Dinâmica das áreas de várzea do município de Belém/PA e a influência da precipitação pluviométrica na formação de pontos alagamentos

Dynamics of lowland areas in the city of Belém/PA and the influence of rainfall in the flooding points formation

Maissa Ludymilla Carvalho Pontes Meteorologista, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil ludymillapontes15@hotmail.com

Aline Maria Meiguins de Lima Geóloga, Doutora em Desenvolvimento Socioambiental, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Brasil ameiguins@ufpa.br

João de Athaydes Silva Júnior
Meteorologista, Doutor em Desenvolvimento Socioambiental,
Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e
Desastre na Amazônia, Universidade Federal do Pará, Brasil
athaydes@ufpa.br

Carla Cristina de Azevedo Sadeck Geógrafa, Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Brasil carla.sadeck@gmail.com

Resumo

O município de Belém (PA) localiza-se numa região onde se acumulam as influências do regime fluvial e de marés, delimitada por uma extensa área de várzea urbanizada. Neste trabalho caracterizou-se a dinâmica das áreas de várzea do município de Belém (PA) em função da relação entre a variação da precipitação pluviométrica e a ocorrência de pontos de alagamentos. O método adotado constou da espacialização das ocorrências de alagamento em relação aos limites topográficos das áreas de várzea e caracterização do comportamento da precipitação pluviométrica, considerando sua variação de intensidade ao dia. Os resultados obtidos indicam que os pontos de alagamentos em Belém tem relação com as baixas topografias drenadas por 11 bacias hidrográficas de diferentes características físicas, porém existem ocorrências associadas a infraestrutura urbana inadequada, que dificulta o escoamento e a infiltração. A precipitação pluviométrica atua de forma conjugada ao efeito das marés para o aumento das condições de risco, porém a variabilidade das condições que influenciam a formação das áreas alagadas não permite inferir um volume mínimo capaz este processo.

Palavras-chave: bacias hidrográficas; escoamento; áreas alagadas.

Abstract

The city of Belém (PA) is in a region with influence of the fluvial system and tides, limited by an urban floodplain. This work characterized the dynamics of floodplain areas in the city of Belém (PA) and their relationship with the rainfall intensity and the occurrence of flooding points. The method consisted of the spatial distribution of flooding points, in the relation with the topographical limits of floodplain areas and the characterization of rainfall, considering the intensity variation by

day. The results indicate that the occurrence of flooding points in Belém is related to the low topographies drained by 11 watersheds with different physical characteristics, however also related with inadequate urban infrastructure, which hinders the runoff and infiltration. The rainfall and the effect of the tides act together to increase the risk conditions, but the variability of conditions that influence in the formation of flooding points does not permit infer a minimum volume for begin this process.

Keywords: watershed; drainage; wetlands.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico e constitui uma unidade hidrológica natural (KURTZ et al., 2003), que drena a água de chuvas por canais e tributários para um curso principal, com vazão efluente e deságue diretamente em outro rio (MARTINS et al., 2005). Na caracterização topográfica da bacia hidrográfica, destaca-se a relação entre o canal principal e sua área natural de cheia, que difere do contexto da inundação, que é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele; sem o transbordo tem-se apenas a enchente (TUCCI, 2007).

Para Bittencourt e Amadio (2007) a planície fluvial apresenta características específicas, onde a variação periódica do nível das águas é o principal fator que determina os ambientes de várzea, causando modificações cíclicas, tanto abióticas quanto bióticas, nessas áreas inundáveis. Os solos de várzea, formados por sedimentos aluvionares, resultam em grande heterogeneidade quanto à sua composição e apresentam grande variação de características de um local para outro, as quais se refletem em diferentes aptidões e diversas limitações de uso (GUIRÃO et al., 2012).

Algumas das principais dificuldades na ocupação das várzeas, dizem respeito às constantes inundações devidas: à drenagem natural deficiente, a baixa capacidade de suporte dos solos locais e a presença do lençol freático (RODRIGUES, 2010). A ação humana inadequada dessas áreas gera uma cadeia de impactos ambientais; que acaba acarretando também a degradação da qualidade de vida da população, trazendo diversos tipos de problemas a serem enfrentados (CARNEIRO et al., 2010).

Dentre as estruturas mais impactadas destacam-se as habitações nas áreas de vales fluviais ou mesmo em áreas que sofrem constante influência de marés, onde a população convive com situações, tais como: constantes alagamentos de suas casas ou ruas (ou estivas), odor produzido pela água parada e o lixo que geralmente é depositado diretamente nos cursos hídricos (PIMETEL et al., 2012). As perdas de solo resultantes da ocupação inadequada das áreas de várzea, também representam um problema recorrente junto com os efeitos das inundações (CERRI et al., 1997; SOUZA et al., 2005).

A caracterização física das bacias hidrográficas cujas áreas de várzea encontram-se urbanizadas permite avaliar o seu comportamento mediante a intensificação do processo de canalização, estreitamento de canal e modificação da topografia original, no intuito de reduzir os impactos decorrentes (RODRIGUES, 2010; SANTOS et al., 2010). Os elementos comumente analisados são: os morfométricos (BARBOSA e FURRIER, 2012); e os hidrológicos (DANIEL et al., 2011). Dentre os componentes do ciclo hidrológico a precipitação pluviométrica destaca-se em espaços urbanizados por ser condicionante de vários aspectos de risco ambiental, dentre eles os efeitos das inundações.

A região Amazônica é caracterizada por um clima quente e úmido, onde os gradientes de temperaturas são baixos, com ocorrência de nebulosidade e precipitação convectiva (FISCH et al., 1998); ocorrendo durante todo ano uma grande incidência dos raios solares. A umidade presente, embora com valores altos, sofre variações acentuadas (ANANIAS et al., 2010). A precipitação é considerada a variável mais importante para a região tropical (AMANAJÀS e BRAGA, 2012).

