,4	82	5,5	111,2	242,3	75,9
<b>Nov</b>	32,4	22,2	26,6	82	6,1	109,1	215,0	75,1
<b>Dez</b>	32,0	22,3	26,2	85	6,6	224,2	195,3	65,5
<b>Ano</b>	31,6	22,4	26,0	86	6,6	2887,2	2324,1	723,1

Fonte: INMET (2016).

#### 2.2.3.1.5. Direção e velocidade do vento

Os ventos na região metropolitana de Belém têm direção predominante à nordeste, associados aos ventos alísios vindo do nordeste do Hemisfério Norte. Em média, os ventos na área de estudo ocorrem com uma velocidade próxima a 10 km/h, classificada como aragem segundo a escala de Beaufort (Figura 13).

Figura 13. Quadro da Escala de Beaufort para a classificação de ventos, em destaque o tipo condizente com a região de Belém.

NÚMERO DA ESCALA	DESCRIÇÃO	VELOCIDADE EQUIVALENTE A UMA ALTURA PADRÃO DE 10 M(M/S)	ESPECIFICAÇÃO PARA OBSERVAÇÕES
0	Calmaria	0,00 - 0,20 0 - 0,72 k/h	Quando não se nota o menor deslocamento nos mais leves objetos, isto é, quando não há qualquer movimento perceptível no ar. A fumaça das chaminés eleva-se verticalmente.
1	Bafagem	0,3 - 1,5 1,08 - 6,12 k/h	Quando a fumaça das chaminés eleva-se com um pequeno desvio da vertical e mal se move a grimpas dos cata-ventos.
2	Aragem	1,6 - 3,3 7,0 - 12,0 k/h	Quando se sente o ar nas faces. As folhas das árvores movem-se ligeiramente.
3	Fraco	3,4 - 5,4 13 - 18,0 k/h	Quando se percebe o movimento das bandeiras e é constante o das folhas das árvores.
4	Moderado	5,5 - 7,9 19,0 - 26,0 k/h	Quando se percebe o movimento dos pequenos galhos das árvores, ou pedaços de papel e poeira são levantados do chão.
5	Fresco	8,0 - 10,7 27,0 - 35,0 k/h	Quando se distingue o movimento dos arbustos e dos galhos mais grossos das árvores ou se agita levemente a superfície das águas dos rios, riachos, lagos, etc.
6	Muito fresco	10,8 - 13,8 36,0 - 44,0 k/h	Quando se ouve o assobio do vento a entrar pelas frestas das casas ou ao passar pelos fios telefônicos; quando se ouve o ruído proveniente de seu encontro com diferentes objetos de grandes dimensões e os galhos maiores das árvores são agitados. Torna-se difícil o uso do guarda-chuva.
7	Forte	13,9 - 17,1 45,0 - 55,0 k/h	Quando se nota o balanço dos troncos das pequenas árvores.
8	Muito forte	17,2 - 20,7 56,0 - 66,0 k/h	Quando agita e verga as árvores; com esta velocidade o vento oferece sensível resistência a quem marcha em direção contrária a ele.
9	Duro	20,8 - 24,4 67,0 - 77,0 k/h	Quando se deslocam os objetos relativamente pesados, tais como: telhas, etc.
10	Muito duro	24,8 - 28,4 78,0 - 90,0 k/h	Quando as árvores são derrubadas e as casas destelhadas; produz danos materiais; de ocorrência rara no interior dos continentes.
11	Tempestuoso	28,5 - 32,6 91,0 - 104,0 k/h	Quando resultam graves destruições; as árvores são arrancadas completamente, etc. Observado muito raramente no interior dos continentes.
12	Furacão	32,7 104,0 k/h	Quando as construções são arrasadas e produz outros efeitos devastadores; vento repentino e impetuoso. Observado raríssimas vezes.

Fonte: INMET (2016).

#### 2.2.3.1.6. Balanço Hídrico

O Balanço Hídrico (BH) feito para região utilizou a planilha no ambiente excel TM desenvolvido por Rolim et al. (1998). Rolim *et al.* (1998) utilizaram o método de Thornthwaite & Mather (1955) para o cálculo do BH, este método considera que a variação do armazenamento (ARM) de água do solo é uma função exponencial que envolve capacidade de água disponível (CAD) (Função da profundidade de exploração efetiva das raízes e características físicas do solo) e perda de água acumulada (Negativo Acumulado). Para a estimativa da Evapotranspiração Potencial (ETP) os programas utilizam o procedimento proposto por Thornthwaite (1948), o qual tem a vantagem de necessitar apenas dos dados de temperatura média do ar dos períodos e da latitude local e fornece resultados confiáveis entre as latitudes de 40°N e 40°S (DOURADO NETO; VAN LIER, 1991). A Evapotranspiração Real (ETR) também foi estimada pelo BH.

A precipitação e a temperatura média utilizada como parâmetro de entrada no Balanço Hídrico foi obtida da estação meteorológica de Belém.

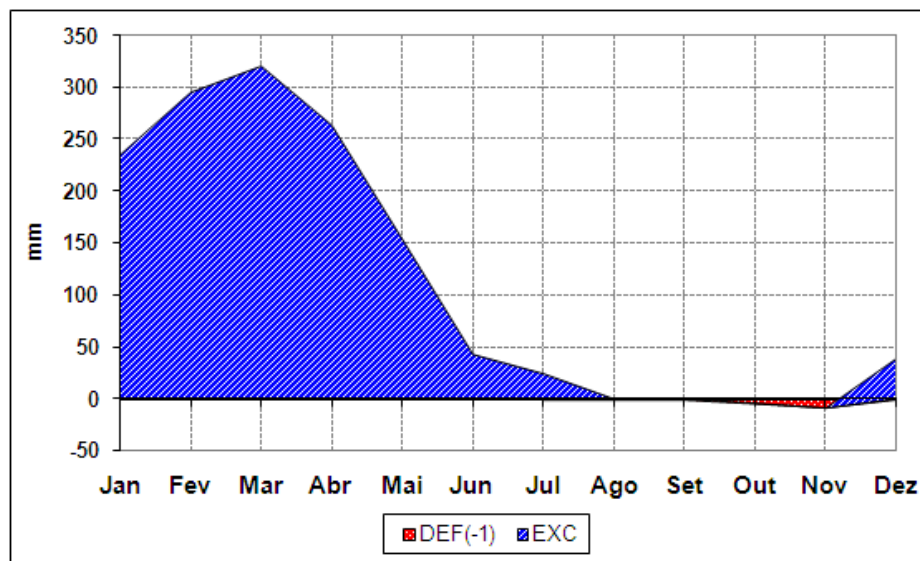
O resultado do Balanço Hídrico para a área de estudo é mostrado na Figura 14 e na Figura 15, onde é observado um curto período de déficit hídrico que vai de agosto a novembro, caracterizando o período de estiagem onde se tem um mínimo de disponibilidade hídrica. Por outro lado, o excedente (potencial) hídrico ocorre no período de dezembro a julho, período de pouca variação entre a evapotranspiração potencial e a real.

O comportamento mensal das variáveis: precipitação, ETP (evapotranspiração potencial) e ETR (evapotranspiração real) podem ser visualizados na Figura 15. A evapotranspiração potencial (ETP) corresponde ao processo de transferência da água do solo para a atmosfera, ou a passagem da água do estado líquido para o gasoso. Tal processo requer suprimento de energia, e a única fonte disponível para isso é a radiação solar. Já a evapotranspiração real consiste na soma total da transferência de vapor para a atmosfera que é evaporada pela superfície e transpirada pelas plantas nas condições atuais de parâmetros atmosféricos, umidade do solo e condições da cultura

Desta forma, analisando as variações de ETP e ETR nota-se que estas possuem valores máximos nos meses onde os raios solares estão incidindo

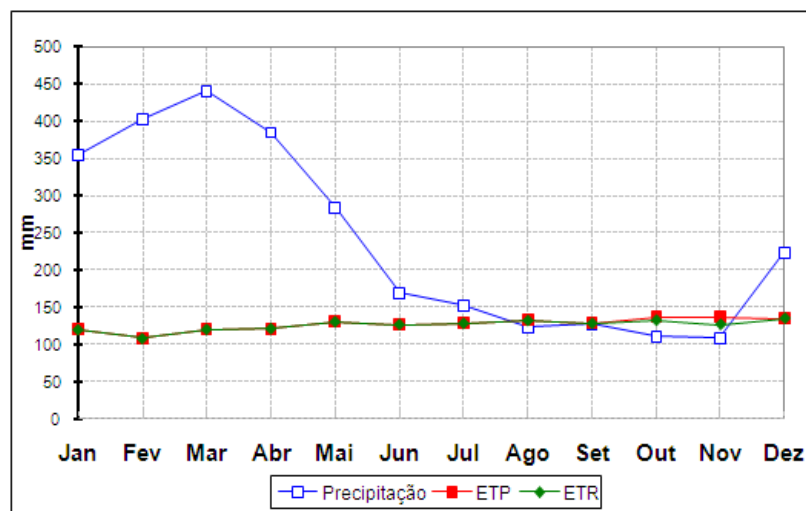
diretamente na região equatorial e a nebulosidade é mínima (primavera), que são os meses de outubro e novembro. Quando a umidade no solo é suficiente, a evapotranspiração potencial depende apenas do suprimento de energia solar, se faltar água no solo a evapotranspiração ficará reduzida, deixando assim de ser potencial; ocorrerá, então, a evapotranspiração real, menor que a potencial. Logo entende-se que de dezembro a julho não há restrição hídrica para atender às necessidades da evaporação do solo e da transpiração.

Figura 14. Extrato do balanço hídrico mensal considerado para a área de estudo.



Fonte: INMET, 2016.

Figura 15. Comportamento mensal das variáveis: precipitação, ETP (evapotranspiração potencial) e ETR (evapotranspiração real).



Fonte: INMET, 2016

### 2.2.3.1.7. *Marés*

As marés astronômicas são resultado da interação das forças de atração gravitacional da Lua e do Sol sobre as massas líquidas e da força centrífuga dos sistemas Terra-Sol e Terra-Lua, devido à contínua variação da posição relativa dos astros. Sua característica principal é o fato de ser periódica e, conseqüentemente, previsível. Os principais movimentos orbitais que influenciam as oscilações da maré são: o movimento de revolução da Lua, em órbita elíptica em torno da Terra, com um período de 29,5 dias, a revolução da Terra, em órbita elíptica em torno do Sol, com um período de 365,25 e a rotação da Terra, em torno do seu próprio eixo, com um período de 24 horas ou um dia solar (PINHEIRO,1987).

As oscilações de subida e descida do nível do mar, denominadas respectivamente de enchente e vazante, estão associadas com correntes de maré, com estofas de defasagem variável com a preamar e baixa-mar.

Considerando o sistema Terra-Lua, a força centrífuga do sistema equilibra exatamente as forças de atração gravitacional entre os dois corpos, de modo que o sistema como um todo se mantém em equilíbrio. A composição das forças centrífugas com as forças de atração gravitacional da Lua, direcionadas para o centro da Lua, darão resultantes de forças conhecidas como forças geradoras da maré.

Os planos de rotação da Lua e do Sol em relação à Terra não são fixos e sofrem mudanças com o passar do tempo. As órbitas do Sol e da Lua são elípticas em vez de circulares. A adição desse fator torna a predição e compreensão das marés algo bem complexo.

A forças que devem ser consideradas para efeito da propagação da maré são as forças horizontais, denominadas forças atrativas pois são elas que produzem o movimento das águas. Fazendo uma analogia com o exposto anteriormente, as forças gravitacionais geradas pelo Sol também têm influências sobre as marés, com correspondentes forças trativas. Entretanto, sua magnitude corresponde a 46% das lunares, isso se explica ao fato do Sol estar 360 vezes mais distante da Terra do que a Lua. A maré solar tem período semidiurno de 12 horas (PINHEIRO, 1987).

A compreensão e análise do fenômeno das marés tem por objetivo reproduzir parâmetros significativos, estáveis temporalmente, que descrevem o regime

dinâmico das marés em um local específico de observação. A teoria mais aceita para a modelação do comportamento das marés, segundo Franco (1988) apud Souza (2006), é o Método Harmônico, baseado principalmente nas investigações de Laplace, que considera a maré como a soma de um número finito de constituintes harmônicas, cujas velocidades angulares e fases são determinadas a partir de argumentos astronômicos.

As marés registradas em qualquer lugar da Terra podem, genericamente, ser classificadas em três tipos: semidiurna, diurna e mista. A seguir é definida cada uma delas, segundo Pinheiro (1987):

Semidiurna: provoca duas subidas e duas descidas no nível da água por dia. Apresentam duas preamares e duas baixa-mares por dia. A principal constituinte da maré é a componente lunar semidiurna M2 e a componente solar S2. Os desvios dos movimentos reais com relação às órbitas regulares são calculados através da introdução de constituintes semidiurnas adicionais (N2, K2, etc). Esse é o tipo predominante de maré em todo mundo, como no rio Arienga, que está localizado em Abaetetuba (PA), por exemplo.

