

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

Estudo de enchente em um trecho de rio sob influência de maré - O caso do rio Santo Antônio no Estado de Alagoas

Denis Duda Costa² ; Thiago Alberto da Silva Pereira¹ ; Luís de Gustavo Moura Reis¹ & Carlos Ruberto Fragoso Junior³

RESUMO --- A bacia hidrográfica do rio Santo Antônio sofre de forma sistemática efeitos de eventos hidrológicos críticos de máximos (enchentes) que por muitas vezes provocam prejuízos de vários aspectos para esta região, motivados, basicamente por três fatores: i. altos índices pluviométricos no período chuvoso, ii. morfologia da região que favorece ao aparecimento de manchas de inundação e iii. ocupação desordenada da população nas faixas de inundações. Assim um estudo de enchente para esta bacia é um tema bastante relevante, para se obter respostas necessárias que possibilitem a ação integrada no intuito de minimizar os impactos à sociedade oriundos destes eventos. Neste artigo os aspectos abordados na procura das respostas contempla estudos hidrológicos, levantamentos topográficos nas seções do rio e simulação hidráulica para se conhecer o comportamento dos níveis do rio em uma onda de cheia para diferentes tempos de recorrência, possibilitando assim o zoneamento de áreas críticas.

ABSTRACT --- The watershed of the San Antonio River suffers from systematic effects of the maximum critical hydrological events (floods) that often cause damage to various aspects of this region, motivated primarily by three factors: i. high rainfall in the rainy season, ii. morphology of the region that promotes the appearance stains flooding and iii. disordered occupation of the population in the range of floods. Thus a study of flooding in this basin is a very relevant topic, to obtain answers necessary to allow for integrated action in order to minimize impacts to society from these events. In this article the issues addressed in the search for answers includes hydrological studies, surveys in the sections of the river and hydraulic simulation to know the behavior of the river in a flood wave for different recurrence times, allowing the zoning of critical areas.

Palavras-chave: rio Santo Antônio; enchentes; estudos hidrológicos e simulação hidráulica.

1) Consultores da área de recursos hídricos. E-mail: thiago_alb@hotmail.com; luís.gustavo@gamaengenharia.com.br

2) Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal de Alagoas. E-mail: denis.duda@hotmail.com

3) Professor do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. E-mail: crubertofj@hotmail.com

1 - INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Santo Antônio sofre de forma sistemática efeitos de eventos hidrológicos críticos de máximos (enchentes) que por muitas vezes provocam prejuízos de vários aspectos para esta região, motivados, basicamente por três fatores: i. altos índices pluviométricos no período chuvoso, ii. morfologia da região que favorece ao aparecimento de manchas de inundação e iii. ocupação desordenada da população nas faixas de inundações.

Mediante tal cenário, se julga necessário o estudo hidrológico de eventos de máximos no intuito de uma compreensão mais apurada de como se dá o processo de enchentes na área de estudo, podendo idealizar ações preventivas às cidades ribeirinhas.

2 – OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo conhecer a magnitude máxima de cheia na bacia do rio Santo Antônio, associado a estudos que caracterizem a capacidade de condução desta vazão por parte das seções transversais do rio, conhecendo também os riscos de inundações nas cidades ribeirinhas e riscos a danos à infra-estrutura viária e equipamentos urbanos.

3 – ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Santo Antônio está localizada na parte litorânea norte do Estado de Alagoas e possui uma área de aproximadamente 930 Km². Esta bacia tem como seus principais corpos d'água o rio Santo Antônio e o rio Jitituba. O rio Santo Antônio banha a cidade de São Luiz do Quitunde e deságua, após receber o rio Jitituba, no oceano, formando um estuário na cidade de Barra de Santo Antônio. A Figura 1 traz a localização da bacia.

Em relação a precipitação, a região apresenta valores médios anuais na ordem de 2.200 mm na parte litorânea, na região central da bacia têm-se índices pluviométricos entre 1.500 a 1.700 mm, já na parte alta da bacia têm-se valores de 2.000 mm anuais. Em relação à temporalidade das chuvas, verificou-se que o regime pluviométrico da bacia é caracterizado por um período úmido, entre os meses de maio a julho, onde se concentra cerca de 60% do valor da precipitação média anual. Pode-se encontrar neste período chuvoso, eventos com alta intensidade pluviométrica, como o ocorrido no dia 4 de Junho de 2010, que apresentou um total acumulado de 180 mm/dia.