A dinâmica das variações climática interanuais e sazonais do regime chuvoso na Amazônia oriental é influenciada diretamente pelo o acoplamento oceano - atmosfera de grande escala (SOUZA et al., 2009). Essa variação interanual é moldada pelos fenômenos de grande escala que ocorrem sobre os oceanos (GIANNINI et al., 2001; PEZZI e CAVALCANTI, 2001) que influenciam sistemas como as Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Linhas de Instabilidades (LIs).

No município de Belém (PA) predomina um clima quente e úmido, enquadrando-se nos tipos climáticos AM, da classificação de Köppen e *B4rA'a'* da classificação Thornthwaite. O primeiro tipo significa que o clima é chuvoso com clima de monção e médias pluviométricas anuais maiores que 1500 mm e com precipitação, no período seco, maior que 60 mm. No segundo, o clima é úmido da quarta classificação, podendo apresentar ausência ou pequena deficiência hídrica (BASTOS et al., 2002).

A precipitação em Belém é influenciada por inúmeros fenômenos atmosféricos: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), as Linhas de Instabilidades (LI), os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), o efeito de brisa e pela convecção local, que representa um dos principais fenômenos responsáveis pela precipitação na época menos chuvosa (COHEN et al., 1995; SOUZA et al., 2009; REIBOTA et al., 2010; ALCÂNTARA, 2011; CAMPONOGARA e SILVA, 2011; MOURA e VITORINO, 2012; LOPES et al., 2013; SOUZA et al., 2014).

A ZCIT possui influência nas LIs, que são um dos principais sistemas precipitantes da Amazônia Oriental (ALCÂNTRA, 2011). As LIs são responsáveis por causar metade da chuva na região e tem seu posicionamento influenciado pelo movimento meridional da ZCIT (COHEN et al.,

1995). Os complexos convectivos de mesoescala (CCMs) tropicais são sistemas que também influenciam na precipitação da região (NIETO-FERREIRA et al., 2003; REIBOTA et al., 2010). Segundo Salio et al. (2007) os CCMs da região equatorial surgem do aquecimento da superfície e não de sistemas sinóticos (como nos subtrópicos). Esse aquecimento gera convecção e convergência e, devido a essa característica, tem seu máximo desenvolvimento durante o dia. Ocorrem do verão ao outono.

O índice pluviométrico elevado de Belém caracteriza dois períodos: o chuvoso e menos chuvoso. Segundo a climatologia, de Janeiro a maio é indicado como o chuvoso, com acumulados mensais que variam em 350 e 400 mm. Nos meses de setembro a novembro ocorrem os menores índices pluviométricos com valores entre 120 a 200 mm/mês (MORAES et al., 2005; SOUZA et al., 2009). Santiago et al. (2011) indicam que a intensidade das chuvas no período de 24 horas (Chuva Máxima) vem aumentando ao longo dos anos e isso pode ser relacionado às alterações locais ocorridas, devido ao processo de urbanização, que implicou em maior aquecimento da superfície ao nível do solo, maior convecção e, consequentemente, em maior aumento de chuvas por efeito local.

Neste contexto, Belém (PA) situa-se em um ambiente em que os aspectos geomorfológicos e climáticos convergem para uma situação constante de risco ambiental a ocorrência de inundações. As áreas de várzea associadas a um índice pluviométrico em torno de 3000 mm/ano e as modificações decorrentes da urbanização (impermeabilização, alteração topográfica, problemas de saneamento básico) favorecem a ocorrência de alagamentos principalmente durante a estação mais chuvosa (MORAES et al., 2005; SANTOS, 2009; FREITAS e XIMENES, 2012).

Este trabalho visa caracterizar a dinâmica das áreas de várzea do município de Belém (PA) em função da relação entre a variação da precipitação pluviométrica e a ocorrência de pontos de alagamentos. Priorizou-se avaliar os locais onde a frequência de formação de áreas alagadas é recorrente por este ter se tornado, nos últimos anos, um problema de significativo impacto; já se permite identificar zonas potenciais de risco, pelas perdas de bens e ameaça à vida humana.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área delimitada é formada por 11 bacias hidrográficas, sendo que destas apenas 03 (lagos Bolonha, Água Preta e Mata Fome) conservam as características naturais de seus cursos d'água. As demais se encontram canalizadas e com alto grau de impermeabilização. Em termos de área, as 6 bacias correspondem a cerca de 88% da área total (lagos Bolonha e Água Preta, Tucunduba, Una, Val-de-Cães e Mata Fome) indicando uma fragmentação espacialmente diferenciada da área (Figura 1). Sua escolha é relacionada a maior concentração de ocorrências de alagamento no município de Belém, conforme a base de informações pesquisada.

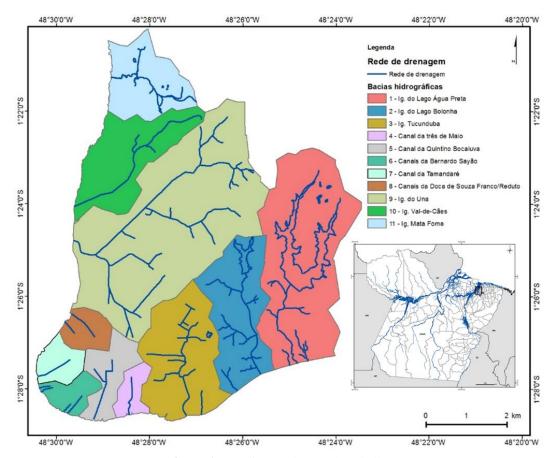


Figura 1. Localização da área de trabalho.

Na caracterização das bacias hidrográficas foram empregados: imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, com resolução espacial de 90 m) para geração do modelo digital de terreno, da rede de drenagem e do limite das bacias hidrográfica. Na análise morfométrica foram considerados os elementos de análise linear, areal e de relevo (SONI et al., 2013), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros morfométricos adotados segundo Das et al. (2012), Fernandes et al. (2012), Pareta e Pareta (2012) e Altaf et al. (2013).