Diurna: provoca apenas uma subida e uma descida no nível d'água por dia, correspondendo à periodicidade de um dia lunar. São explicadas pela declinação da Lua e do Sol, sendo responsáveis por importantes diferenças entre as sucessivas subidas e descidas. Por conseguinte, apresentam apenas uma preamar e uma baixamar por dia.

Mistas: existe uma grande desigualdade na variação vertical entre os dois ciclos diários.

#### ➤ Correntes de Maré

As correntes de maré são produzidas pela oscilação das marés. Apresentam como característica básica a periodicidade. Dentre todas os tipos de correntes, as correntes produzidas pela variação da maré são as de maior importância para o trabalho em questão, merecendo explicações adicionais.

De acordo com Ippen (1966), as correntes de maré podem ser giratórias, alternativas ou hidráulicas. As correntes giratórias têm como a característica a possibilidade de tomarem qualquer direção, sendo verificadas normalmente em

zonas profundas do mar, onde a massa líquida não está confinada ou delimitada pelo continente.

As correntes alternativas, como o próprio nome indica, possuem caráter praticamente bidirecional, apresentando uma rosa de corrente muito achatada em decorrência dos fluxos de enchente, iniciados após a baixa-mar e de vazante, iniciados após a preamar (IPPEN, 1966).

As correntes induzidas por ondas de superfície presentes na zona de arrebatção podem gerar movimentos que induzirão erosão e conseqüentemente, transporte de sedimentos ao longo da praia. O atrito do vento com a superfície dos oceanos provoca o aparecimento das correntes de deriva (IPPEN, 1966).

### **2.3. Técnicas de geoprocessamento aliadas ao estudo de desastres**

A demasiada ocorrência de desastres naturais no mundo fez com que a ONU (Organização das Nações Unidas) instituisse, em 2000, a Eird (Estratégia Internacional para a Redução de Desastres), com o objetivo de unir e coordenar projetos humanitários e pesquisas que visassem a redução de desastres. Este tema começou a ser abordado com maior veemência no Brasil recentemente, no entanto é notável um significativo esforço para tentar minimizar os danos dessas ocorrências, principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Santos (SAUSEN & LACRUZ, 2015).

Castro (1999) agruparam as atividades que a defesa civil deve executar em quatro processos, que são: prevenção e mitigação, preparação, resposta e reconstrução. De acordo com Eird (2009), o conceito de prevenção de desastres é “evitar por completo os possíveis impactos adversos por meio de diversas ações planejadas e realizadas antecipadamente”. Já a mitigação consiste em amenizar/limitar o impacto do desastre. A preparação diz respeito aos conhecimentos e habilidades desenvolvidos pelos governos, profissionais, organizações de resposta e recuperação, comunidades e indivíduos com a finalidade de antecipar, responder e recuperar de modo eficaz os impactos de eventos iminentes ou prováveis, ou condições relacionadas com uma ameaça.

Os conceitos de resposta e restauração, segundo Eird (2009) são respectivamente “o fornecimento de emergência e assistência pública durante ou imediatamente após a ocorrência de um desastre, a fim de salvar vidas, reduzir impactos na saúde, garantir a segurança pública e satisfazer as necessidades básicas e os meios de subsistência da população afetada” e “restauração e melhoria, quando necessário, dos estabelecimentos, instalações, meios de subsistência e as condições de vida das comunidades afetadas por desastres. Nisto está incluído esforços para reduzir fatores de risco de desastres”. Tendo em vista os conceitos destes processos surge a questão: como o sensoriamento remoto pode ser usado em cada um deles?

Nos últimos anos o estudo desses processos pôde contar com o sensoriamento remoto em cada fase, sendo considerado uma ferramenta de suma importância, principalmente na preparação, com destaque para o monitoramento e alerta. Sausen & Lacruz (2015) citam que no caso dos processos hidrológicos como as inundações, a utilização de sensores locais de níveis de rios instalados em plataformas de coleta de dados associados ao conhecimento da dinâmica hidrológica da bacia como um todo são fundamentais para a realização de um efetivo monitoramento. Esse monitoramento pode ocorrer, por exemplo, por meio da observação diária de imagens com alta resolução de uma mesma área e compará-las com dados de vazão e nível dos rios fornecidos pela estação meteorológica mais próxima da área de ocorrência.

Já quando se fala de resposta a desastre o uso do geoprocessamento é extremamente relevante para se tomar conhecimento da extensão da área afetada para que as ações de resposta possam ter maior efetividade. Na fase pré-desastre a avaliação da área com imagens de alta resolução é muito mais facilmente adquirida, o que não ocorre na fase pós-desastre devido ao tempo restrito, de modo que imagens com resolução espacial de 250 m são suficientes para avaliar o tamanho da região atingida. No entanto, de acordo com Parks (2012) o sensor *Lidar* é uma ótima ferramenta para coleta de dados pós-desastre, que possui resolução detalhada. As informações geradas por este sensor de detalhe podem ser usadas para criar um mapa da área afetada com detalhes para regiões com alta vulnerabilidade a inundação, assim como ajudar na localização de abrigos e hospitais próximos para o remanejamento adequado de pessoas.

O sensoriamento remoto na fase de recuperação é aplicado principalmente na comparação de delimitação do território (imagens de alta resolução de antes e depois do desastre ocorrido), uma vez que o desastre pode desconfigurar os limites físicos das ocupações e propriedades, e também pode ser usado como ferramenta para direcionar a reconstrução/povoamento adequada, evitando a reocupação de áreas com potencial risco geológico/hidrológico.

Dessa forma, compreende-se que a utilização do sensoriamento remoto para minimizar danos é de suma importância em cada fase da ocorrência de desastres em uma área. Em Belém o uso destas ferramentas ainda é extremamente limitado, principalmente no que diz respeito as fases de prevenção/mitigação, monitoramento e resposta, uma vez que os eventos de inundação ocorrem em geral em um período restrito do ano já conhecido pelos moradores e governantes e nenhuma medida realmente efetiva utilizando as ferramentas do geoprocessamento tem sido tomada ao longo dos anos.

## CAPÍTULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. Metodologia adotada

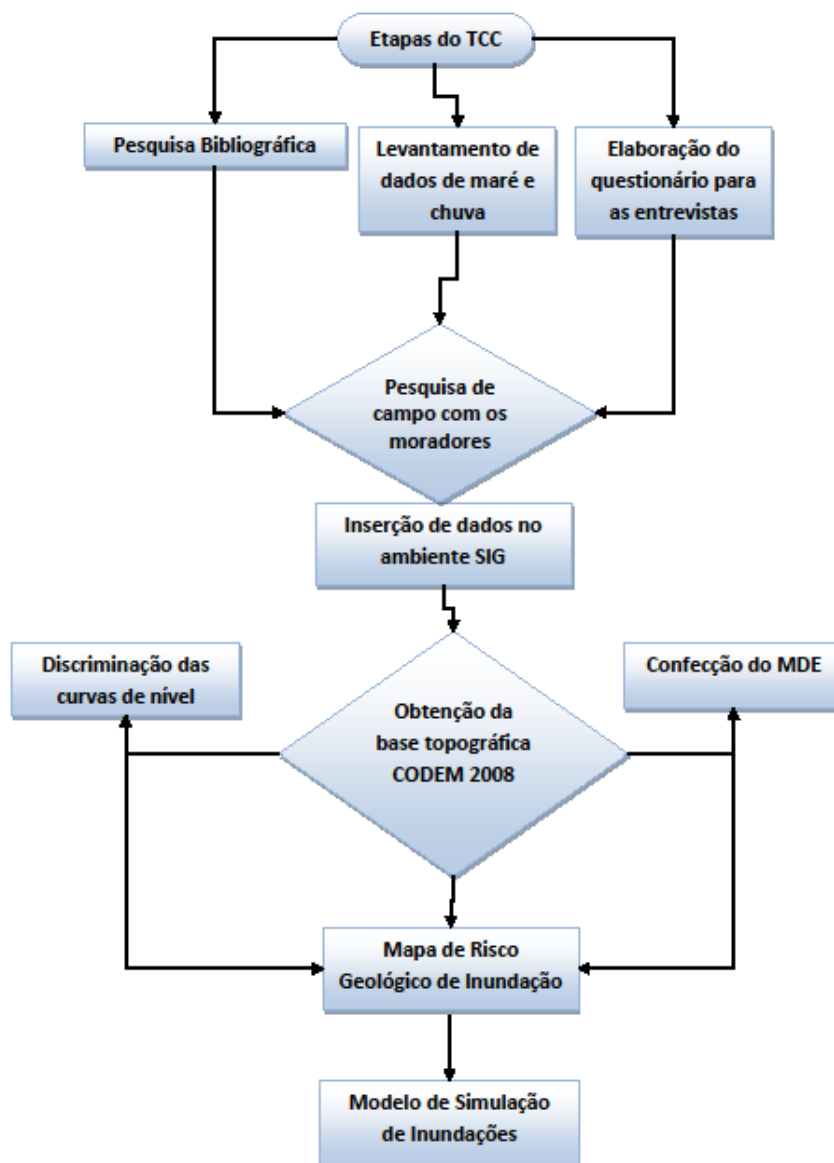
A metodologia empregada para execução deste trabalho tem como idéia principal elaborar um mapa de inundações dos bairros Reduto, Campina e Cidade Velha em Belém (PA), com base principalmente na topografia da região e nas entrevistas realizadas com a população residente na área, cujo objetivo consiste em elaborar um conjunto de medidas preventivas e mitigadoras contra inundações nestas áreas de riscos, a fim de contribuir junto ao poder público no gerenciamento e na tomada de decisão para amenizar os efeitos naturais de cheia da Baía do Guajará e também os provenientes das ações antrópicas no meio urbano.

Como base de dados foi utilizada a base topográfica da CODEM do ano de 2008, o arquivo em formato *shape* da malha rodoviária de Belém, além de fontes bibliográficas acerca do tema inundações e dados de jornais e revistas de janeiro de 2006 até junho de 2016 que reportaram inundações e alagamentos na área de estudo. Os procedimentos para realização do trabalho estão descritos a seguir:

1. Levantamento bibliográfico sobre o meio físico e geológico da região, além de arquivos sobre a história da ocupação da cidade de Belém, e sobre a climatologia e meteorologia geral da área de estudo. Este levantamento incluiu além de fontes acadêmicas (teses, dissertações, artigos), uma busca em jornais e revistas reportagens sobre inundações e alagamentos significativos desde janeiro de 2006 até junho de 2016 (ANEXO B).
2. Elaboração de um questionário avaliativo sobre as problemáticas das inundações à comunidade presente na área de estudo que foi utilizado durante as entrevistas realizadas com a população durante todo o trabalho. Os dados coletados foram inseridos no arquivo *shapefile* de vias utilizando o programa *ArcMap 10.2*, onde houve a classificação das ruas por: *inundam*, *não inundam*, *somente as casas inundam*, de acordo com a pesquisa de campo (APÊNDICE A).
3. Obtenção da base topográfica com curvas de nível de dois em dois metros elaborada pela CODEM no ano de 2008, a partir do qual se elaborou um DEM (modelo digital de elevação) gerado pela ferramenta *Krigagem* do programa *Surfer* (Figura 8).

4. Confeção do Mapa de Risco Geológico de Inundações na área central de Belém (APÊNDICE C), utilizando as curvas de nível com espaçamento de dois em dois metros e os dados coletados durante as entrevistas com a população residente na região, e confeção do Modelo de Simulação de Inundações a partir do DEM utilizando o programa *Global Mapper*.

Figura 16. Fluxograma da metodologia utilizada nesta monografia.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3.1.1. Entrevistas de campo

As entrevistas de campo foram realizadas durante todo o processo de execução deste trabalho, iniciando em março/2016 e finalizando em setembro/2016, somando um total de 6 meses. Para a realização das entrevistas foi elaborado um questionário avaliativo com o tema “problemática das inundações para os moradores da área de estudo”, constituído de 4 perguntas de múltipla escolha e 3 discursivas (APÊNDICE A), com o intuito de fornecer subsídios a este trabalho, no que concerne a confirmação das vias que inundam e que não inundam, além de dados sobre consciência ambiental da população.

Estes dados foram inseridos no banco de dados do arquivo *shapefile* de vias, onde foram discriminadas com base nas entrevistas a relação entre as inundações e cada uma das ruas. Essas informações foram comparadas com o arquivo *shapefile* de curvas de nível e com o DEM produzido para a área, gerando o produto final deste trabalho, o Mapa de Risco Geológico de Inundações da área central de Belém (PA).

É relevante ressaltar que a pesquisa de campo revelou um dado bastante importante sobre o nível de informação da população sobre a causa das inundações na região. Desta forma, de acordo com as respostas para a questão “Em sua opinião qual a causa maior das enchentes e como esse problema poderia ser solucionado”, 70% das pessoas entrevistadas afirmam que a falta de saneamento urbano, lixo nas ruas e pouca ou quase nenhuma educação ambiental sejam a única causa das inundações e alagamentos na região, seguido por 15% dos entrevistados que apontam somente as causas naturais como a maré alta e os períodos de alta pluviosidade, 12% que dizem que a causa das inundações é na verdade um somatório de fatores naturais e influência antrópica e 3% que não souberam ou não opinaram sobre a causa (Figura 17). Com isso é notável a necessidade de se elaborar projetos que visem não apenas instruir a população acerca da educação ambiental, como também sobre o quadro geológico-climatológico da região, uma vez que as inundações na área central de Belém são causadas primariamente por questões naturais da região, mas que a ação antrópica atua como um agravante quando na ocorrência desse desastre.