Outro ponto crítico no rio Jitituba é nas proximidades de sua confluência com o rio Santo Antônio, neste local pode-se encontrar uma extensa área de extravasamento da calha do rio (Ver Figura 3), uma aspecto importante neste local é o fato de o rio Jitituba (assim como o Santo Antônio) sofrer influência dos níveis de maré (comprovado em estudos realizados pela Usina Santo Antônio) que pode maximizar o efeito das enchentes dificultando o escoamento das cheias durante algumas horas.



Figura 3 - Rio Jitituba na ponte da AL - 105

Por sua vez, o rio Santo Antônio, que margeia apenas a cidade de São Luiz do Quitunde e a jusante desemboca no oceano, na cidade de Barra de Santo Antônio, formando um estuário, é caracterizado por apresentar em sua parte baixa da bacia largas e extensas áreas inundáveis, que estando sob o efeito de maré, aliado aos altos índices pluviométricos e ocupação desordenada, provoca alagamentos na cidade de São Luiz do Quitunde como pode ser visto na Figura 4.



Figura 4 - Exemplo de construção desordenada na cidade de São Luiz do Quitunde

4 – PROPOSTA METODOLÓGICA

A metodologia é composta de três etapas, que contemplam os estudos hidrológicos, levantamentos topográficos e estudos hidráulicos.

4.1 - Estudos Hidrológicos

Os estudos hidrológicos objetiva primordialmente o cálculo de hidrogramas de projeto, onde para se determinar as vazões máximas de projeto é necessário a área da bacia hidrográfica de estudo e disponibilidade de registros de estações fluviométricas.

Segundo Tucci (1993), as metodologias para cálculo da vazão máxima podem ser classificadas em:

- Ajuste de uma distribuição estatística aos registros de vazão máxima;
- Regionalização de vazões máximas;
- Modelos precipitação-vazão.

Sabe-se que a região de estudo não possui um período representativo de observações de vazões máximas, portanto serão utilizados os modelos de transformação chuva-vazão, pois estes não exigem registros de históricos de cheias na bacia.

4.1.1 - Precipitação Máxima

Apenas um posto pluviométrico para a bacia do rio Santo Antônio possui disponibilidade de dados adequados, sendo o posto São Luiz (935025) do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) - Hidroweb (www.hidroweb.ana.gov.br). Selecionado este posto, fez-se uso de ajustes estatísticos no intuito de obter os valores máximos anuais de vazões para 1 dia, para os tempos de recorrência de 2, 10, 50 e 100 anos. Assim foram ajustados distribuições de valores extremos de probabilidade (Gumbel, Log-Normal e GAMA), para os valores máximos diários do posto observado (Ver Figura 5).