Parâmetros	Fórmulas	
Ordem dos canais (O)	Sistema hierárquico de Strahler	A
Comprimento dos canais (Lu)	Comprimento total dos canais	A = Area da bacia (m²)
Índice de forma (k)	$k = A/(l^2)$	l = Comprimento da bacia tomado pelo seu curso mais
Densidade de drenagem (Dd)	Dd = Lu/A	longo (m)
Coeficiente de manutenção (Cm)	Cm = (1/Dd)	$\Delta a = \text{variação de altitude(m)}$
Gradiente dos canais (G %)	$G = (\Delta a/l) * 100$	Δu= variação de arritude(m)

A base de dados referentes às ocorrências de alagamento tiveram como fonte o banco de dados da CORDEC/SUDAM (Coordenação de Defesa Civil - Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia), os levantados por Sadeck et al. (2012), bem como de artigos publicados sobre o tema nos mais diversos ambientes (sites, jornais e revistas).

Foi empregada neste estudo a série de dados diários de precipitação dos anos de 1984 a 2013, disponíveis no banco de dados do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) coletados na estação convencional do 2° Distrito de Meteorologia localizado em Belém. Na avaliação do comportamento das marés, foram utilizadas as tábuas de maré disponibilizadas na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN - Banco Nacional de Dados Oceanográficos) e os dados de cota do rio Guamá, disponibilizados pela Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA). Esta foi limitada ao ano de 2012, em função das informações de variação de nível medidas no rio Guamá serem restritas a este período.

A quantidade diária de precipitação foi classificada segundo o proposto por Moreira (2002), Lucas e Abreu (2004) e Mello et al. (2007) pela técnica dos separatrizes; considerando que valores superiores a 20 mm/dia representariam uma chuva que tende a ser de moderada a forte. Estes valores foram avaliados em termos de sua distribuição ao mês, por meio da análise de quantis. A técnica de separatrizes, usada por Xavier e Xavier (1987), representa a divisão de uma sequência ordenada de dados numéricos em partes que contêm a mesma quantidade de elementos da série.

Neste trabalho foi usada a técnica adotada por Ananias et al. (2010) para Belém. Segundo o critério adotado, foi considerada a seguinte condição: Prob. ($X \le Qp$), sendo (0 < 1); Qp - intervalo do quantil para a variável X, sendo p a probabilidade de ocorrência, tal que p seja menor que p cos quantis empregados foram: p = 0.15; p = 0.15

A integração entre os dados de precipitação pluviométrica e o comportamento das marés, para avaliação dos efeitos das inundações em Belém, foi avaliada para o ano de 2012, considerando: o número de dias com valores maiores que 20 mm, que coincidiram com os períodos de maré alta e os valores de cota correspondentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Influência da precipitação na ocorrência de alagamentos em Belém

A Figura 2 (a, b) ilustra que, na cidade de Belém, o período chuvoso é bem definido de Janeiro a Abril; com máximos pluviométricos que ultrapassam 500 mm e mínimos superiores a 200 mm (média mensal). A distribuição por percentis de 0,15 e 0,85, que são os valores mínimos e os máximos respectivamente, indica que nos meses chuvosos a diferença entre estes é menor que nos meses menos chuvosos (Figura 2c). As Tabelas 2 e 3 apresentam a contagem de dias com

precipitação acima do índice de 20mm. Percebe que esses dias se concentram em sua maioria no período chuvoso e acontecem umas 14 vezes no mês.

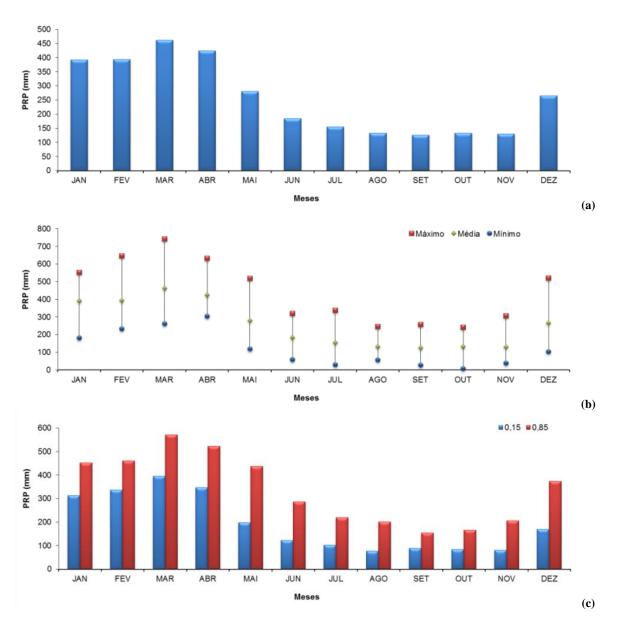


Figura 2. Comportamento da precipitação pluviométrica, tendo como base a estação do INMET, período de 1984 a 2013.

A Figura 3a apresenta os meses que mais se assemelham, considerando o padrão de dias com as ocorrências das chuvas acima de 20 mm; onde foi empregada a distribuição segundo a aglomeração hierárquica (FECHINE et al., 2008). Percebe-se que o grupamento Jan/Mar-Abr/Fev é concordante com o observado na Figura 2, no referente às características do período chuvoso.

A mesma frequência de distribuição pode ser observada a partir de histogramas. Estes destacam a regularidade do período de janeiro a abril (Figura 3b). O mês de maio se comporta como transitório entre os dois períodos: o chuvoso e o menos chuvoso (Figura 3c). Ele possui uma frequência bem distribuída e diferenciada do trimestre junho, julho e agosto (que possui uma menor

concentração de dias com índices iguais ou maiores que 20 mm). O mesmo ocorre com dezembro, que se diferencia dos meses de setembro, outubro e novembro, que representam o período menos chuvoso na região (Figura 3d).

Apesar de ter-se adotado um limite definido de precipitação, na cidade de Belém é observado que para a ocorrência de pontos de alagamento, associados ou não da proximidade com sistemas hídricos, a maior dependência é do quantitativo de chuva em relação ao período que levou para precipitar. Como exemplo cita-se um evento registrado pela imprensa local no dia 23/03/2012, quando cerca de 62% da chuva total do dia (24h) já havia caído até as 16hs gerando várias ocorrências de alagamento na cidade.