Figura 17. Gráfico elaborado a partir da análise quantitativa de respostas à questão que aborda a causa e solução das inundações na área de estudo, disposta no questionário elaborado para este trabalho (APÊNDICE A).



Fonte: Elaborado pelo Autor.



## CAPÍTULO 4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Mapa de Risco Geológico de Inundação na área central de Belém

A partir da análise dos diversos fatores (naturais e antrópicos) responsáveis pela ocorrência de inundações nos bairros do Reduto, Campina e Cidade Velha, foi confeccionado o Mapa de Risco Geológico de Inundação da Área Central de Belém (Figura 18 e 19 – APÊNDICES C e D). Este mapa foi projetado através da sobreposição das curvas de nível com o *shape* das ruas classificadas como: *inunda* (cor azul), *não inunda* (cor amarela) e *somente as casas inundam* (cor vermelha) que foram criadas a partir das entrevistas realizadas na área com a população residente.

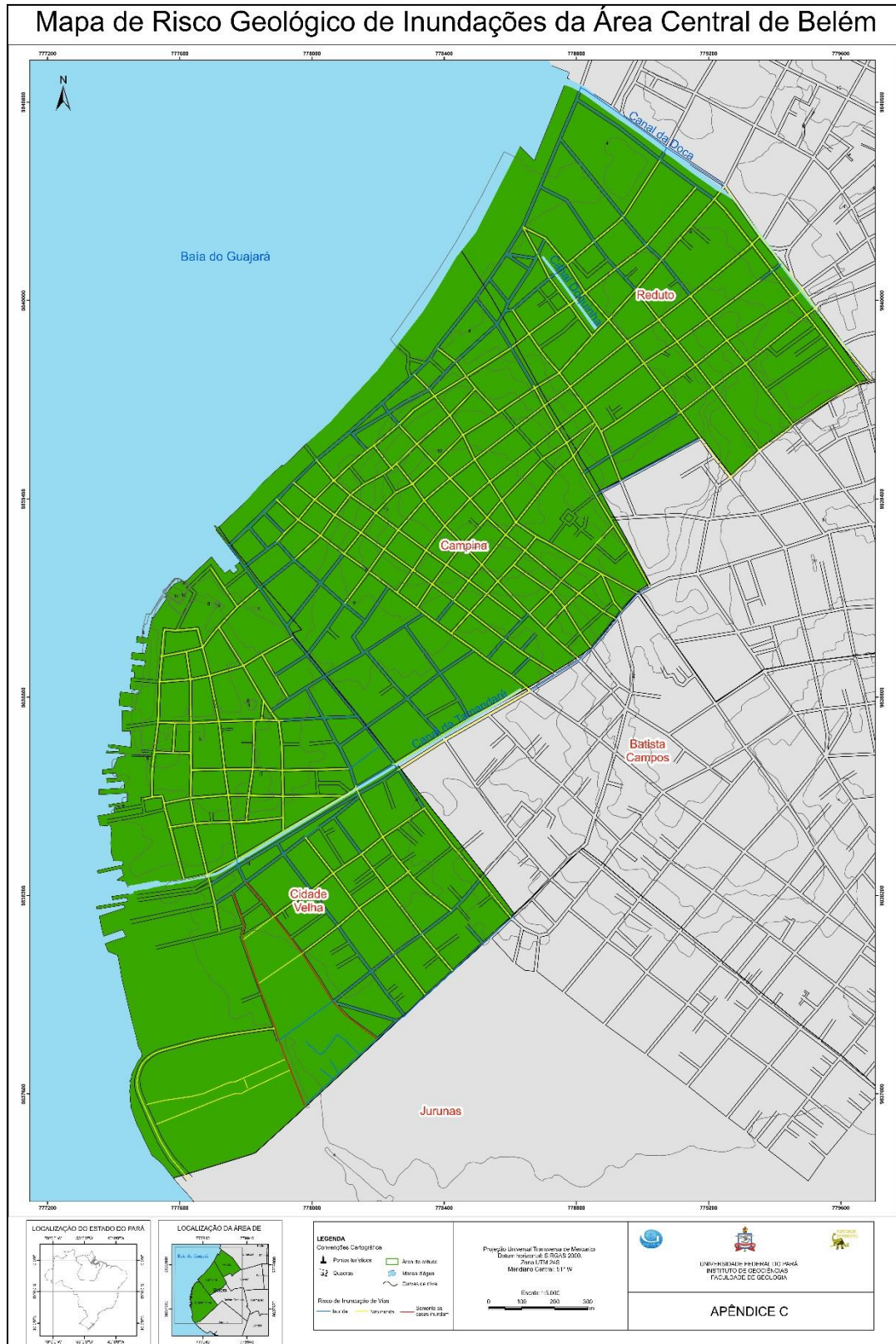
A sobreposição das curvas de nível (intervalo de dois em dois metros) ao *shape* das vias mostrou que cerca de 90% das ruas que estão localizadas na cota 4 e inferior a esta são inundadas em períodos de alta pluviosidade + maré alta e também apenas quando a maré está alta; algumas vias que estão na cota 5 (apenas no bairro da Campina) também chegam a inundar em situações de chuva forte somada a maré alta. Segundo a Defesa Civil de Belém, a cota de alerta de inundação para a área de estudo é de 3,50 m (sem chuva) e de 3,40 m (com chuva forte). De acordo com Miranda e Mendes (2007) o setor sul da Baía do Guajará (onde está alocada a área de estudo) possui bancos de aproximadamente 3 m, desta forma com um aumento de 40-50 cm na maré já está acionada a situação de risco (utilizando os critérios da Defesa Civil de Belém). Assim, para evidenciar as áreas que possuem risco alto, risco médio e risco baixo de serem inundadas foi realizada uma análise quantitativa das vias que sofrem com as inundações e estas foram enquadradas segundo os parâmetros da Defesa Civil de Belém (Figura 20).

Figura 20. Determinação do grau de risco relacionado a altura da maré com ou sem ocorrência de chuvas para a área a Cidade de Belém, segundo o Boletim de Alerta Hidroclimático Diário da Defesa Civil de Belém.

Altura da maré (m)	Sem chuva 	Com chuva 	Nível de Risco
3,50	Médio	20-30	Alto
		30-40	Alto +
		> 50	Altíssimo
3,60	Alto	10-20	Alto+
		> 20	Altíssimo
3,70	Alto +	> 10	Altíssimo

Fonte: Defesa Civil Municipal de Belém/TC SUDAM/UFPA 2016.

Figura 18. Mapa de Risco Geológico de Inundações da Área Central de Belém (Ver APÊNDICE C)



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 19. Mapa de Risco Geológico de Inundações da Área Central de Belém (PA) com imagem de alta resolução Google Earth Pro (2016). Nesta versão do mapa estão destacados registros de inundações por maré alta e lixo nas ruas (catalizadores) que corroboram para os alagamentos mesmo em cotas mais altas. Em 1 têm-se registro de inundação na Av. Visconde de Souza Franco e em 2 a Marechal Hermes, no bairro do Reduto; em 3, uma considerável porção do “Ver-o-peso” encontra-se inundada assim como em 4 e 5, em parte da Rua 15 de Novembro, no bairro da Campina. Em 6, 7 e 8 têm-se a Av. Tamandaré e 9 (Av. Bernardo Sayão) observa-se uma situação comum nas bordas dos canais e obras, lixo acumulado. (Ver APÊNDICE D)



Fonte: Elaborado pelo Autor.

As áreas com risco alto de serem inundadas estão localizadas entre as cotas 0e 4, nos bairros da Campina e da Cidade Velha. No bairro da Campina, estas vias estão localizadas na região conhecida como “Comércio” e “Ver-o-peso”, que comportam um centro comercial abundante que sofre com as cheias, como mostra a Figura 21 A e B. Já no bairro da Cidade Velha, a área de risco ocorre na Avenida Bernardo Saião, Rua Cesário Alvin, Travessa Monte Alegre e na Travessa de Breves, onde nesta última durante as marés altas e também em fortes chuvas ocorre a inundação não da rua em si, mas das residências, como relatado pelos moradores da área. Este processo bastante danoso para a população local ocorre em função do desnível da rua em relação às casas, e vem ocorrendo desde que o processo de macrodrenagem da Avenida Bernado Saião foi instalado. Por ser uma situação bastante delicada para a comunidade, é sugerido um estudo mais aprofundado sobre este tema para que as soluções cabíveis sejam tomadas.

Figura 21. Na imagem A observa-se a inundação das vias Avenida Portugal e Rua 15 de Novembro, e na imagem B observa-se a inundação da Rua Conselheiro João Alfredo. Ambas estavam inundadas no dia 25/06/2016, por volta das 14:00 horas e pertencem ao bairro da



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A área com risco médio de inundação está entre as cotas 5 e 6 e ocorre apenas no bairro do Reduto, nas proximidades da Avenida Visconde de Souza Franco e Rua Marechal Hermes como mostra a Figura 22 A e B. A inundação neste setor ocorre mais comumente quando a alta pluviosidade está aliada à maré alta.

Figura 22. As imagens A e B são referentes à Rua Marechal Hermes inundada no dia 25/06/2016, quando os dados de maré apontaram 3,2 m.

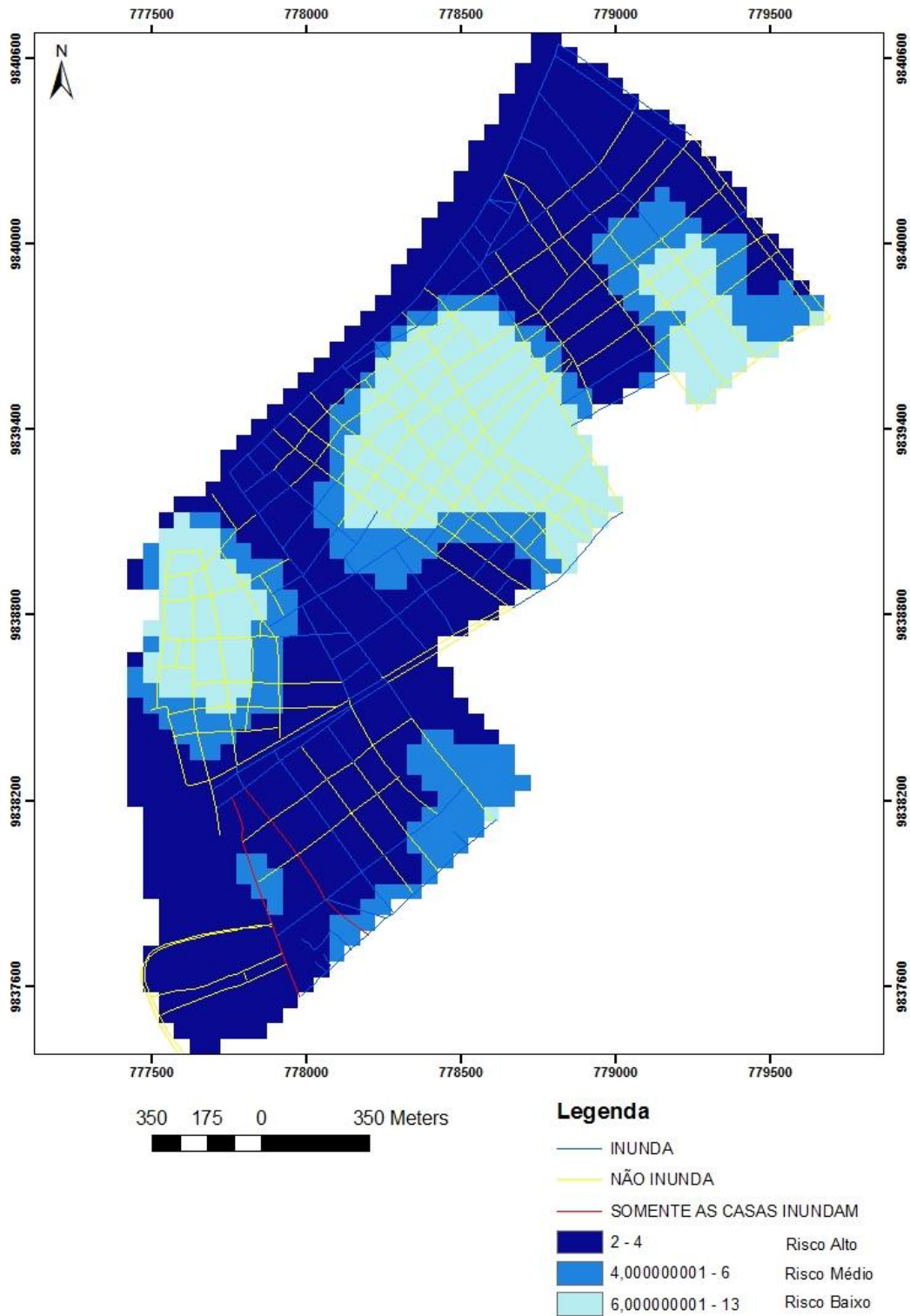


Fonte: Elaborado pelo Autor.