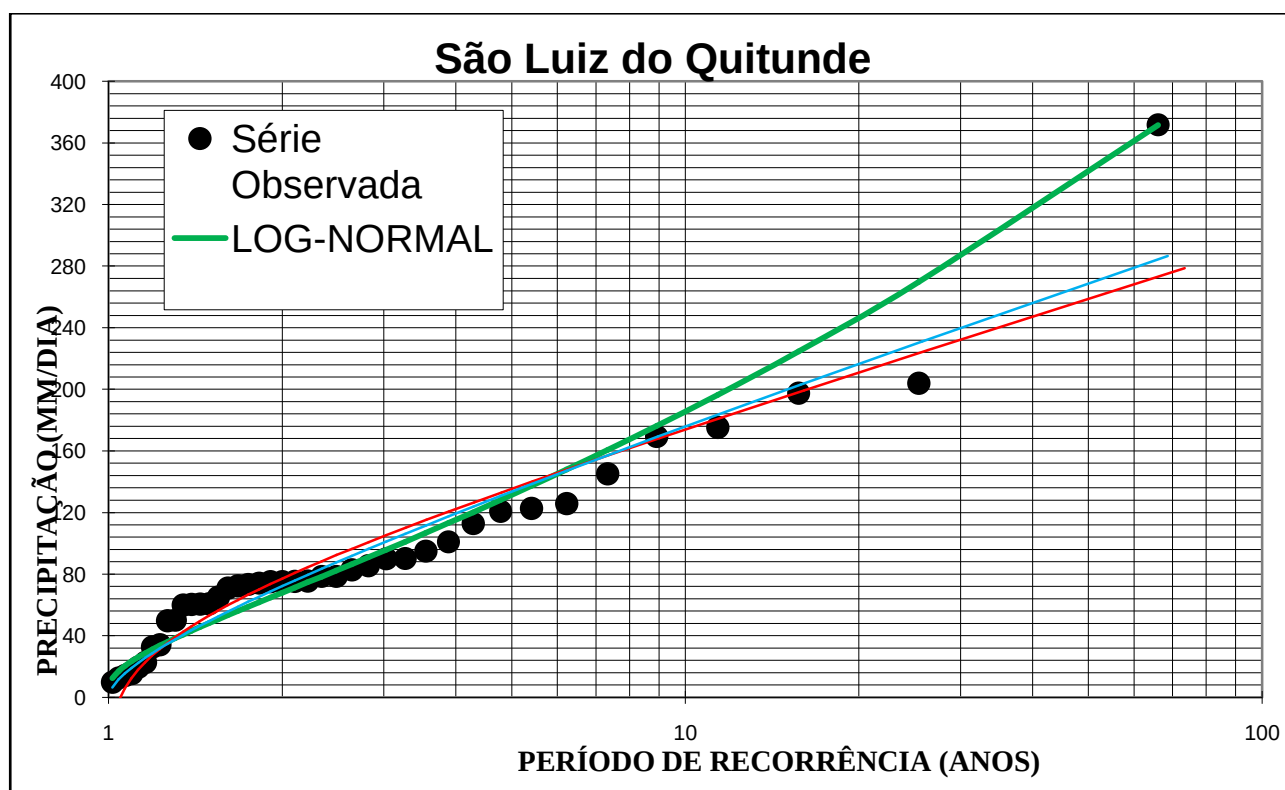


Figura 5 - Ajuste Estatístico de Máximos para o posto São Luiz do Quitunde

Em seguida realizou-se a distribuição temporal dos eventos de precipitação máxima para durações menores. As alturas pluviométricas para as correspondentes durações e frequências foram obtidas da curva p-d-f para a cidade de Maceió (CETESB, 1986).

Assim, a Tabela 1 traz as chuvas para as diferentes durações nos diferentes tempos de recorrência, com base no ajuste para as precipitações máximas de um dia para o posto de São Luiz.

Tabela 1 - Curva Precipitação - Duração - Frequência para o posto São Luiz do Quitunde (em mm).

Duração	Tempo de Recorrência (anos)				
	2	10	50	100	1000
30min	22.11	43.97	60.83	67.84	103.80
1h	32.33	72.02	104.84	118.12	169.33
2h	41.76	94.46	139.72	158.55	223.39
4h	52.04	119.48	178.68	203.78	283.43
6h	58.70	134.19	201.38	230.01	319.34
8h	63.34	146.16	219.45	250.86	347.19
10h	67.58	155.41	232.87	265.66	368.90
12h	70.80	162.84	244.64	278.43	386.81

24h	87.14	196.50	292.38	332.91	466.84
1dia	77.12	173.90	258.74	294.61	413.13

4.1.2 - Transformação Chuva Vazão

Para a transformação chuva vazão, foi utilizado o método CN (curva número) desenvolvido pela Soil Conservation Service (SCS), que permite determinar a capacidade de armazenamento do solo (S) em função do tipo do solo, da umidade antecedente e do uso do solo.

Utilizando um mapa da uso de solos foi possível caracterizar os valores de CN para a bacia do rio Santo Antônio, tomando as condições de umidade antecedente tipo II, e considerando o solo pertencente ao grupo hidrológico tipo B. Assim, os valores para tipo de uso do solo podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de CN Utilizados.

Tipo de Uso	CN
Área Urbanizada	75
Mata	55
Assentamento	75
Agricultura	62
Pastagem	61
Coqueiral	36
Solo exposto	80

Fonte: Tucci (1993).