Santos et al. (2014) analisaram a frequência anual dos eventos extremos de precipitação (EEPRP) no período de 1987 a 2011 (chuvas maiores do que 67,1 mm/dia) tendo obtido a média de 7 EEPRP por ano, com máximo de 16 (2011) e mínimo de 2 (2003), sendo que a maioria dos eventos extremos ocorreu no período chuvoso. Os autores indicam que existe a tendência de aumento da frequência dos EEPRP a partir do ano 2000.

Tabela 2. Contagem mês/ano do número de dias com chuvas superiores a 20 mm: 1984-2000.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1984	6	11	6	6	11	5	1	2	1	1	-	1
1985	7	8	10	8	3	-	3	2	2	1	1	7
1986	5	9	9	10	3	3	1	1	1	1	1	2
1987	8	7	9	5	1	3	1	1	-	2	2	3
1988	11	5	9	8	3	2	6	2	3	1	6	5
1989	9	8	ı	7	8	4	4	1	4	2	-	7
1990	3	9	5	5	1	-	2	2	-	1	1	1
1991	5	6	12	4	4	2	1	-	-	-	1	2
1992	9	7	5	10	3	-	1	-	-	-	1	2
1993	9	8	10	4	5	2	-	4	1	3	3	4
1994	6	7	6	9	6	3	2	-	1	-	2	6
1995	3	6	10	5	7	3	3	-	2	3	3	6
1996	6	5	11	12	6	5	2	1	1	1	3	2
1997	5	6	8	13	4	1	-	1	-	-	1	5
1998	7	5	8	9	3	4	3	3	-	1	2	6
1999	2	7	5	6	5	1	-	1	-	1	2	6
2000	7	6	9	3	4	1	4	-	2	2	-	5

Tabela 3. Contagem mês/ano do número de dias com chuvas superiores a 20 mm: 2001-2013.

	Tubela e. Contagent mes, and do namero de dias com ena vas superiores a 20 mm. 2001 2013.											
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2001	6	4	9	8	3	6	5	-	2	2	1	2
2002	9	3	9	8	1	3	2	1	2	-	3	6
2003	-	7	11	6	2	1	1	1	4	3	1	4
2004	6	10	9	8	1	3	2	1	1	3	2	6
2005	6	9	8	10	8	5	3	1	1	5	-	10
2006	8	4	10	8	7	-	2	3	2	1	4	7
2007	3	8	5	8	2	2	2	3	1	2	2	6
2008	14	14	9	7	6	4	-	2	2	1	2	4
2009	3	7	12	9	10	5	3	2	2	2	-	3
2010	9	5	7	6	6	3	1	4	1	3	1	1
2011	8	1	11	10	7	4	3	1	-	2	2	4
2012	12	8	14	6	4	5	4	2	4	-	2	4
2013	4	10	10	11	5	-	3	5	2	-	4	5
Média (1984-2013)	7	7	9	8	5	3	3	2	2	2	2	4

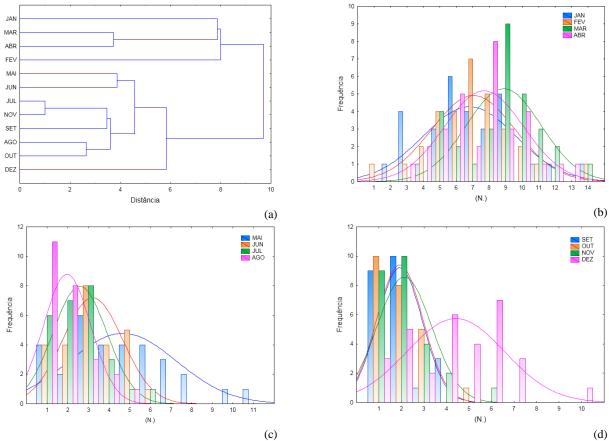


Figura 3. (a) Aglomeração hierárquica com a distribuição mensal dos dias com chuvas superiores a 20 mm. Histograma de frequência com o número de dias com chuva superior a 20 mm: (b) janeiro a abril; (c) maio a agosto; (d) setembro a dezembro.

3.2. Análise do comportamento da rede de drenagem e das ocorrências de pontos de alagamento

Os canais de 1ª Ordem (Strahler) são predominantes (59%), tendo sido classificadas apenas duas bacias como de 4ª ordem. Todas as demais foram inferiores, o que pode ser um fator que favorece o escoamento.

As bacias que apresentaram maiores valores de densidade de drenagem foram as que mantiveram a maior parte de seus tributários (bacias dos lagos Água Preta e Bolonha, Mata Fome, Tucunduba e Una). As bacias mais intensamente canalizadas apresentaram os maiores valores de coeficiente de manutenção, e menores valores de densidade de drenagem (Figura 4, Tabela 4).

A importância da densidade de drenagem está ligada ao estudo de bacias hidrográficas, já que representa uma relação inversa com o comprimento dos rios. Entende-se que à medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem (PARETA; PARETA, 2012).

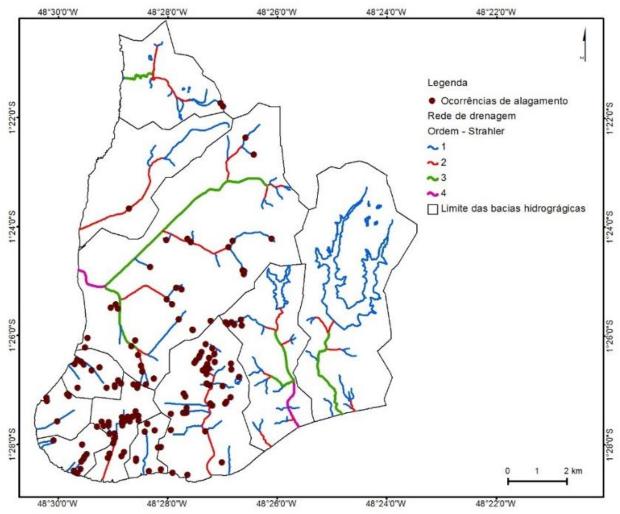


Figura 4. Ocorrências de pontos de alagamento.