As áreas classificadas como de baixo risco de inundação são regiões topograficamente mais altas em detrimento das áreas que possuem risco alto e médio, estando em cotas que vão de 6 a 12 metros. Estas vias estão localizadas nos bairros da Campina e da Cidade Velha, e apesar de não serem reportados eventos de inundação com uma frequência significativa, esta área sofre com os alagamentos que são produtos de uma rede de drenagem e escoamento sucateada e do lixo excessivo nas ruas. Este tema será detalhado a seguir.

Desta forma, na Figura 23 está ilustrado o zoneamento da área central de Belém segundo o grau de risco a inundação, que foi elaborado levando em conta a análise do grau de risco à inundação da área de estudo segundo a Defesa Civil de Belém e a análise quantitativa de classificação das vias em inunda, não inunda e somente as casas inundam, sendo esses dados relacionados com a topografia. O Risco Alto ocorre entre as cotas 2-4 m e é representado pelo azul mais escuro. Nota-se que a maior parte das vias que inundam (segundo as entrevistas) estão dispostas neste polígono, condizendo com os outros resultados apresentados neste trabalho. O Risco Médio está entre as cotas 4-6 m, representado pelo azul intermediário. Neste polígono também estão localizadas as vias que inundam e também ocorrem vias que não inundam. Por último têm-se o Risco Baixo, com cotas de 6-13 m, onde ocorrem apenas vias classificadas como não inunda.

Figura 23. Zoneamento dos graus de risco à inundação levando em conta a topografia da área, o grau de risco à inundação estabelecido pela Defesa Civil de Belém, e a classificação das vias em inunda, não inunda e somente as casas inundam, elaborada durante a pesquisa de campo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### **4.1.1. Correlações entre a topografia e as áreas recorrentes de inundação (Modelo de Simulação de Inundações)**

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho a correlação entre a topografia e as inundações da área central de Belém foi deveras citada, mas não foi abordada singularmente. Neste tópico essa relação será melhor explorada com o auxílio do Modelo de Simulação de Inundações para esta área, que foi confeccionado a partir do DEM (modelo digital de elevação) e das informações sobre a tábua de maré e cota de alerta de inundação, cedidas respectivamente pelo site da Diretoria de Hidrografia e Navegação e pela Defesa Civil de Belém (Figura 24). Este modelo foi gerado no programa *Global Mapper* através da ferramenta que permite efetuar a simulação da área afetada por alagamento na subida da cota de inundação na paisagem, com base no modelo de altimetria carregado no aplicativo (DEM). Esta ferramenta pode gerar dois produtos: um estudo estático em 2 D, e um interativo em 3D, definindo inclusive o exagero vertical e a resolução vertical a usar entre duas medidas sucessivas.

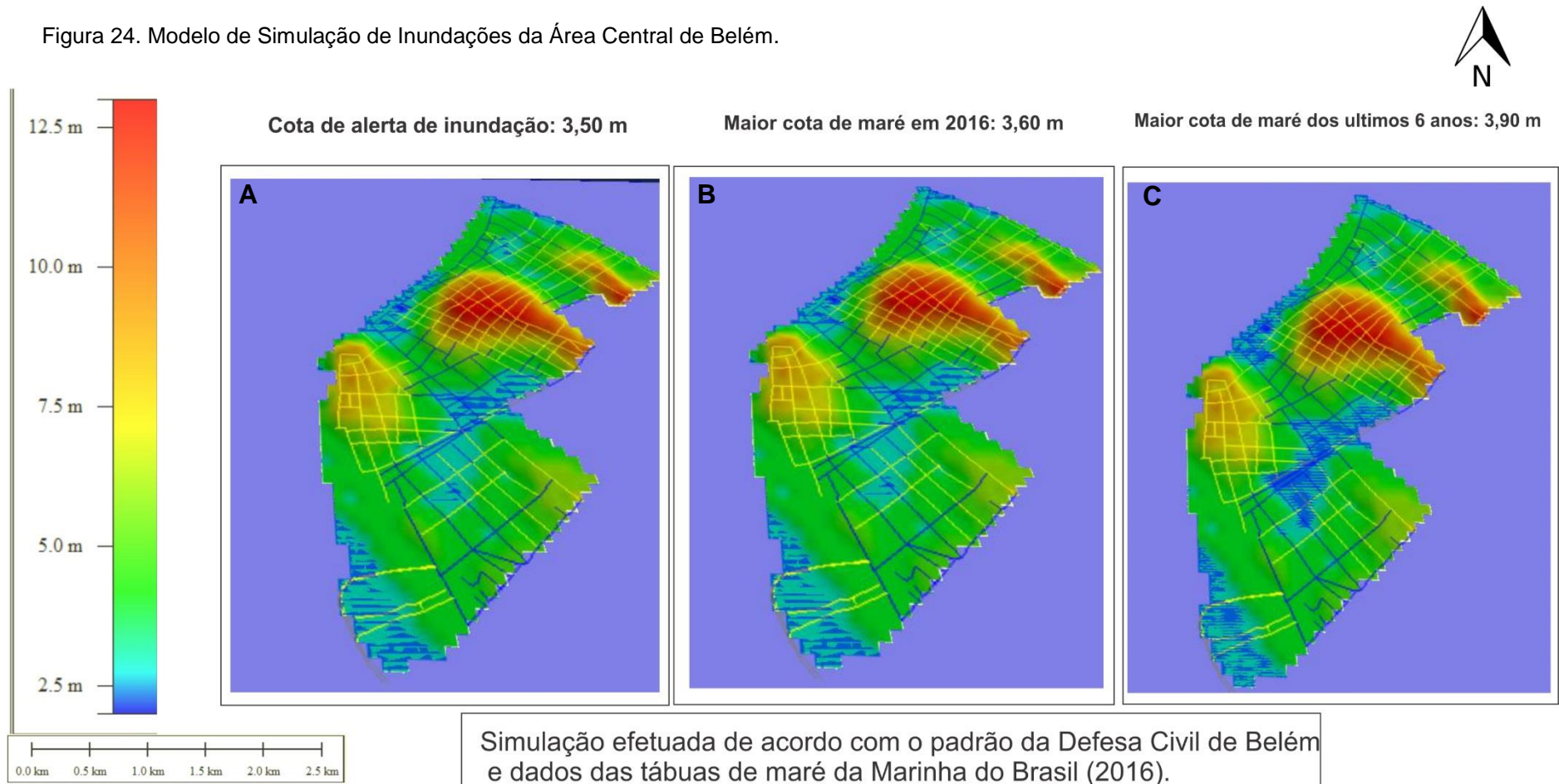
A Figura 24 A mostra a área segundo a Cota de Alerta de Inundação da Defesa Civil de Belém para a área, que é 3,50 m, estando 0,50 m acima do volume normal. É possível notar que algumas vias localizadas nas cotas mais baixas (de 0-4) são as afetadas pelo aumento da maré. Já na Figura 27 B a maré apresentou um aumento de 0,60 m, estando com 3,60 metros no total e este aumento não difere tanto dos resultados da cota de 3,50, afetando a área urbanizada que está entre as cotas 0-4 m. Este valor foi escolhido para ser simulado por ser a maior cota da maré no ano de 2016, ano da produção deste trabalho. No modelo C, a maré atinge 3,9 m (maior cheia reportada entre os anos de 2010 e 2016), e chega a ocupar praticamente toda a porção mais rebaixada (até a cota 4).

Desta forma é possível afirmar que há uma relação intrínseca entre o aumento da maré e as vias que são inundadas na área de estudo, pois considerando que esta região ocorre em unidades geomorfológicas predominantemente planas, qualquer modificação no nível da lâmina d'água da Baía do Guajará afeta diretamente as regiões adjacentes, e em grau de risco principalmente os bairros da Campina e da Cidade Velha (apresentam risco alto de inundação) dentro da área de estudo.

Assimilando que as inundações nesta região são um processo natural quando se analisa a questão geomorfológica, uma questão precisa ser abordada: A ocupação desta planície de inundação e sua conseqüente ocupação desenfreada por parte da população podem catalisar os efeitos naturais das inundações? Tucci (2008) afirma que sim, a ocupação desenfreada e indevida das áreas de várzea pela população menos favorecida economicamente faz com que os efeitos naturais dos eventos de inundação ocorram de forma muito mais intensa. É uma questão relevante acerca desta problemática com a qual o administrador municipal depara-se, é que, ao transferir essa população para uma área segura, outros se alojam no mesmo lugar, como resultado das dificuldades econômicas e das diferenças sociais. Assim, entende-se que o estudo sobre este tema deve ser melhor explorado, para que soluções efetivas sejam tomadas e a população possa usufruir de um ambiente seguro para uma habitação longa, sem perdas materiais e pessoais.

É relevante ressaltar que a Defesa Civil de Belém possui um sistema de alerta de inundações, ainda que modesto. O site da SUDAM disponibiliza boletins diários onde encontra-se dados sobre o comportamento e análise da precipitação mensal acumulada, a previsão da precipitação (onde destaca-se a tabela de classificação dos níveis de risco (Figura 20), o alerta de alagamento e também o monitoramento e previsão de alertas e marés (um exemplo destes boletins está no ANEXO C). Estes dados são repassados para a Defesa Civil diariamente, e caso ocorra a probabilidade de ocorrer uma inundação, os responsáveis pelo setor de risco (que possuem o cadastramento do número de telefone dos moradores das áreas críticas) entram em contato com a população para efetuar o alerta.

Figura 24. Modelo de Simulação de Inundações da Área Central de Belém.



Fonte: Elaborado pelo Autor a partir dos dados da Defesa Civil de Belém e da Marinha do Brasil (2016)

#### 4.1.2. O problema das inundações e alagamentos na área central de Belém

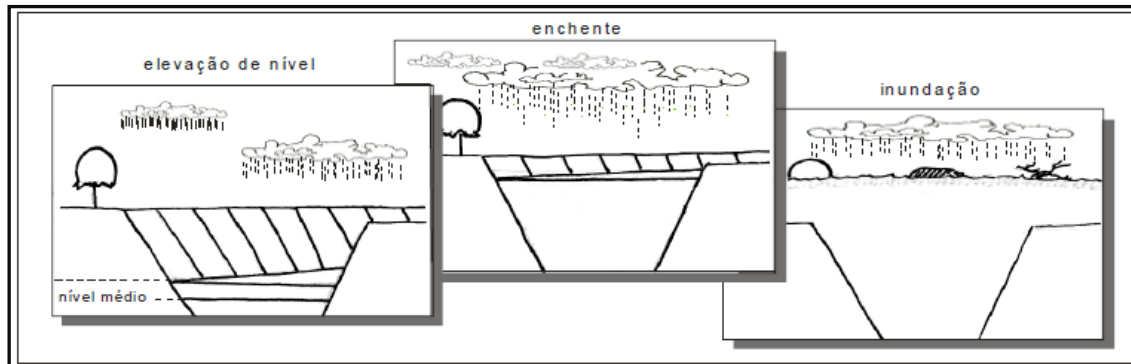
O crescimento acelerado das principais cidades brasileiras a partir de 1930, trouxe uma série de problemas sempre associados ao elevado crescimento populacional não acompanhado do planejamento urbano e regional que compatibilizassem as equipotencialidades e limitações do meio físico às necessidades de qualidade de vida para a população recém-chegada da área rural. Esse processo ocorreu de forma tão intensa que em 1930 apenas 20% da população brasileira vivia na área urbana, setenta anos depois o Censo do IBGE de 1990 registra 70% da população brasileira na área urbana, 20 anos depois a população urbana já representava 84%, com apenas 16% vivendo na área rural (IBGE, 2010). Essa transferência maciça de população ocorre em um cenário onde a falta de planejamento associado a ausência e ineficiência na alocação de recursos para manutenção e implantação de infraestrutura urbana, produz o caos urbano observado nas grandes cidades brasileiras, cenário propício a ocorrência de acidentes geológicos.

A cidade de Belém, com seus 1.439.561 habitantes aproximadamente (estimativa do IBGE para 2015), não se diferencia do cenário descrito acima. Fundada em 12 de janeiro de 1616, à margem do Rio Pará e da Baía do Guajará que se conformam a partir das contribuições dos rios Guamá, Acará, Mojú, Tocantins e Amazonas, constitui-se em uma planície de inundação que foi aterrada de forma pouco cuidadosa em diversos trechos ao longo dos seus 400 anos (como explicado de forma mais detalhada no subtópico 2.1.), que reflete nas decorrentes inundações, a falta de um planejamento urbano adequado para a área que possua soluções eficazes e/ou de convívio mais eficiente com os efeitos indesejados e prejuízos causados para a população por essas inundações.