Então, de posse do hidrograma, dos valores de discretização do tempo, as curvas p-d-f, é possível encontrar os hietogramas das precipitações totais para os diferentes tempos de recorrência (2, 10, 50 e 100 anos).

4.1.3 - Propagação de cheias em canais

A propagação das ondas de cheias foi realizada pelo método de Muskingun-Cunge, através do modelo IPHS1, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e com o auxílio da Tabela 3 que traz as informações de cada trecho a ser propagado o hidrograma. Foram realizados também, levantamentos e reconhecimentos de campo para fins de aplicação do modelo. A Figura 6 ilustra a utilização do modelo IPHS1 para a área de estudo.

Tabela 3 - Dados dos trechos utilizados no IPHS1.

Bacia	Trecho	Comprimento do Trecho (m)	Cotas (m)		Dados do Canal (m)		Manning - n
			Montante	Jusante	Altura - h	Largura - B	
Santo Antônio	2	7000	140	100	1.5	11	0.08
	4	6400	100	33	1.9	25	0.13

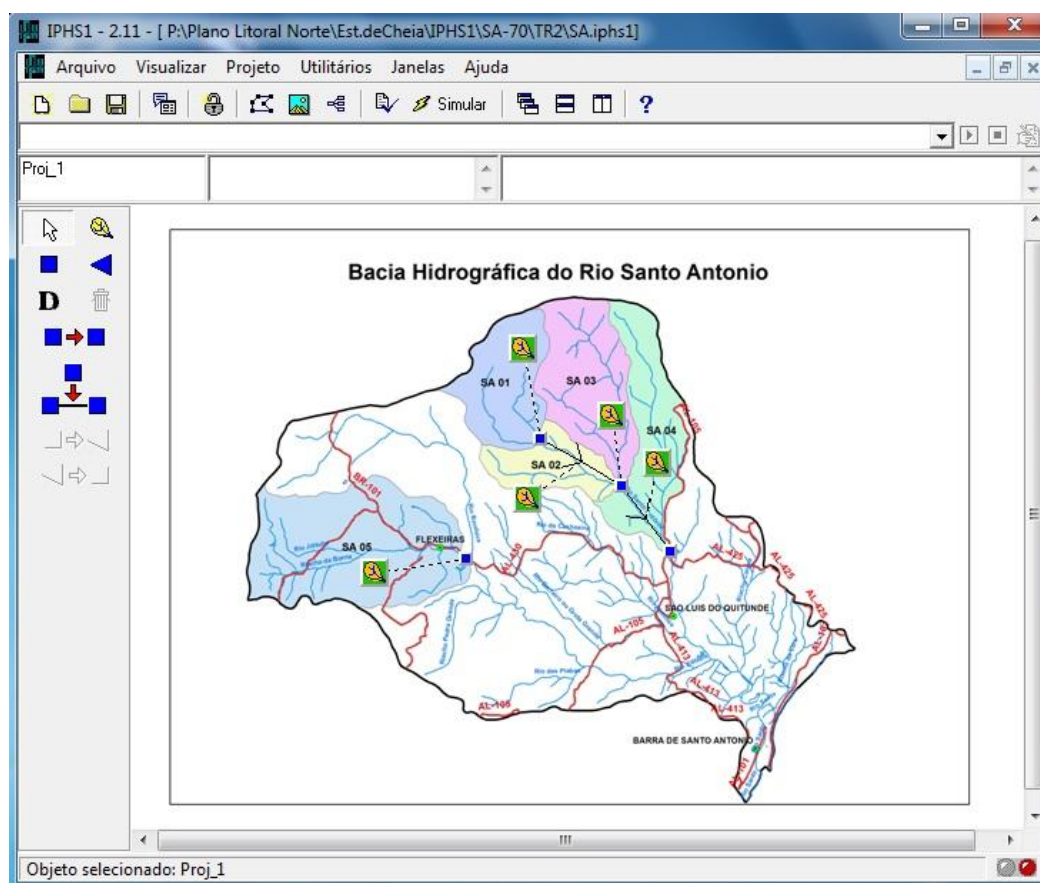


Figura 6 - Discretização da bacia do rio Santo Antônio no IPHS1.

Os hidrogramas propagados não serão apresentados aqui neste artigo, sendo demonstrado apenas as vazões máximas encontradas nos pontos de controle (PC) na Tabela 4.