Tabela 4. Avaliação do perfil morfométrico.

Bacias hidrográficas	Área da bacia	% da área total	Perímetro da bacia	Alfura Média	Altura máxima	Altura mínima	Comprimento da bacia - curso mais longo	Comprimento total dos canais	Comprimento médio dos canais	Declividade
	A (km²)	A (%)	P (m)	Amed	Amax	Amin	l (m)	L (m)	lm (m)	s (%)
Água Preta	24,77	20,13	23640,21	18,93	43	0,0	8213,63	38122	12707	2,93
Bolonha	12,06	9,80	17338,01	15,70	42	0,0	6206,71	20495	5124	3,22
Tucunduba	13,61	11,06	16818,49	9,71	30	0,0	5436,85	13519	6759	1,64
03 de Maio	2,07	1,68	7068,06	7,24	17	3	1585,56	1586	1586	1,04
Quintino Bocaiuva	4,56	3,71	12493,02	10,47	27	0,0	2577,29	3415	1707	1,97
Bernardo Sayão	2,47	2,00	7241,93	7,36	20,6	1	886,90	2212	2212	1,58
Tamandaré	2,68	2,18	6904,26	11,90	31	1	1445,05	1445	1445	2,46
Doca de Souza Franco/Reduto	2,76	2,25	6581,29	12,96	31	3	1308,90	1897	1897	2,36
Uma	38,59	31,36	30576,14	14,18	43	0,0	9240,33	33228	8307	1,98
Val-de-Cães	19,50	15,84	23103,34	12,81	30,40	2,20	6936,65	8367	4183	2,26
Mata Fome	8,24	6,70	13376,70	13,00	27,90	0,00	4846,57	12481	4160	2,32

O coeficiente de manutenção (Cm) encontrado, associados aos de índices de forma (K), indicam que estas bacias, em condições normais de precipitação não são suscetíveis a enchentes (DAS et al., 2012; SANTOS et al., 2012). Observa-se que as bacias do Água Preta e do Bolonha não são suscetíveis a ocorrências de alagamento porque seu meio físico não foi alterado. Ele ainda possui áreas com cobertura vegetal, mantendo assim seu ciclo hidrológico sem grandes alterações.

Em termos de ocorrências de pontos de alagamentos a bacia do Tucunduba sofre com 28,08%, seguida das bacias do Una (23,97%) e da Quintino Bocaiuva (17,81%), estando este comportamento associado a baixos gradientes de canais e altos coeficientes de manutenção (Tabela 5).

Tabela 5. Relação entre os parâmetros morfométricos e a ocorrências de alagamentos.

Bacias hidrográficas	Índice de	Densidade de drenagem (Dd)	Coeficiente de manutenção (Cm)	Gradiente dos	Ocorrências de pontos de alagamento		
C	forma (K)	(Km/Km ²)	(Km)	canais (G) (%)	Número	%	
Água Preta	0,37	1,54	0,65	0,52	0	0	
Bolonha	0,31	1,70	0,59	0,68	6	4,11	
Tucunduba	0,46	0,99	1,01	0,55	41	28,08	
03 de Maio	0,82	0,77	1,30	0,88	9	6,16	
Quintino Bocaiuva	0,69	0,75	1,34	1,05	26	17,81	
Bernardo Sayão	3,13	0,90	1,11	2,21	10	6,85	
Tamandaré	1,28	0,54	1,86	2,08	5	3,42	
Doca de Souza Franco/Reduto	1,61	0,69	1,46	2,14	12	8,22	
Uma	0,45	0,86	1,16	0,47	35	23,97	
Val-de-Cães	0,41	0,43	2,33	0,41	1	0,68	
Mata Fome	0,35	1,51	0,66	0,58	1	0,68	

A Figura 5 apresenta o zoneamento da região segundo o número de ocorrências por bacia. Observa-se que os canais que sofreram um processo de canalização mais intenso apresentam valores reduzidos de densidade de drenagem com a diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem. O processo de canalização, que teria a função de favorecer o escoamento, neste caso está potencializando a ocorrência dos alagamentos na cidade (CARNEIRO et al., 2010).

A maioria dos pontos de ocorrência está a até 100 m de distância da rede de drenagem (Figura 5a), demonstrando que nem sempre estão relacionados ao comportamento fluvial. Eles também são vinculados aos processos associados a intensa urbanização da área. Qualquer elemento além da rede hidrográfica contido na área de uma dada bacia fará parte de um sistema integrado onde diversas dinâmicas ocorrem entre cada um de seus componentes estabelecendo um padrão de organização (SANTOS; LIMA, 2009).

As cotas da cidade variam entre 5m e 10m, sendo que grande parte do território encontrase nas áreas com cotas acima ou igual a 5m (Figura 5b). As áreas de várzea, com cotas alagadiças não são meras feições geomórficas, mas sim elementos característicos da topografia da cidade, lembrando que em virtude de sua fraca altitude e da conformação do terreno ela se ressente de certas deficiências de escoamento, daí a referência aos igapós (ARAÚJO JUNIOR, 2013). Isso caracteriza que a qualquer aumento do nível do rio, áreas de várzea com cota entre 5 m e 10m já estarão sujeitas a alagamentos (Figura 5c).