O conceito de inundação segundo Kobiyama *et.al* (2006) é “o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a eles”. Estas mesmas autoras dizem ainda que quando não ocorre o transbordamento, apesar de o rio ficar praticamente cheio, ocorre uma enchente e não uma inundação, e o que configura um desastre é

inundação e não a enchente (Figura 25). Neste caso, na área estudada ocorre o fenômeno da inundação.

Figura 25. Evolução do aumento das águas no leito do rio.



Fonte: Kobiyama *et.al* (2006).

Como a cidade de Belém (especialmente os bairros que integram a área de estudo) está circundada por rios e lagos, dentre eles o Rio Guamá e a Baía do Guajará, o processo supracitado ocorre recorrentemente quando a maré está cheia e no conhecido “verão paraense” (período de chuvas mais intensas), pois consiste em um processo natural de cheia da bacia hidrográfica, porém, a ocupação inadequada da área cria um cenário de risco frequente para a população, que sofre com as perdas materiais, dificuldade de locomoção e por vezes doenças provenientes das águas poluídas. Durante as entrevistas realizadas com os moradores da área, não raramente houveram relatos sobre as perdas sofridas, e sobre o que os mesmos julgam serem as causas das inundações e como esse risco poderia ser solucionado/amenizado (APÊNDICE A). No item 2.2. do Capítulo 2 são explanados os dados climatológicos e fisiográficos da região, que justificam o regime das cheias e quais são os condicionantes destas inundações.

No entanto, as inundações na área estudada tem seus efeitos extremamente intensificados por fatores antrópicos, uma vez que aliados ao regime hidrológico e as configurações topográficas da região também estão a falta de saneamento urbano, continuamente reportado em jornais da cidade ao longo dos anos (ANEXO B), a realização de obras de engenharia que não compatibilizam com as condições naturais da área, como é o caso dos

sucessivos aterramentos efetivados ao longo da história da fundação de Belém (explanado no ítem 2.1. deste capítulo) e também a escassa educação ambiental dos próprios moradores da área, que não raramente jogam o lixo doméstico em locais inapropriados, que acabam colaborando para o entupimento de bueiros que nos meses de alta precipitação agravam grandiosamente a questão dos alagamentos da cidade. Estes fatores serão abordados detalhadamente a seguir.

O estudo de desastres naturais, em especial o de inundações, leva em conta os fatores naturais e as intervenções antrópicas (UNESP, 2016). Para a área estudada, os fatores naturais que mais influenciam são: topografia da várzea, clima (pluviosidade) e geologia; e as intervenções antrópicas que mais colaboram para as inundações são: impermeabilização dos terrenos na área da bacia, assoreamento dos rios, ausência de consciência ambiental e saneamento urbano comprometido.

Como sabido, a cidade de Belém possui grande parte do seu território em áreas rebaixadas e planas, com baixas altitudes em relação ao nível do mar, o que favorece naturalmente a ocorrência de inundações em sua área de várzea. Somado a isto têm-se a alta taxa de pluviosidade na região, que chega em média a 2887,2 mm por ano (Tabela 2), ou seja, possui o cenário propício à inundação e a composição geológica da área, que é constituída por rochas que possuem baixa permeabilidade e porosidade (pelitos e rochas pelito-arenosas) dificultando assim a penetração das águas no solo, o que poderia amenizar o acúmulo de água na superfície.

No entanto, desde a fundação de Belém medidas agravantes deste risco vêm sendo tomadas, pois como citado no ítem 2.1 deste capítulo, vários projetos de expansão da Cidade que não visavam o aterramento de canais de drenagem foram feitos, mas não foram admitidos. Os aterramentos de lagos, rios e alagadiços foram executados e ainda os são atualmente para a construção de rodovias pavimentadas, e é observado que estas medidas não vêm apresentando melhoras no convívio da comunidade com os recorrentes alagamentos e inundações, pois a impermeabilização do solo torna-se mais um catalisador nos processos de inundação. Além disto, há a questão preocupante do saneamento urbano em Belém, que é um tema frequentemente reportado nos

jornais locais como “agravante”, “muito ruim”, “calamidade” (ANEXO B), visto que não apenas os bairros pertencentes a área deste trabalho, mas a cidade como um todo, apresenta um índice bastante alto de esgotos a céu aberto, canais com alto volume de lixo e dejetos acumulados. A falta de saneamento urbano aliada a pouca e/ou ausência de educação ambiental dos próprios moradores foi frequentemente referida como causas agravantes das inundações e a alagamentos durante as entrevistas de campo, que relataram a ineficácia do sistema de coleta de lixo das ruas e a má conduta ambiental de moradores (Figura 26).

Figura 26. Pontos dentro da área de estudo onde foi observado lixo acumulado em demasia. Em A, Canal da Tamandaré na esquina com a Rua Dr. Assis onde é observado bastante lixo doméstico acumulado. Em B, observa-se bastante lixo na margem da baía no dia 25/06/2016, com maré alta; já em C têm-se restos de móveis que foram destruídos pela inundação que a rua sofreu durante uma forte chuva. Em D, na Avenida Bernardo Sayão, observam-se diversos entulhos acumulados nos trechos da obra de macrodrenagem.



Fonte: Elaborado pelo Autor

### 4.1.3. O caso dos alagamentos na cidade de Belém

De acordo com a Defesa Civil, o conceito de alagamento é “o acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos por problemas de drenagem”, ou seja, ao contrário dos conceitos de enchente e inundação, os alagamentos não são processos necessariamente naturais da região, e estão relacionados com perímetros cujo saneamento é precário e a coleta de lixo e limpeza dos bueiros não são feitas de forma efetiva e regular (Figura 27).

Figura 27. Imagem representando as características e conceitos dos termos enchente, inundação e alagamento.



Fonte: Blog da Defesa Civil de São Bernardo do Campo, disponível em <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>.

A cidade de Belém enfrenta anualmente um período de chuvas intensas (de dezembro a março, com pico de chuvas em março), onde as inundações e alagamentos são recorrentes e até esperados pela população que reside e trabalha nessas áreas. No ANEXO B estão diversas reportagens sobre este tema a partir do ano de 2006 até junho de 2016, e nelas têm-se diversos relatos sobre as perdas materiais sofridas, além de transtornos no que diz respeito ao deslocamento e doenças transmitidas pela água poluída. Na Tabela 3 estão expostos o ano, o

número de reportagens em anexo, o veículo da reportagem e o nome do último, com a finalidade de facilitar a busca destas informações ao leitor.




Tabela 3. Tabela de reportagens sobre alagamentos na área de estudo, de 2006 até junho de 2016.

<b>ANO</b>	<b>Nº DE REPORTAGENS EM ANEXO</b>	<b>VEÍCULO</b>	<b>NOME</b>
2006	17	JORNAL	O Liberal e Diário do Pará
2007	6	JORNAL	O Liberal e Diário do Pará
2008	6	JORNAL	O Liberal e Diário do Pará
2009	6	JORNAL	O Liberal e Diário do Pará
2010	8	JORNAL	O Liberal e Diário do Pará
2011	10	JORNAL	O Liberal
2012	5	JORNAL	O Liberal e Diário do Pará
2013	3	INTERNET	globo.com
2014	2	INTERNET	globo.com
2015	3	JORNAL e INTERNET	O Liberal e globo.com
2016	4	INTERNET	globo.com

Através da análise e correlação das reportagens com as informações de tábuas de maré obtidas na Diretoria de Hidrografia e Navegação (no site da Marinha do Brasil), notou-se que os eventos de alagamento não correm apenas quando a maré está alta, confirmando que em Belém este problema urbano ocorre não somente em função da topografia relacionada à cheias e extravasamento do corpo hídrico (caracterizando o evento de inundação), mas também em áreas com a cota topográfica em torno de 7-8 m (que não correspondem às cotas de risco) quando ocorrem chuvas fortes associadas a deficiência no sistema de drenagem e escoamento da água.

Na Tabela 4 foram analisados quatro eventos de alagamentos reportados pelo jornal online Globo.com na cidade de Belém no ano de 2016, onde em um eventos a maré apresentou uma altura significativa (09/03 com 3,5 m) estando classificada na cota de alerta da Defesa Civil de Belém para inundações nos horários próximos às chuvas, no entanto nos dias 22/03, 26/05 e 25/06 os dados de maré apresentaram 0,4 m, 0,6 m e 3,2 m respectivamente, todos fora da cota de alerta, vindo a confirmar que os alagamentos podem ocorrer independentemente da situação da maré se ocorrer chuva forte.

Tabela 4. Eventos de alagamentos reportados em Belém até junho/2016. As reportagens encontram-se disponíveis no ANEXO B. As setas indicam eventos onde a maré não influiu na situação de alagamento.

ANO DE 2016	
DIÁ/MÊS	ALT (m) / HORA
09/03	3,5 m / 11:38
 22/03	0,4 m / 18:23
 26/05	0,6 m / 21:15
 25/06	3,2 m / 14:41

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir da análise das reportagens em anexo (Anexo A).

Desta forma, ressalta-se a necessidade da implementação de projetos de saneamento, planejamento urbano e também de políticas públicas que visem desenvolver a consciência ambiental nos moradores da área, pois é comum o despejo de lixo e entulho nas ruas que sofrem com os recorrentes alagamentos em períodos de pluviosidade alta a moderada.

## **CAPÍTULO 5- CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES**

A presente monografia permitiu concluir que a área central de Belém é susceptível a inundações provocadas primariamente por fatores naturais e que seus efeitos são catalisados por fatores antrópicos, como a ocupação indevida e desenfreada da área de várzea e seus consequentes problemas urbanos, como a remissão de esgoto doméstico em locais impróprios, por exemplo. As consequências dessa falta de planejamento e regulamentação para a ocupação dessas regiões ocorrem em quase todas as cidades de médio e grande portes do país, de forma que depois do espaço ocupado, as soluções disponíveis são extremamente caras, tais como canalizações, diques com bombeamentos, reversões e barragens, entre outras (TUCCI, 2008).

Uma outra questão relevante levantada neste trabalho diz respeito aos alagamentos, que ocorrem mesmo em áreas topograficamente altas para a cidade de Belém que possui a maior parte do território em cotas baixas, em função da ineficácia e sucateamento do sistema de drenagem, escoamento e da rede de esgotos, além do enorme contingente de lixo doméstico nas ruas, que impede a livre circulação da água em períodos de alta pluviosidade.

Assim, como ações mitigadoras de desastres referentes às inundações e alagamentos sugere-se que os órgãos competentes às obras da Prefeitura Municipal de Belém executem um estudo mais detalhado sobre as obras que não estão demonstrando eficácia, como no caso dos canais (verificar a eficiência das comportas), e aliado a isso executar a manutenção regular das obras existentes. Também se sugere a criação de um projeto de educação sanitária e ambiental para a população, a fim de combater o excesso de lixo jogado nas ruas, assim como estabelecer um cronograma mais efetivo para a coleta regular do lixo.

Em relação às inundações da Avenida Bernardo Sayão, observa-se que mesmo com a obra de macrodrenagem as casas continuam inundando, e como discutido durante o trabalho, isto se deve primeiramente por causa natural (cota topográfica de até 4 m) e em segundo lugar devido ao desnível entre a rua que foi aterrada e as residências. Logo propõem-se que a Prefeitura Municipal de Belém crie um projeto popular que conjuntamente ao aterramento das vias também seja realizado o aterramento das residências que estão na área de risco, evitando assim

problemas posteriores à execução de obras de macrodrenagem. Por fim, orienta-se a criação de um sistema de alerta de inundação mais eficiente por parte da Defesa Civil de Belém, conjugando as ligações à serviços de mensagens instantâneas que destacariam as vias propensas a serem inundadas.

Como produto principal deste trabalho têm-se o Mapa de Risco à Inundação da Área Central de Belém, que evidencia todas as vias que sofrem com as inundações, produto conjugado da análise das curvas de nível, do modelo digital de elevação (DEM) e dos questionários que foram elaborados para as entrevistas com a população acerca do tema. Além deste produto também se obteve o Modelo de Simulação de Inundações, que foi formulado a partir do DEM, onde se utilizou o programa *Global Mapper* para a simulação da subida da lâmina d'água, e o Zoneamento dos Graus de Risco a Inundação na área estudada.