Tabela 4 - Vazões Máximas dos Hidrogramas Propagados (m³/s).

Bacia	PC	Tr (anos)			
		2	10	50	100
Santo Antônio	1	62.60	150.51	225.19	255.38
	2	76.04	193.57	293.87	335.67
	3	75.55	201.36	363.44	459.24
	4	57.19	145.02	224.20	256.28

4.2 - Levantamentos Topográficos

Como apresentado anteriormente, o trabalho consta de um estudo hidrológico com a geração de hidrogramas e propagação dos mesmos através do uso de um modelo hidrológico, e também a aplicação de um modelo hidráulico para se conhecer os níveis d'água provocados por enchentes nas seções do rio. Assim, para a aplicação do modelo hidráulica, antes é necessário a realização de levantamentos topográficos para conhecimento das seções transversais e cotas das obras - de - arte especiais (pontes rodoviárias) no rio estudado.

Vale destacar que todos os levantamentos topográficos foram nivelados em relação aos RN's do IBGE no intuito de comparações entre as cotas de cheias e as cotas das edificações e equipamentos.

Este levantamento também serviu para a estimativa da declividade média no trecho, que é o gradiente de escoamento na entrada do modelo hidráulico.

As seções topográficas levantadas para o rio Santo Antônio foram três, além de um monitoramento dos níveis (cota) de maré. A localização das seções foram:

- Rio Santo Antônio - imediatamente a montante da ponte da AL-105;
- Rio Santo Antônio - imediatamente a jusante da ponte da AL-105 e a montante da cidade de São Luiz do Quitunde;
- Rio Santo Antônio - Na cidade de São Luiz do Quitunde.

Quanto ao estudo da influência de maré, foi realizado uma campanha de monitoramento durante 8 horas no dia 25/09/2010, durante uma maré de Sizígia.

Nesta campanha, foram instaladas e niveladas réguas graduadas em suas seções: uma no rio Santo Antônio em São Luiz do Quitunde na ponte dentro da cidade e uma outra em seu estuário na

cidade de Barra de Santo Antônio abaixo da ponte nova que dá acesso a ilha da Crôa, onde os níveis foram monitorados concomitantemente durante 8 horas consecutivas.

Através dessa campanha foi possível mensurar a influência da maré nos níveis do rio Santo Antônio na cidade de São Luiz do Quitunde, onde nota-se uma variação de 1,40 m na foz e uma variação de 60 cm em São Luiz (Ver Figura 7).

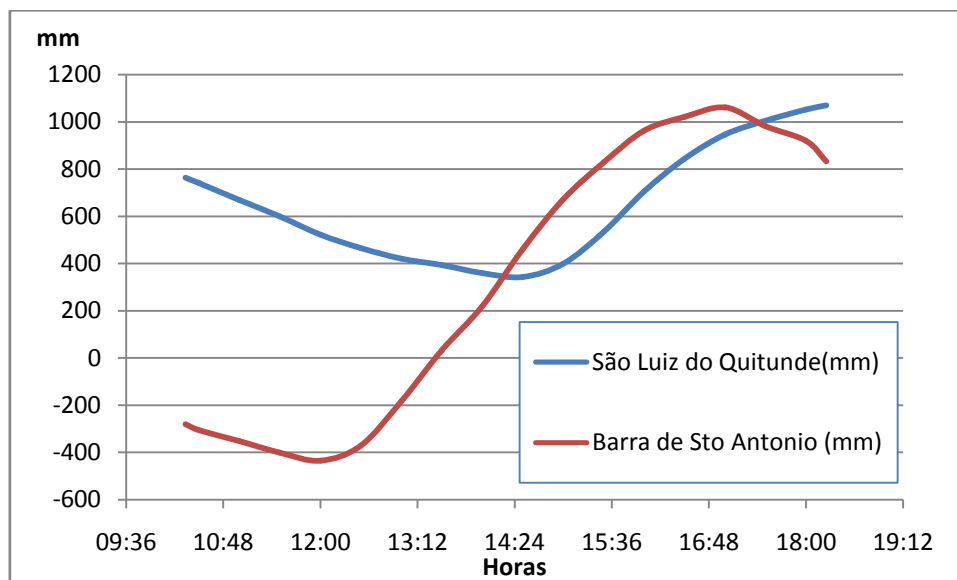


Figura 7 - Monitoramento do nível do rio Santo Antônio e de maré (Barra de Santo Antônio)

Ainda é possível notar que durante um período de 4 horas o gradiente hidráulico do rio em relação ao mar fica invertido, provocando provavelmente entrada de água no canal. Esta informação para um estudo de cheia é bastante significativa, pois o nível do mar entra como uma condição de contorno durante a simulação hidráulica, reduzindo a capacidade de escoamento do canal.