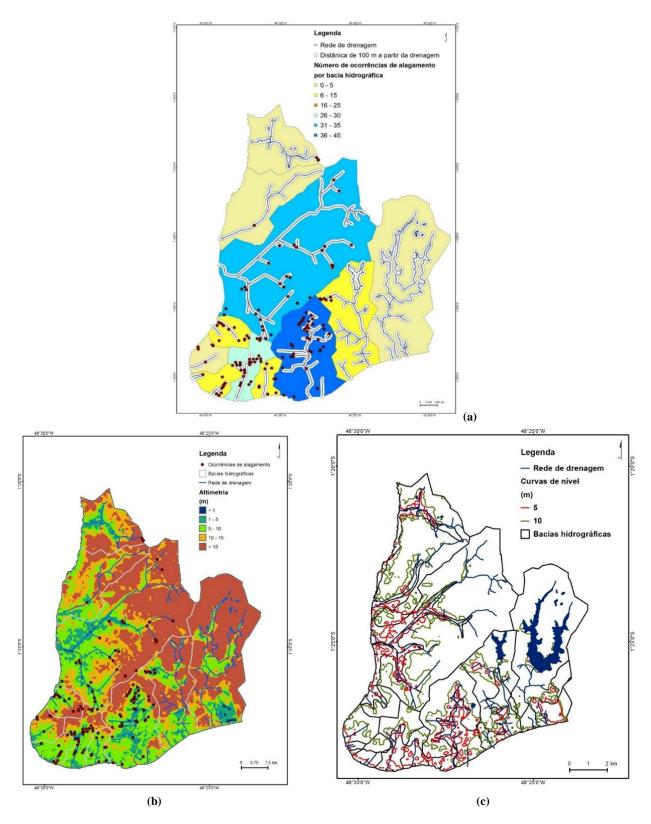


Figura 5. (a) Distância a partir dos cursos d'águas das ocorrências de alagamentos por bacia hidrográfica. (b) Carta de variação altimétrica. (c) Limites das áreas vulneráveis a ocorrência de cheias.

3.3. Influência da precipitação pluviométrica e das marés na ocorrência de alagamentos

A ocorrência de pontos de alagamentos, na área de estudo, também pode ser avaliada a partir do efeito conjugado entre a precipitação pluviométrica e as marés. A cidade está sujeita a esses eventos sempre na parte da tarde, em uma relação com a chuva que já é "tradicional" e a sazonalidade da maré (ARAÚJO JUNIOR, 2013). Tais eventos possuem maior número de ocorrência de janeiro a abril, o que corresponde ao período chuvoso da região, ocorrendo com menos frequência no resto do ano.

As marés podem ser entendidas como a variação do nível d'agua, na forma de ondas de longos períodos, causadas basicamente por influência astronômica e eventos meteorológicos, onde o efeito combinado de ventos com sentido terra-mar com baixas pressões corresponde a marés meteorológicas positivas que constituem ameaça de inundações para áreas costeiras mais baixas (SANTOS, 2012). Observando que a cidade está localizada, em sua maioria, em uma área de cotas de 5 m, a subida do nível do rio decorrente da maré associado à chuva torna-se um dos fatores para o surgimento das ocorrências de alagamentos.

A combinação de chuvas acima de 20 mm junto a marés altas acarreta em ocorrências de alagamentos (SANTOS et al., 2010). Considerando o acesso ao registo de variação de nível para o ano de 2012 obtido no ponto de captação da COSANPA, foi realizada uma análise integrada entre os valores de precipitação, variação de nível (cota) e efeito das marés. A análise se concentrou de fevereiro a julho de 2012. A Tabela 6 mostra os dias em que a chuva foi registrada acima de 20 mm e a maré e a cota para o mesmo dia. A Figura 6 apresenta o comportamento das variáveis ao longo do ano. A maré e os níveis seguem o mesmo padrão intercalado por momentos em que o nível é menor que a maré, porém há momentos em que eles coincidem com os valores de precipitação acima de 20 mm.

Trabalhos como de Benavente et al. (2006) e Altieri e Rocha (2013) discutem a somatória dos efeitos das principais forçantes físicas que associam o efeito conjugado entre precipitaçõescotas-marés; com o objetivo de determinar as áreas de maior risco de inundação durante a ocorrência de eventos atmosféricos extremos. Boulomytis et al. (2015) destaca que locais ambientalmente vulneráveis em processo de urbanização ou já consolidados, como o caso das planícies de inundação ocupadas, devem ser dotados de projetos de infraestrutura adequados a realidade instalada e de ações voltadas ao ordenamento do território para minimizar os riscos ambientais.

Em Belém, a relação precipitações-cotas-marés poderia ser melhor avaliada se houvesse monitoramento de nível nos canais urbanos internos e ao longo da orla, tanto próximo a baia do Guajará, quanto na foz com o rio Guamá. Silva Junior et al. (2013) realizaram avaliação semelhante

para o ano de 2010, observando as ocorrências de alagamento integrados a uma análise precipitação-maré, onde valores superiores a 20 mm quando influenciados pelas marés, ocasionaram alagamentos; no canal da Quintino Bocaiuva foi registrado que quando a maré está alta associada a uma chuva de 10 mm ocorre alagamento e quando a maré está baixa o acumulado precisa ser de 35 mm.

Tabela 6. Dias em que a chuva (PRP) foi registrada acima de 20 mm, a maré e a cota para o mesmo dia, com a variação total de nível obtida.

Data	PRP (mm)	Maré (m)	Cota (m)	Variação total (m)	Data	PRP (mm)	Maré (m)	Cota (m)	Variação total (m)
15/02/2012	29,9	3,0	2,2	5,2	28/03/2012	49.2	3	2.7	5.7
18/02/2012	31,7	3,2	1,9	5,1	01/04/2012	22,3	2,8	2,6	5,4
23/02/2012	31,0	3,3	2,5	5,8	09/04/2012	29,2	3,6	3,0	6,6
25/02/2012	30,1	3,2	2,5	5,7	11/04/2012	37,6	3,3	2,9	6,2
28/02/2012	27,9	3,0	2,3	5,3	12/04/2012	20,8	3,1	2,8	5,9
04/03/2012	35,3	3,0	2,2	5,2	13/04/2012	38	2,9	2,7	5,6
09/03/2012	42,4	3,5	2,7	6,2	18/04/2012	46,2	3,2	2,6	5,8
12/03/2012	81,9	3,4	2,5	5,9	08/05/2012	22,3	3,5	2,8	6,3
13/03/2012	49,6	3,3	2,5	5,8	15/05/2012	32,2	2,9	2,6	5,5
14/03/2012	33,1	3,1	2,4	5,5	25/05/2012	28,4	3,1	2,6	5,7
15/03/2012	32,8	3,2	2,3	5,5	04/06/2012	21,3	3,5	2,7	6,2
19/03/2012	35,8	3,2	2,4	5,6	08/06/2012	56,6	3,3	2,5	5,8
21/03/2012	60,3	3,3	2,5	5,8	23/06/2012	36,5	3,2	2,6	5,8
23/03/2012	62,7	3,4	2,6	6,0	27/06/2012	30,2	2,9	2,4	5,3
24/03/2012	32,4	3,3	2,7	6,0	29/06/2012	37,4	2,9	2,4	5,3
25/03/2012	24,1	3,3	2,7	6,0	02/07/2012	33,0	3,4	2,5	5,9
26/03/2012	23,4	3,2	2,7	5,9	09/07/2012	75,3	3	2,6	5,6
27/03/2012	38,0	3,2	2,8	6,0	14/07/2012	27,1	2,8	2,5	5,3