Por fim conclui-se que estudos mais aplicados e diretos sobre obras de contenção, obras de saneamento e escoamento de água e políticas públicas que visem a educação ambiental da população precisam ser aplicadas para que os efeitos das inundações sobre a população da área sejam mitigados ao máximo, possibilitando uma convivência mais harmônica entre a população e o espaço ocupado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Conceição Maria Rocha de. As águas e a cidade de Belém do Pará: história, natureza e cultura material no século XIX / Conceição Maria Rocha de Almeida; orientadora, Denise Bernuzzi de Sant'Anna; coorientador, Antonio Otaviano Vieira Júnior. – 2010.
- ARAÚJO JÚNIOR, Antônio Carlos Ribeiro. *Planejamento urbano-ambiental na cidade de Belém (PA): reflexões sobre o PROMABEN*. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 27, p. 179-192, jan./jun. 2013. Editora UFPR.
- Blog da Defesa Civil de São Bernardo do Campo. Disponível em <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html> Acessado em: 22/07/2016.
- CABÚS, R. C. *Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in northeast Brazil*. (PhD). Architecture, University of Sheffield, Sheffield, 288 p. (2002).
- CASTRO, A. L. C. 1999. Manual de planejamento em defesa civil. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional/ Departamento de Defesa Civil. 133 p.
- CHIOSSI, Nivaldo José. *Geologia de engenharia*. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- COSTA, Marcondes Lima da. *A Importância da Lateritização para a Formação de Depósitos Minerais e suas perspectivas para os Terrenos Brasileiros*. III Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral - Ouro Preto, Minas Gerais, 18 a 21 de maio/2008.
- COSTA, Marcondes Lima da. *Aspectos Geológicos dos Lateritos da Amazônia*. Revista Brasileira de Geociências, Volume 21, 1991
- COHEN, J.C.P, SILVA DIAS, M.A.; NOBRE, C. *Environmental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: A Case Study*. American Meteorological Society 123 (11), pp. 3129-3143. (1995)
- COHEN, J. C. P.: *Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1989.
- CRUZ, Ernesto. História de Belém. Coleção Amazônica. Série José Veríssimo. Universidade Federal do Pará. 1º Volume, 1973.
- DEFESA CIVIL MUNICIPAL DE BELÉM, 2016.
- DE SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. *Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms*. *Climanálise*, v. 1, p. 1-20, 2003. Disponível em

<<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/artcien2.shtml>> Acessado em: 27/08/2016.

DOURADO NETO, D.; VAN LIER, Q.J. *Programa para elaboração do balanço hídrico para culturas anuais e perenes*. Piracicaba: Departamento de Agricultura da ESALQ/USP, 1991.58 p. (Apostila).

Entrevista com o coordenador do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Pará, José Almir Rodrigues Pereira. Disponível em <<http://www.diarioonline.com.br/noticias/para/noticia-236441-.html>>Acessado em 08/04/2015.

EIRD. *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Nações Unidas, 2009. Disponível em <[http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)> Acessado em: 10/09/2016.

FILHO, Nestor Goulart Reis. *Imagens do Brasil colonial*. 2000

FURTADO, Ana Maria Medeiros; PONTE, Franciney Carvalho da. *Mapeamento de Unidades de Relevo do Estado do Pará*. Revista GeoAmazônia, Belém, v. 02, n. 2, p. 56 - 67, jul./dez. 2013.

GUERRA, Antônio José Teixeira. *Geomorfologia urbana*– Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2011.

HOREL, J.D.; HAHMANN, A.N.; GCISLER, J.E.. *An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas*. Journal of Climate, 2( 11): 1388-1403. 1989

IPPEN, A.T. *Estuary and coastline hidrodinamics*. New Yourk. McGraw-Hill. 1966.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico*. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em < <http://cod.ibge.gov.br/340>> Acessado em: 10/09/2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acessado em: 08/09/2016.

JORGE, M. do C. O. Geomorfologia urbana: conceitos, metodologias e teorias. In: GUERRA, A. J. T (org.). *Geomorfologia Urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

KOBIYAMA, Masato; MENDONÇA, Magaly; MORENO, Davis Anderson; MARCELINO, Isabela Pena Viana de Oliveira; MARCELINO, Emerson Vieira; GONÇALVES, Edson Fossatti, BRAZETTI, Letícia Luiza Penteadó; GOER, Roberto

Fabris; MOLLERI Gustavo Souto Fontes; RUDORFF Frederico de Moraes. *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Curitiba: Ed. Organic Trading , 2006.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.  
Wall-map 150cmx200cm

MARINHA DO BRASIL. *Tábuas de maré*. Disponível em <  
<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>> Acessado em  
30/07/2016

MIRANDA, A.G.O.; MENDES, A.C. *Evolução Batimétrica da Baía de Guajará, Belém/Pa*. Simpósio de Baias, 2007. Disponível em <  
[http://www.abequa.org.br/trabalhos/2007\\_amilcar\\_mendes\\_oral\\_simposio\\_baias.pdf](http://www.abequa.org.br/trabalhos/2007_amilcar_mendes_oral_simposio_baias.pdf)  
> Acessado em: 28/07/2016.

NECHET, D. *Variabilidade Diurna de Precipitação em Belém-PA: Aplicação em planejamento a médio e longo prazo*. Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Presidente Prudente - SP, UNESP, 1996.

OLIVEIRA, José Guilherme Ferreira de. Geologia e recursos minerais da Folha Belém - SA.22-X-D-III, Estado do Pará, escala 1:100.000 / José Guilherme Ferreira de Oliveira, Regina Célia dos Santos Silva. – Belém: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2011.

PARKS, S. *Disaster Management using LIDAR*. Imaging Notes. V 27, n 1, p 30-33. 2012.

Prefeitura Municipal de Belém. *Mapa geomorfológico da Porção Sul da Cidade de Belém*. Escala 1:20.000. Engesolo, 2007.

PINHEIRO, Roberto Vizeu Lima. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém (PA)*. 1987. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

ROCHA, 2001. *Balanço de umidade e influência de condições de contorno superficiais sobre a precipitação da Amazônia*. Tese (Doutorado em Meteorologia). São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais 210 p., Fev. 2001.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. *Planilhas no Ambiente Excel™ para os Cálculos de Balanços Hídricos: Normal, Sequencial, de Cultura e de*

*Produtividade Real e Potencial*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SANTOS, A.M.M.; CAVALCANTI, D.R.; SILVA, J.M.C. DA; TABARELLI, M. *Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern Brazil*. Journal of Biogeography, Oxford. v 34, 2007.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006a. 306p.

SOUZA, José Carlos de; PEREIRA, Uhênia Caetano. *Antropogeomorfologia – O homem como agente geomorfológico: base teórica e análise acerca da extração do Amianto Crisotila em Minaçu (GO)*. Revista eletrônica do curso de Geografia – Geoambiente Online – da UFG. Goiás, 2015.

SOUZA, Rogério Riker de. Modelagem numérica da simulação de correntes de maré na Baía do Marajó e Rio Pará (PA). São Paulo, 2006.

SAUSEN & LACRUZ. *Sensoriamento Remoto para Desastres*. Editora Oficina de Textos, 288 pg. 2015.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. *Climanálise*, São José dos Campos, jan. 2003 v. 5,

SUDAM- Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. Disponível em < <http://www.sudam.gov.br/>> Acessado em: 27/08/2016

TATUMI, Sonia H.; SILVA, Luis P. da; PIRES, Elcio L.; ROSSETTI, Dilce F.; GÓES, Ana M.; MUNIA, Casimiro S. *Datação de Sedimentos Pós-Barreiras no Norte do Brasil: implicações paleogeográficas*. Revista Brasileira de Geociências, setembro de 2008.

THORNTON, C.W., MATHER, R.J. *The water Balance*. New Jersey: Laboratory of Climatology, Publication in Climatology, v. 8, 104 p. 1955.

THORNTON, C. W. *An Approach Towards a Rational Classification of Climate*. *Geographical Review*, London, n. 38, p. 55-94, 1948.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira. *Introdução à Climatologia / Fillipe Tamiozzo Pereira Torres e Pedro José de Oliveira Machado – São Paulo: Cengage Learning, 2011.*

TUCCI, Carlos E. M. *Águas Urbanas*. Estudos Avançados, 2008.

UNESP. *Estudo de processos naturais do Brasil*. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco13.html>> acessado em 04/07/2016.

UVO, C., 1989: A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação da região Norte do Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, São Jose dos Campos, São Paulo, (INPE-4887-TDL/378).

VASQUEZ, Marcelo Lacerda. ROSA-COSTA, Lúcia Travassos da. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará : Sistema de Informações Geográficas – SIG : texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000*. Belém: CPRM, 2008.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R.: Meteorologia básica e Aplicações. Viçosa – MG. Imprensa Universitária, 1991. 449p

WALISER, D. E., and C. GAUTIER. *A satellite-derived climatology of the ITCZ*, *J. Clim.*, 6, 2162–2174. (1993).

## GLOSSÁRIO

**ALAGAMENTO:** (i) são ocasionados pelo acúmulo de água na superfície urbana e, na maioria das vezes, ocorrem por falhas no sistema de microdrenagem. (ii) é um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem.

**ÁREA DE RISCO DE INUNDAÇÃO:** Área passível de ser atingida por processos de enchente e inundação. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (assentamentos precários).

**DESASTRE:** é definido como resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais

**ENCHENTE:** (i) Quando não ocorre o transbordamento das águas de um rio, apesar do ficar praticamente cheio, ou seja, não extravasa para a planície de inundação. (ii) é algo natural aos cursos d'água, após a ocorrência de intensas chuvas que provocam enormes vazões.

**INUNDAÇÃO:** (i) é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele. (ii) representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea.

**MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE):** é uma representação matemática/computacional contínua da topografia do terreno distribuída espacialmente às variações de altitude numa área baseada e definida sobre um plano cartográfico num conjunto de coordenadas X, Y e Z. As coordenadas Z representam valores da altitude e profundidade num modelo tridimensional que contenha o atributo elevação.

**PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO:** são áreas de baixios de bacias hidrográficas que atuam na manutenção do equilíbrio hidrológico da bacia. Quando ocorrem cheias ou enchentes a bacia hidrográfica usa suas áreas de baixios, também conhecida por áreas de várzeas para extravasamento do excesso de água.

**PERIGO:** perigo é um fenômeno natural que ocorre em épocas e região conhecidas que podem causar sérios danos nas áreas sob impacto. Assim, perigos naturais (natural hazards) são processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera, podendo constituir um evento danoso e serem modificados pela atividade humana, tais como a degradação do ambiente e urbanização.

**RISCO:** (i) é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo. (ii) probabilidade de ocorrer conseqüências danosas ou perdas esperadas (mortos, feridos, edificações destruídas e danificadas, etc.), como resultado de interações entre um perigo natural e as condições de vulnerabilidade local.

**TOPOGRAFIA:** (i) (do grego topos, lugar, região, e graphein, descrever: "descrição de um lugar"). Etimologicamente, topografia é a descrição de um lugar. (ii) Topografia é uma ciência que estuda todos os acidentes geográficos definindo a situação e a localização deles que podem ficar em qualquer área. Tem a importância de determinar analiticamente as medidas de área e perímetro, localização, orientação, variações no relevo, etc e ainda representá-las graficamente em cartas (ou plantas) topográficas. (iii) Topografia é uma ciência que estuda instrumentos e métodos para coleta de dados, cálculo e representação gráfica de parte da superfície terrestre, sem levar em consideração a curvatura da terra causada pela sua esfericidade. Representação é feita sobre um plano, ortogonalmente a este, denominado Plano Topográfico.

**VULNERABILIDADE:** (i) A etimologia de vulnerável vem do latim vulnerabilis que significa "que causa lesão" e remete ao antepositivo vulner, o qual indica "ferida" e é semanticamente conexo com o grego traûma, atos. Logo, constata-se que o sentido de vulnerabilidade tem uma conotação negativa e está relacionado sempre com perdas. (ii) Grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo.

# APÊNDICES

APÊNDICE A - Questionário avaliativo sobre as problemáticas das enchentes a comunidade presente na área de estudo



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**FACULDADE DE GEOLOGIA**

**QUESTIONÁRIO AVALIATIVO SOBRE AS PROBLEMÁTICAS  
DAS ENCHENTES À COMUNIDADE PRESENTE NA ÁREA DE ESTUDO**

Este instrumento de pesquisa tem como finalidade coletar informações sobre as problemáticas que as enchentes e inundações recorrentes nos períodos de chuva trazem à comunidade local, fornecendo subsídios ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Risco geológico de enchentes na área central de Belém (PA)”.