4.3 - Estudos Hidráulicos

Com os dados de entrada gerados nas etapas anteriores, tais como estudos hidrológicos para geração de hidrogramas de cheias propagados até as seções de interesse e levantamento topográfico das seções, além do monitoramento de maré, foi possível a realização da modelagem hidráulica para o conhecimento das cotas máximas atingidas durante a passagem das cheias. Para isso fez-se necessário o uso de um modelo hidráulico que permite simular características do escoamento como efeito de armazenamento, pressão e atrito que são fundamentais quando o rio se encontra sob efeito de maré.

Assim o modelo utilizado foi o HEC - RAS, aplicado em regime permanente em todos os trechos do canal (rio) onde foram realizados os levantamentos topográficos.

Em cada trecho simulado, foram levantados pelo menos três (3) seções transversais para estimar a declividade média no trecho. A rugosidade adotada no canal principal foi $n = 0,045$.

Foram simulados as vazões máximas dos hidrogramas de recorrência de 2, 10, 50 e 100 anos, para as seções topográficas.

4.3.1 Resultados Obtidos

Estabelecido os dados de entrada necessários para a simulação hidráulica através do HEC-RAS, optamos em analisar a passagem da onda de cheia de dois modos: a primeira considerando apenas a declividade natural do trecho de rio estudado e a segunda incrementando o efeito de maré para avaliar o quão é significativo sua ação na variação do nível do rio em um evento de enchente.

Para a análise da cheia retirando o efeito de maré, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5, aqui foi considerado apenas a declividade do trecho do rio, que é de aproximadamente 0,001354 m/m.

Tabela 5 - Dados da simulação sem o efeito da maré.

Seção	Cenário	Q Total (m ³ /s)	Nível da água (m)	Nível Crítico (m)	Elevação da Energia (m)	Declividade da linha d'água (m/m)	Velocidade (m/s)	Área Molhada (m ²)	Largura de Topo (m)	Froude
3	TR 2 anos	75.55	6.24	4.01	6.3	0.000639	1.07	72.21	53.97	0.2
3	TR 10 anos	201.36	7.41	5.12	7.55	0.001059	1.73	207.02	169.34	0.27
3	TR 50 anos	363.44	8.12	6.53	8.3	0.001388	2.21	391.97	335.8	0.32
3	TR 100 anos	459.24	8.51	7.13	8.68	0.001325	2.27	528.23	364.56	0.32
3	TR 1000 anos	890.44	10.34	8.37	10.41	0.00063	1.92	1349.99	492.51	0.23
2.95	Ponte									
2.9	TR 2 anos	75.55	6.22		6.28	0.000649	1.08	71.52	48.98	0.2
2.9	TR 10 anos	201.36	7.36		7.5	0.001134	1.78	197.84	164.65	0.28
2.9	TR 50 anos	363.44	7.92		8.15	0.001803	2.45	326.4	309.55	0.37
2.9	TR 100 anos	459.24	8.17		8.44	0.00208	2.72	408.36	339.74	0.4
2.9	TR 1000 anos	890.44	9.23		9.48	0.002058	3.09	825.9	454.69	0.41
2	TR 2 anos	75.55	3.8		3.92	0.001793	1.57	72.17	154.51	0.33
2	TR 10 anos	201.36	4.73		4.78	0.001128	1.49	414.43	431.41	0.27
2	TR 50 anos	363.44	5.55		5.58	0.000681	1.35	774.6	442.89	0.22
2	TR 100 anos	459.24	6.01		6.04	0.000555	1.31	985.62	464.51	0.2
2	TR 1000 anos	890.44	7.39		7.42	0.000447	1.41	1669.73	532.79	0.19
1	TR 2 anos	75.55	2.13	1.01	2.19	0.001355	1.06	71.27	48.58	0.28
1	TR 10 anos	201.36	3.29	1.82	3.41	0.001355	1.55	140.91	65.75	0.31
1	TR 50 anos	363.44	4.35	2.46	4.53	0.001355	1.94	214.41	74.06	0.32
1	TR 100 anos	459.24	4.89	2.79	5.1	0.001355	2.13	295.37	192.54	0.33
1	TR 1000 anos	890.44	6.32	3.9	6.59	0.001355	2.58	645.34	296.13	0.35