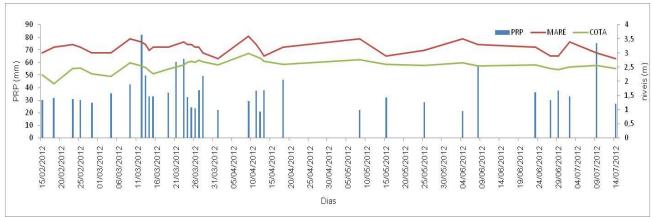


Figura 6. Comportamento: dias em que a chuva foi registrada acima de 20 mm, a maré e a cota para o mesmo dia.

4. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que as características físicas das bacias hidrológicas da cidade de Belém não são o único fator de influência nas ocorrências de alagamentos. As transformações que o meio vem sofrendo ao longo dos anos proporcionam um novo ambiente para essas bacias.

As possíveis mudanças de seu ciclo hidrológico ocasionadas pela pavimentação, aterro e o aumento da densidade demográfica, interferem diretamente em alguns fatores, tais como, a diminuição das taxas de infiltração e do escoamento superficial, acarretando no acumulo de água na superfície, esta pode ter origem nas chuvas ou nas marés altas, ou na soma dos dois.

Com a maré baixa os canais ficam vazios e o sistema de drenagem pluvial da cidade consegue suportar um volume de chuva um pouco maior; no entanto, os eventos de precipitação com valores acima de 20 mm associados com as marés altas já comprometem a capacidade de drenagem dos canais, o que proporciona um ambiente favorável ao surgimento das ocorrências.

O agravamento desse processo é decorrente da intensificação da densidade demográfica nessas áreas, principalmente por uma população migrante que ocupa primeiro e depois reivindica as condições necessárias de saneamento e habitação; tendo por consequência um alto índice de lançamento de efluentes (domésticos e pluviais) e de resíduos sólidos que acarretam na formação de pontos de acúmulo, que intensificam o efeito dos alagamentos nas proximidades dos canais.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, C. R. Linha de instabilidade da Amazônia: estudo de caso e importância das características do perfil do vento na sua formação e desenvolvimento. **Ciência & Natura**, v. 33, n. 2, p. 197-226, 2011.

ALTAF, F.; MERAJ, G.; ROMSHOO, S. A.Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of lidder watershed, Western Himalaya, India. **Geography Journal**, p. 1-14, 2013.

ALTIERI, F. A. A.; ROCHA, E. J. P. Alagamento e inundação em áreas urbanas, estudo de caso: cidade de Belém. **Rev. GeoAmazônia**, v. 2, n. 2, p. 33 - 55, 2013.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 27, n. 4, 2012.

ANANIAS, D. S.; SOUZA, E. B.; SOUZA, P. F. S.; SOUZA, A. M. L.; VITORINO, M. I.; TEIXEIRA, G. M.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-PA. **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 25, n. 2 p. 218-226, 2010.

ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. Fatores de risco a inundação na bacia hidrográfica da estrada nova Belém-PA. **Geografia**, v. 22, p. 57-78, 2013.

BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M. Técnicas de geoprocessamento e morfometria aplicados na detecção de atividades neotectônicas no grupo barreiras, estudo da bacia hidrográfica do Rio Guruji (PB). **Acta Geográfica**, v. 6, n. 11, p. 117-131, 2012.

BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A.; NECHET, D.; SÁ, T. D. A. Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002, 31p.

BENAVENTE, J.; DEL RIO, L.; GRACIA, F. J.; MARTINEZ-DEL-POZO, J. A. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit. **Continental Shelfresearch**, v. 26, p. 1061-1076, 2006.

BITTENCOURT, M. M.; AMADIO, S. A. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. **Acta Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 303-308, 2007.

BOULOMYTIS, V. T. G.; SANTANA, M. F.; COSTA, L. S. D.; SANTOS, A. P. Metodologia de apoio aos gestores urbanos para o mapeamento de inundações: caso da bacia do rio Juqueriquerê, Caraguatatuba, SP. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 53, p. 164-175, 2015.

CAMPONOGARA, G.; SILVA DIAS, M. A. F. Precipitação diária e estrutura vertical da atmosfera em Belém-PA. **Ciência & Natura**, v. esp., p. 263-266, 2011.

CARNEIRO, P. R. F.; CARDOSO, A. L.; ZAMPRONIO, G. B.; MARTINGIL, M. C. A gestão integrada de recursos hídricos e do uso do solo em bacias urbano-metropolitanas: o controle de inundações na bacia dos Rios Iguaçu/Sarapuí, na Baixada Fluminense. **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n. 1, p. 29-49, 2010.

CERRI, L. E. S.; SILVA, J. A. F.; SANTOS, P. H. P. Erosão do solo: aspectos conceituais. **Geociências**, v. 6, n. 2, p. 92-98, 1997.

COHEN, J. C. P; SILVA DIAS, M. A F.; NOBRE C. A. Environmetal conditions associated with Amazonian squalllines. **Monthy Weather Review**, v. 123, n. 11, p. 3163-3174, 1995.

DANIEL, E. B.; CAMP, J. V.; LE BOEUF, E. J.; PENROD, J. R.; DOBBINS, J. P.; ABKOWITZ, M. D. Watershed modeling and its applications: a state-of-the-art review. **The Open Hydrology Journal**, v. 5, p. 26-50, 2011.