Nome do Entrevistado: \_\_\_\_\_

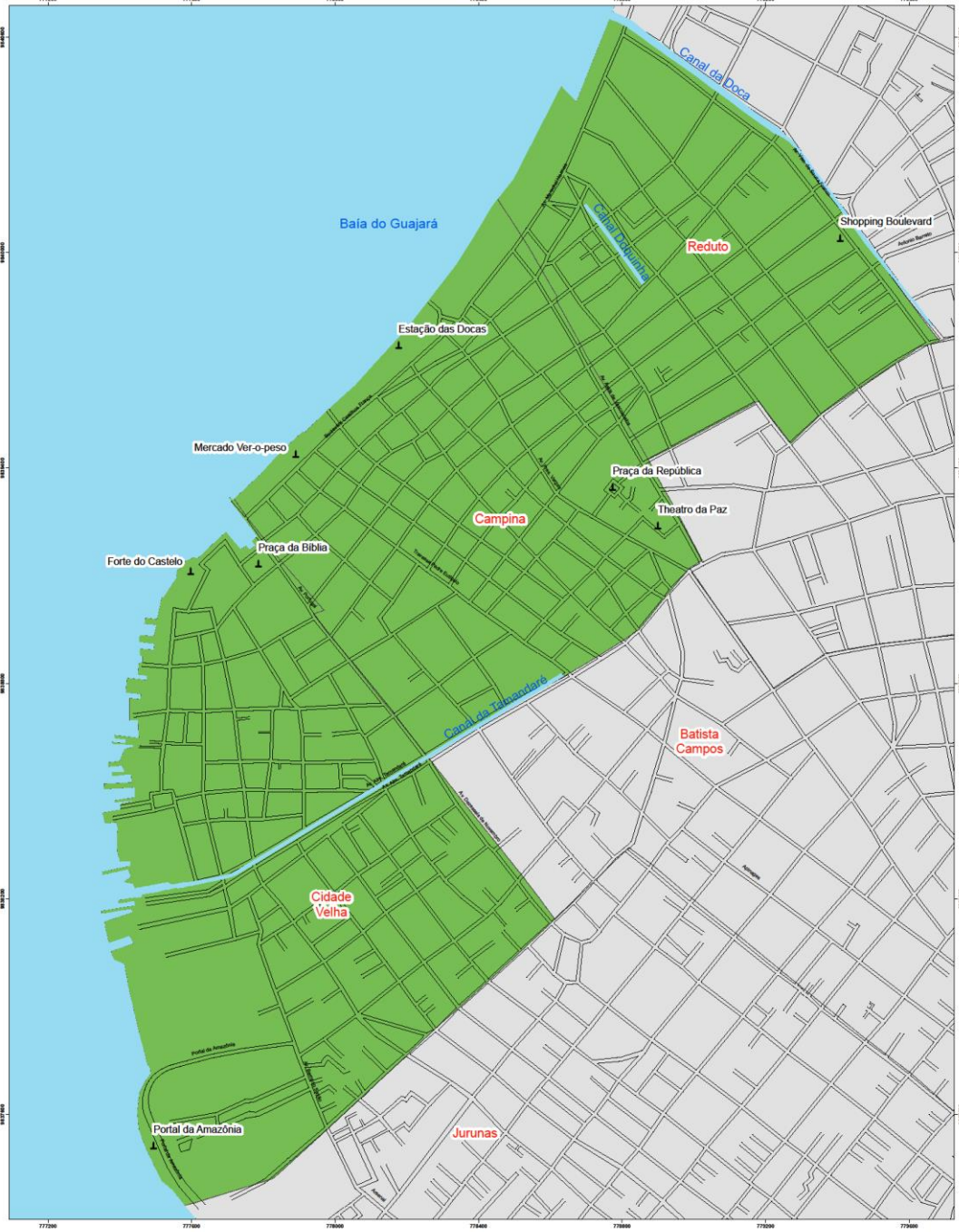
Endereço: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- 1) Quanto a ocorrência de alagamentos em períodos de chuva forte (dezembro-abril), qual a frequência de alagamentos em sua rua?  
 Somente em chuvas muito fortes;  
 Em chuvas de intensidade normal a forte;  
 Nunca alaga;
- 2) Em relação a perda material na residência, ocasionada por alagamentos decorrentes das chuvas:

- 3 ou mais perdas materiais;
  - 1 a 3 perdas materiais;
  - Nunca houve perda material;
- 3) Quando da ocorrência de enchentes, algum morador da residência ou vizinhança apresentou quadro de doença transmitida por água poluída, como leptospirose, diarreia infecciosa, ou outra enfermidade?
- 3 ou mais pessoas;
  - 1 a 3 pessoas;
  - Nenhuma pessoa;
- 4) Em relação a realização de obras que visem a contenção de enchentes e sua manutenção, sob o poder público:
- A rua já passou por obras de contenção de enchentes e a manutenção é feita regularmente;
  - A rua já passou por obras de contenção, porém não há manutenção regular;
  - A rua nunca passou por nenhuma obra de contenção de alagamentos;
- 5) O que muda em sua rotina nos períodos chuvosos em que ocorrem alagamentos? Você já sentiu dificuldade de deslocamento para o trabalho, escola ou outro?
- 6) Qual o maior perímetro da sua rua que já ficou alagado e quando (não esquecer de especificar a rua)?
- 7) Em sua opinião qual a causa maior da enchente e como esse problema poderia ser solucionado?

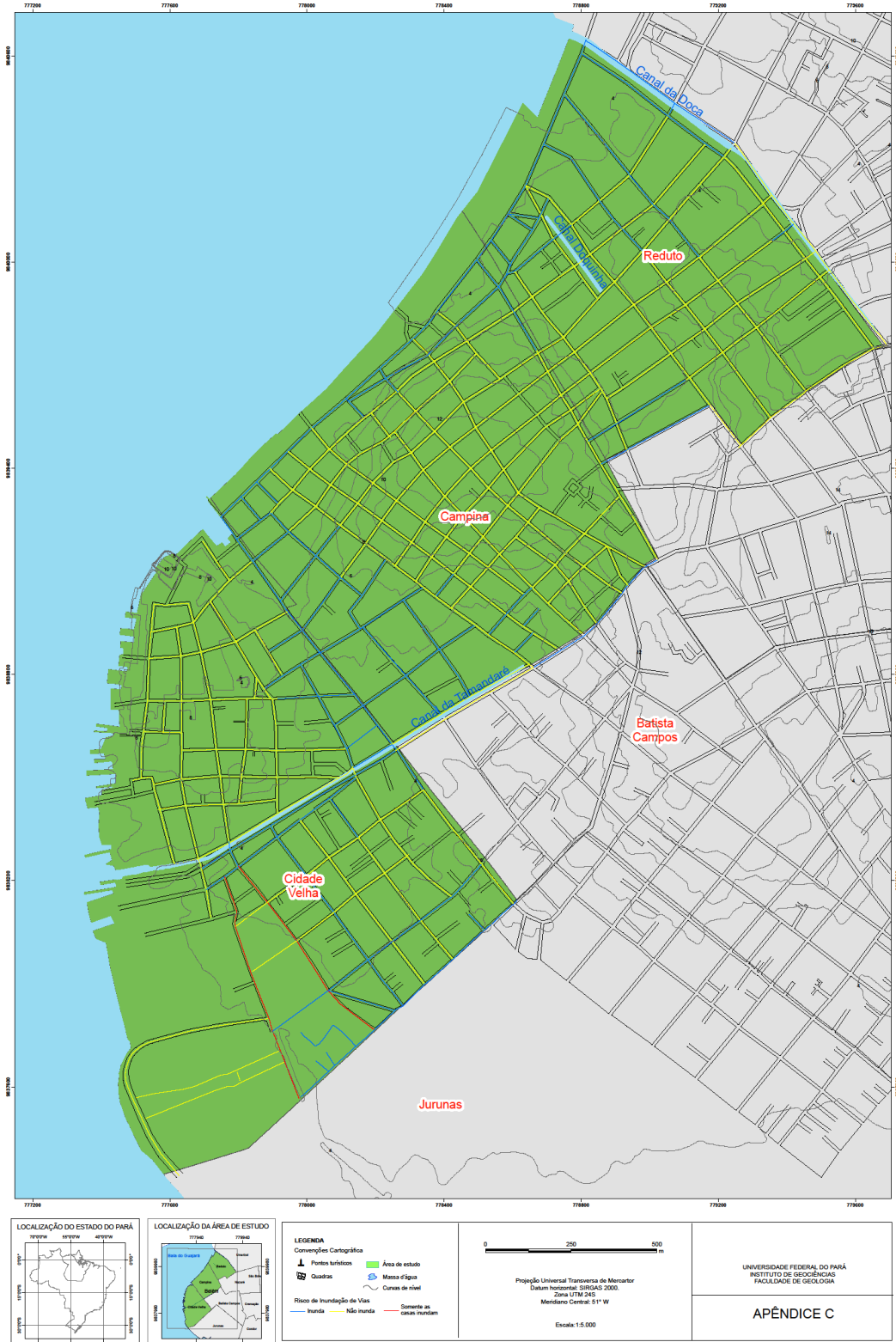
# Mapa de Localização da Área de Estudo



<p><b>Base Cartográfica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Pontos turísticos</li> <li>▭ Quadras</li> <li>■ Área de estudo</li> <li>■ Massa d'água</li> </ul>	<p>Projeção Universal Transversa de Mercator Datum Nacional: SIRGAS 2000 Zona UTM 22S Meridiano Central: 51° W Escala: 1:5.000</p>	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO DE CIÊNCIAS FACULDADE DE GEOLOGIA</p> <p><b>APÊNDICE B</b></p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

APÊNDICE C: Mapa de Risco Geológico de Inundações da Área Central de Belém

Mapa de Risco Geológico de Inundações da Área Central de Belém



APÊNDICE D:

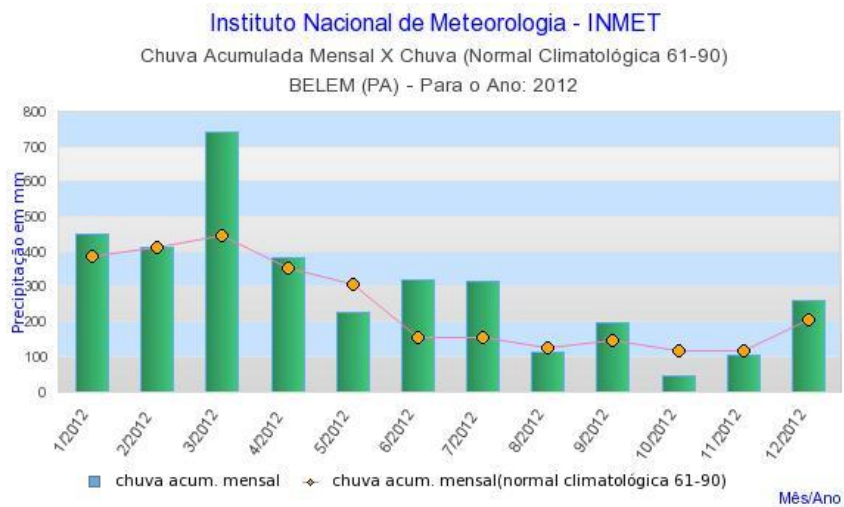
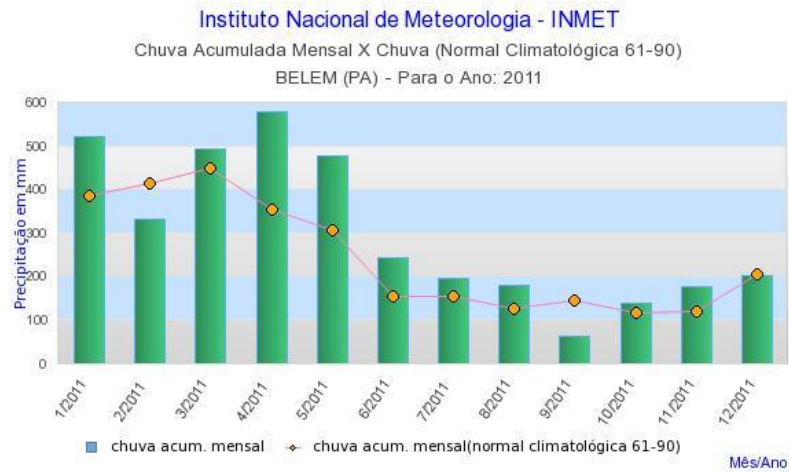
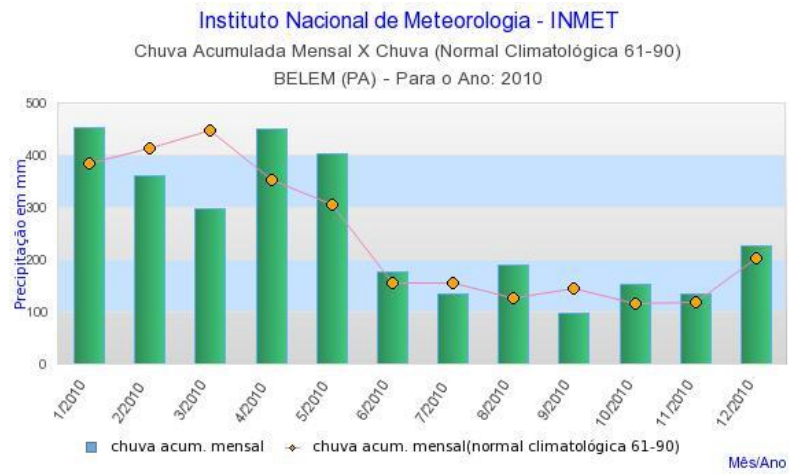
# APÊNDICE D: Mapa de Risco Geológico de Inundações da Área Central de

## Mapa de Risco Geológico de Inundações da Área Central de Belém



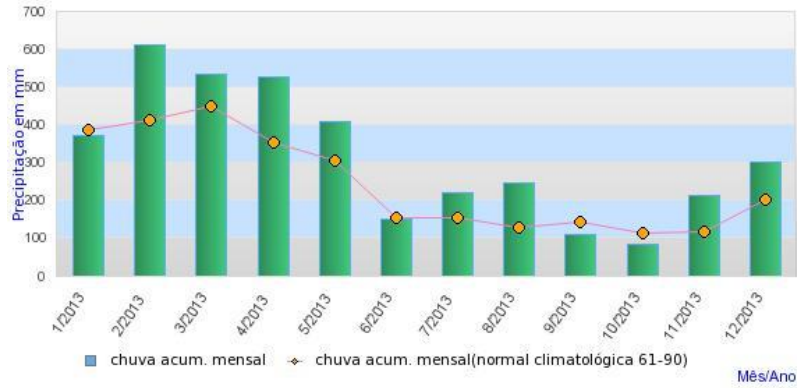
# ANEXOS

ANEXO A: Gráficos de Chuva acumulada mensal x Chuva, de 2010 a 2016.