Para a simulação acrescentado o efeito de maré, os resultados estão apresentados na Tabela 6, para esta etapa o efeito de maré considerado foi de 1,07 m.

Tabela 6 - Dados da simulação acrescento o efeito de maré.

Seção	Cenário	Q Total (m3/s)	Nível da água (m)	Nível Crítico (m)	Elevação da Energia (m)	Declividade da linha d'água (m/m)	Velocidade (m/s)	Área Molhada (m2)	Largura de Topo (m)	Froude
3	TR 2 anos	75.55	6.1	4.01	6.17	0.00074	1.13	67.14	25.09	0.22
3	TR 10 anos	201.36	7.27	5.12	7.42	0.001271	1.85	183.19	156.88	0.3
3	TR 50 anos	363.44	8.13	6.53	8.31	0.001368	2.2	395.74	336.71	0.32
3	TR 100 anos	459.24	8.57	7.13	8.73	0.001238	2.22	549.59	375.07	0.31
3	TR 1000 anos	890.44	10.34	8.37	10.41	0.00063	1.92	1349.99	492.51	0.23
2.95		Ponte								
2.9	TR 2 anos	75.55	6.09		6.15	0.000752	1.13	66.76	24.21	0.22
2.9	TR 10 anos	201.36	7.21		7.37	0.001369	1.9	173.96	151.78	0.31
2.9	TR 50 anos	363.44	7.93		8.16	0.001775	2.43	330.45	313.38	0.36
2.9	TR 100 anos	459.24	8.26		8.49	0.001849	2.6	438.47	345.84	0.37
2.9	TR 1000 anos	890.44	9.27		9.51	0.00194	3.02	848.02	456.1	0.4
2	TR 2 anos	75.55	4.13	2.28	4.19	0.00094	1.19	158.71	415.66	0.24
2	TR 10 anos	201.36	4.88	4.24	4.91	0.000783	1.28	478.98	432.89	0.23
2	TR 50 anos	363.44	5.53	4.52	5.57	0.0007	1.37	767.04	442.43	0.22
2	TR 100 anos	459.24	5.88		5.91	0.000676	1.42	921.98	462.28	0.22
2	TR 1000 anos	890.44	7.17		7.21	0.000551	1.53	1552.67	524.7	0.21
1	TR 2 anos	75.55	1.07	1.01	1.43	0.017513	2.64	28.6	33.4	0.91
1	TR 10 anos	201.36	1.82	1.82	2.46	0.018439	3.56	56.5	43.68	1
1	TR 50 anos	363.44	2.46	2.46	3.34	0.016343	4.18	88.31	57.43	0.99
1	TR 100 anos	459.24	2.79	2.79	3.78	0.014566	4.42	108.85	63.07	0.97
1	TR 1000 anos	890.44	3.9	3.9	5.38	0.012765	5.47	182.31	69.5	0.97

Para um melhor entendimento da mudança provocada na passagem de cheia considerando e sem considerar o efeito de maré, o gráfico da Figura 8 retrata o que está expresso nas Tabelas 5 e 6.