DAS, A.; MONDAL, M.; DAS, B.; GHOSH, A. R. Analysis of drainage morphometry and watershed prioritization in Bandu Watershed, Purulia, West Bengal through Remote Sensing and GIS technology - A case study. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 2, n. 4, p. 995-1013, 2012.

FERNANDES, M. C.; AVELAR, A. S.; MENEZES, P. M. L.; COELHO NETTO, A. L. Comparação do uso de superfície real e planimétrica para análises do índice de eficiência de drenagem: um estudo de caso no maciço da Tijuca – RJ. **Rev. Bras. de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 29-37, 2012.

- FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. Análise das precipitações mensais da bacia hidrográfica do rio Brígida no semiárido pernambucano, usando o método de WArds. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 75-87, 2008.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.
- FREITAS, C. M.; XIMENES, E. F. Enchentes e saúde pública: uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1601-1616, 2012.
- GIANNINI, A.; KUSHNIR, Y.; CANE, M. A. Seasonality in the impact of ENSO and the North Atlantic High on Caribbean rainfall. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 26, n. 2, p. 143-147, 2001.
- GUIRÃO, A. C.; CISOTTO, M. F.; BARBOSA, R. V.; Vulnerabilidade por inundação na área de várzea do rio Atibaia no município de Campinas-SP. **Rev. Geonorte**, v. 3, p. 1380-1390, 2012.
- KURTZ, F. C.; ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M.; ROBAINA, A. D.; GARCIA, S. M.; SANTOS, A. H. O.; DILL, P. R. J.; ATAIDES, P. R. V.; MARTINS, F. B. Zoneamento ambiental dos banhados da estação ecológica do Taim, RS. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 77-83, 2003.
- LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Rev. Bras. de Climatologia**, v. 12, p. 84-102, 2013.
- LUCAS, T. P. B.; ABREU, M. L. Caracterização climática dos padrões de ventos associados a eventos extremos de precipitação em Belo Horizonte, MG. **Caderno de Geografia**. v. 14, n. 23, p. 135-152, 2004.
- MARTINS, F. B.; ROCHA, J. S. M.; ROBAÍNA, A. D.; KURTZ, S. M. J. M.; KURTZ, F. C.; GARCIA, S. M.; SANTOS, A. H. O.; DILL, P. R. J. NOAL, T. N. Zoneamento ambiental da subbacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS) (estudo de caso). **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 315-322, 2005.
- MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.
- MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. A. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 207-214, 2005.
- MOREIRA, J. L. B. Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno. 2002. 107f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 475 483, 2012.

NIETO-FERREIRA, R. N.; RICKENBACH, T. M.; HERDIES, D. L.; CARVALHO, L. M. V. Variability of South American convective cloud systems and tropospheric circulation during January-March 1998 and 1999. **Monthly Weather Review**, v. 131, p. 961-973, 2003.

PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative geomorphological analysis of a watershed of Ravi River Basin, H. P. India. **International Journal of Remote Sensing and GIS**, v. 1, n. 1, p. 41-56, 2012.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: A numerical study. **Climate Dynamics**, v. 17, p. 205-212, 2001.

PIMENTEL, M. A. S.; SANTOS, V. C.; SILVA, F. A. O.; GONÇALVES, A. C. A ocupação das várzeas na cidade de Belém: causas e consequências socioambientais. **Rev. Geonorte**, n. esp., v. 2, n. 4, p. 34-45, 2012.

REIBOTA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185 - 204, 2010.

RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. **Rev. do Departamento de Geografia**, v. 20, p. 111-125, 2010.

SADECK, L. W. R.; SOUZA, A. A. A.; SILVA, L. C. T. Mapeamento das Zonas de Risco às Inundações no Município de Belém-PA. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 6.,2012, Belém. **Anais...** Belém: ANPPAS, 2012.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, J. Mesoscale convective systems over southeastern South American low-level jet. **Monthly Weather Review**, v. 135, p. 1290-1309, 2007.

SANTIAGO, A. V.; RIBEIRO, V. C.; COSTA, J. F.; PACHECO, N. A. variabilidade e intensidade das chuvas em Belém-Pa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 27, 2011, Espirito Santo. **Anais...** Guarapari-ES: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2011.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das subbacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Rev. Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

SANTOS, C. D. A formação e produção do espaço urbano: discussões preliminares acerca da importância das cidades médias para o crescimento da rede urbana brasileira. **Rev. Bras. de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 5, n. 1, p. 177-190, 2009.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

SANTOS, J. M.; LIMA, K. C. Análise da rede de drenagem em bacias hidrográficas tropicais: bacia do Riacho Grande - Bahia/Brasil. **Associação Portuguesa de Geomorfólogos**, v. 6, p. 77-82, 2009.

SANTOS, J. S.; MOTA, M. A. S.; ROCHA, E. J. P. Classificação climatológica da energia potencial disponível para a convecção na cidade de Belém-PA. **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 29, n. esp., p. 60-72, 2014.

SANTOS, O. C. O. As chuvas, alagamentos e enchentes, no período chuvoso em Belém, estado do Pará. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 173-183, 2012.

SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; LIMA, A. M. M.; COSTA, R. F.; RODRIGUES, H. J. B.; POJO, E. B. Estudo de alguns episódios de precipitação pluvial e a ocorrência de inundações urbanas na cidade de Belém, PA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves-RS: ABRH, 2013.

SONI, S.; TRIPATHI, S.; MAURYA A. GIS based morphometric characterization of mini watershed – RachharNala of Anuppur District Madhya Pradesh. **International Journal of Advanced Technology & Engineering Research**, v. 3, n. 3, p. 32-38, 2013.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Rev. Bras. de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de fatores de erosão em latossolo vermelho eutroférrico sob cultivo de canade-acúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 105-114, 2005.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007. 393 p.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Classificação e monitoração de períodos secos ou chuvosos e cálculo de índices pluviométricos para a região nordeste do Brasil. **Rev. Bras. de Engenharia**, v. 5, n. 2, p. 7-31, 1987.

Trabalho enviado em 18/03/2016 Trabalho aceito em 25/11/2016