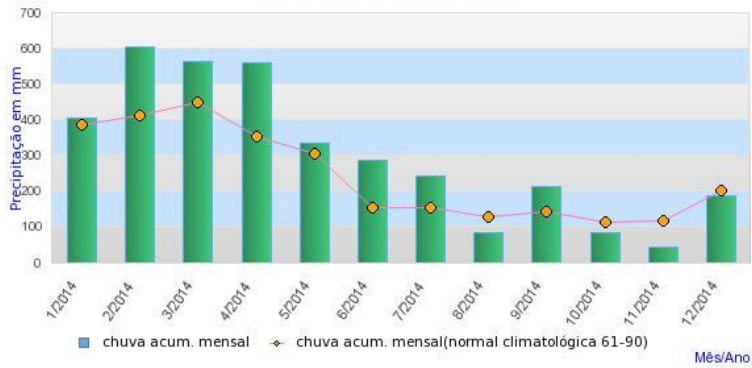
**Instituto Nacional de Meteorologia - INMET**

Chuva Acumulada Mensal X Chuva (Normal Climatológica 61-90)  
BELEM (PA) - Para o Ano: 2013



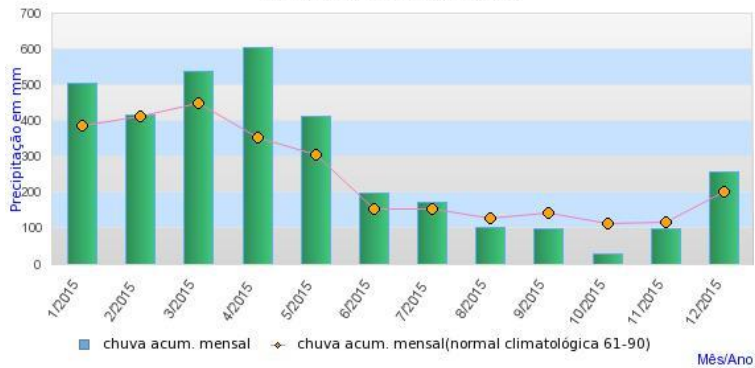
**Instituto Nacional de Meteorologia - INMET**

Chuva Acumulada Mensal X Chuva (Normal Climatológica 61-90)  
BELEM (PA) - Para o Ano: 2014



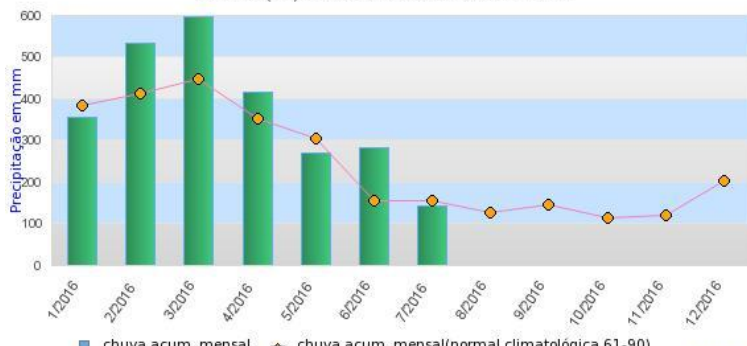
**Instituto Nacional de Meteorologia - INMET**

Chuva Acumulada Mensal X Chuva (Normal Climatológica 61-90)  
BELEM (PA) - Para o Ano: 2015



**Instituto Nacional de Meteorologia - INMET**

Chuva Acumulada Mensal X Chuva (Normal Climatológica 61-90)  
BELEM (PA) - Para o Ano: 2016 até 15/7/2016




ANEXO B: Tabela de reportagens sobre inundações e alagamentos na área de estudo.

DIA/ MÊS/ ANO	NOME	VEÍCULO
25/06/2016	Alagamentos deixam moradores ilhados na Grande Belém	O Globo.com
26/05/2016	Chuva causa alagamentos e deixa alguns bairros sem energia, em Belém	O Globo.com
22/03/2016	Ruas de vários bairros de Belém ficam alagadas após forte chuva	O Globo.com
09/03/2016	Forte chuva causa alagamentos em vários pontos de Belém	O Globo.com
19/05/2015	Sete horas de chuva provocam alagamentos em Belém	O Globo.com
19/04/2015	Forte chuva em Belém deixa ruas alagadas e complica tráfego	O Globo.com
21/01/2015	Chuvas colocam Defesa Civil do Estado em Alerta	O Liberal
03/03/2014	Chuva forte e maré alta provocaram alagamentos em Belém	O Globo.com
12/01/2014	Belém amanhece com alagamentos no dia do aniversário da cidade	O Globo.com
23/12/2013	Chuva provoca alagamentos em vários bairros de Belém	O Globo.com
06/11/2013	Ruas de Belém amanhecem alagadas após chuva de quase 5 horas	O Globo.com
07/01/2013	Chuva causa alagamentos em várias ruas de Belém	O Globo.com
21/03/2012	Chuva de meia hora é suficiente para alagar várias ruas de Belém	O Liberal
13/03/2012	Chuva e maré recriam igarapé na Doca	O Liberal
29/01/2012	Sipam prevê mais chuvas em fevereiro	O Liberal

06/01/2012	Enchentes já afetam 35 mil pessoas em 30 municípios	Diário do Pará
22/01/2012	Chuvas vão consumir RS 9 milhões	O Liberal
01/12/2011	Tempestades começam a partir de 20 de dezembro	O Liberal
04/11/2011	Início das chuvas tira o sono de belenenses	O Liberal
01/09/2011	Setembro trará chuvas, ventos e altas temperaturas	O Liberal
09/06/2011	Meteorologia prevê mais tempestades	O Liberal
14/03/2011	Temporal passa, mas estragos ficam	O Liberal
21/02/2011	Feirantes enfrentam dia de maré alta	O Liberal
17/02/2011	Belém se prepara para grandes marés	O Liberal
23/01/2011	Parte baixa de Belém afunda após oito horas de forte cuva	O Liberal
09/01/2011	Belém sofre com 51 pontos de alagamento	O Liberal
02/01/2011	Chuvas serão intensas nos três primeiros meses do ano	O Liberal
30/07/2010	Fluxo de chuva começa mais cedo no segundo semestre	O Liberal
21/02/2010	Mudança no clima afeta a hora da chuva	O Liberal
31/01/2010	Mau tempo alaga a cidade e traz doenças	O Liberal
10/01/2010	Que inverno é esse?	Diário do Pará
10/01/2010	E a chuva perdeu o rumo entre os espigões	Diário do Pará
05/01/2010	Volume de chuvas tem redução de 30%	O Liberal
05/01/2010	Meteorologia prevê um inverno menos rigoroso	Diário do Pará
27/12/2009	Chuva forte ameaça canais em Belém	O Liberal
30/05/2009	Chuva sem fim alaga áreas de Belém	O Liberal


10/05/2009	Chuvas de maio surpreendem previsões	O Liberal
03/04/2009	Identificados 34 pontos de alagamento	Diário do Pará
29/03/2008	Chuva e maré levam o caos às ruas	O Liberal
04/03/2008	Águas de março desabam sobre Belém	O Liberal
10/02/2008	Chuvas bate recordes sucessivos em Belém	O Liberal
21/01/2008	Chuva traz perigo invisível e mortal	Diário d Pará
18/01/2008	Sob as bênçãos da chuva	O Liberal
04/09/2007	Setembro será mês de poucas chuvas	O Liberal
21/03/2007	Maré deve chegar a 3,8 m hoje	O Liberal
14/03/2007	Subida das águas de março deve chegar a 4 metros	Diário do Pará
15/02/2007	Chuva de uma hora alaga a cidade	O Liberal
15/02/2007	Carnaval de chuva em todo Pará	O Liberal
14/09/2006	Chuva deixa cidade alagada	Diário do Pará
21/04/2006	Prevista mais chuva para o fim de semana	O Liberal
30/03/2006	Chuvas e maré alta alagam Belém	O Liberal
10/01/2006	Temporal volta a causar transtornos	Diário do Pará
08/01/2006	Áreas de baixada sofrem com o inverno	O Liberal

## ANEXO C: Modelo de Boletim de alerta Hidroclimático para Belém-PA



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - MI  
SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA-SUDAM  
COORDENAÇÃO DE DEFESA CIVIL - CORDEC  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA  
FACULDADE DE METEOROLOGIA - FAMET

Este boletim está disponível no site do projeto: [defesacivil.sudam.gov.br](http://defesacivil.sudam.gov.br)




---

## BOLETIM DE ALERTA HIDROCLIMÁTICO DIÁRIO

### BELEM-PA 03/10/2016

APLICAÇÕES PARA ALERTA DE DESASTRES E AÇÕES DE DEFESA CIVIL




TERMO DE COOPERAÇÃO Nº03/2012 SUDAM/UFPA

PROJETO INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO, PREVISÃO E ALERTAS PARA GESTÃO DE RISCO E RESPOSTAS A DESASTRES NA AMAZÔNIA.

Em caso de emergência contate  
Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Pará 190

Defesa Civil Municipal de Belém  
3283-4707/98970-7058

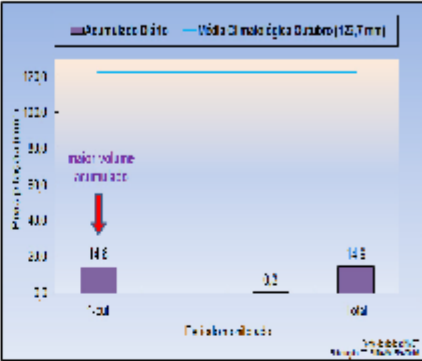
Instituições parceiras



### Comportamento e Análise da Precipitação

O histograma de precipitação representado no gráfico 1 apresenta o monitoramento diário das chuvas registradas durante o mês de outubro no município de Belém. Dados obtidos da estação meteorológica convencional do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) apontam que até no dia 01/10 houve registro de chuva para o município de 14,6 mm.

De acordo com a série climatológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) o volume pluviométrico de precipitação esperado para o mês de outubro é de 122,7 mm de chuva (linha azul no gráfico).



**Gráfico 1-** Monitoramento diário do índice pluviométrico no município de Belém-PA. O acumulado diário de chuva considera o intervalo das 09:00 h do dia anterior até 09:00 h do dia em questão.

### Previsão da Precipitação (04/10/2016)

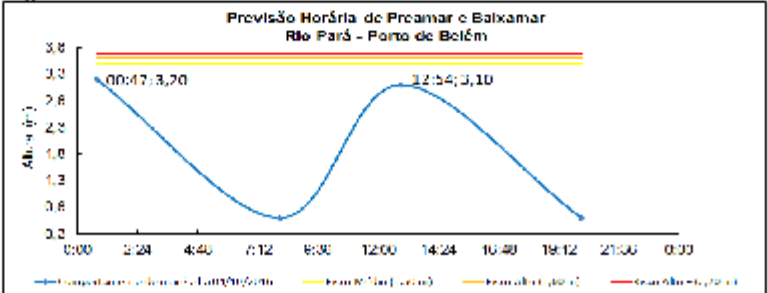
A terça-feira se apresenta com manhã de tempo ensolarado e pouca presença de nuvens. No decorrer da tarde, as elevadas temperaturas e a baixa umidade do ar continua sendo desfavorável a formação de nuvens carregadas. Portanto, pancadas de chuva de 10 mm para a região.

### Alerta de Alagamento

De acordo com a classificação de níveis de risco (tabela 1), a intensidade de precipitação prevista não apresenta potencial de risco para provocar alagamentos nos pontos considerados críticos da cidade.

### Monitoramento e Previsão de Alertas e Marés

O comportamento do ciclo diário das alturas das marés indica que no dia 04/10/2016 a primeira maré alta deverá acontecer às 00:47 h, quando as águas do rio Pará deve atingir 3,20 m. Já a segunda maré do dia ocorrerá às 12:54 h, quando a altura prevista é de 3,10 m. Portanto, o comportamento das marés para esse dia não apresenta provável situação de risco, haja visto que não atinge a altura mínima (3,50 m) de risco, segundo classificação da Defesa Civil Municipal de Belém. Conforme indicado no gráfico 2.



**Gráfico 2-** Comportamento da maré previsto para o dia 04/10/2016. Fonte de dados: Marinha/DHN; Elaboração: TC SUDAM/UFPA

[www.sudam.gov.br](http://www.sudam.gov.br)

**Ministério da Integração Nacional**

Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM  
Tel. (91) 4006-5573/5512  
E-mail: [coordenacao@defesacivil.sudam.gov.br](mailto:coordenacao@defesacivil.sudam.gov.br)  
Ouvvidoria SUDAM - 0800010001