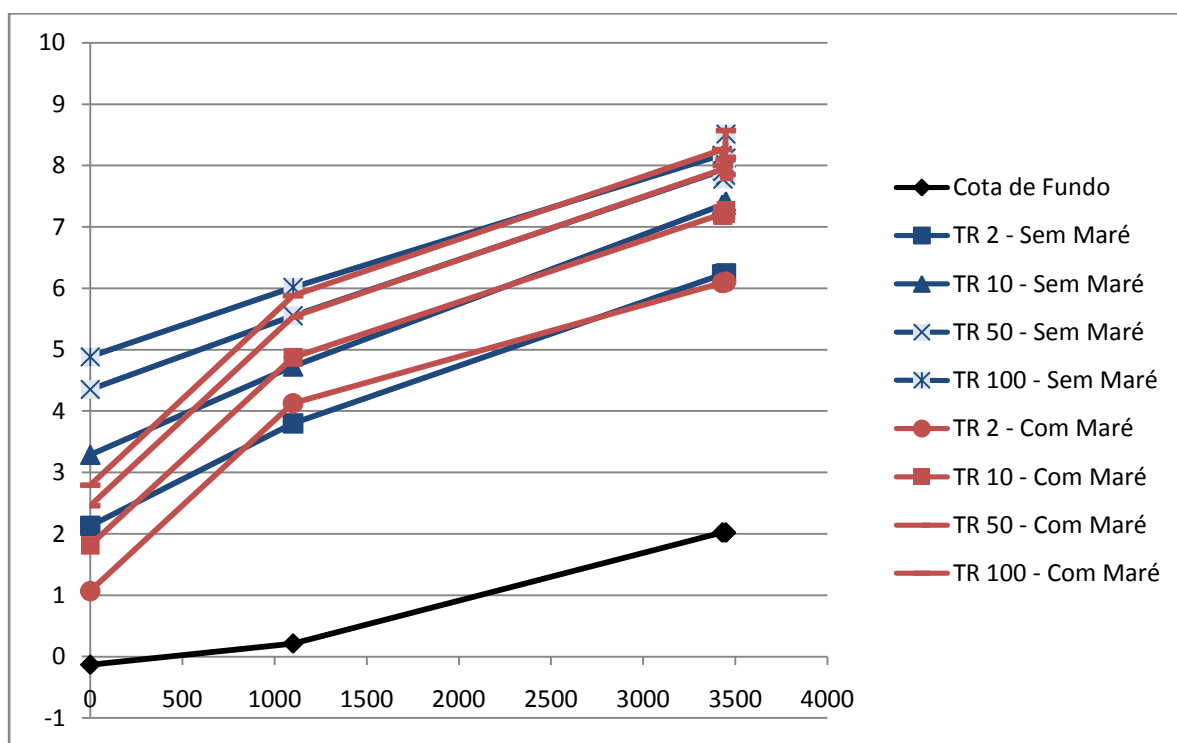


Figura 8 - Perfil Longitudinal do rio Santo Antônio, para as diferentes vazões máximas simuladas.

As seções 3 e 2,9 são as mais distantes da foz do rio Santo Antônio e estão localizadas imediatamente a montante e a jusante da ponte da AL-105, a jusante da cidade de São Luiz do Quitunde, a seção 2 está localizada nas proximidades da ponte dentro da cidade de São Luiz do Quitunde e a seção 1 a montante da cidade, em direção a foz do rio.

A simulação comprova que realmente a maré influencia no rio Santo Antônio até as proximidades da cidade de São Luiz, distante 20 km de sua foz.

Retirando o efeito da maré, o nível do rio acresce em aproximadamente 15 cm para vazões máximas de menor tempo de retorno, na seção de montante. Quando aumenta o tempo de retorno a influência de maré praticamente não interfere no nível, pois provavelmente a onda de cheia supera seu efeito nesta seção transversal.

A medida que a seção é mais próxima da foz, a variação do nível é mais acentuado chegando a ser de 1 m. Nesta localidade é provável que em uma onda de cheia a maré retarde o escoamento acentuando um evento de enchente, no entanto esta localidade também possui uma planície de inundações que provavelmente minimiza este evento e devido a este fator os níveis críticos não são superados.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos de cheia desenvolvidos no âmbito deste projeto atingiram seus objetivos gerais no sentido de:

- Permitir o reconhecimento das obras-de-arte especiais (pontes) que se encontram sob risco de cheias mais freqüentes;
- Permitir o conhecimento da influência da maré na capacidade de escoamento do trecho mais baixo do rio Santo Antonio;
- Conhecimento das cotas de inundação para permitir o zoneamento de áreas de riscos nas cidades ribeirinhas.

As simulações mostraram que as pontes da AL 105 N, de São Luiz do Quitunde, não se encontra sob risco de inundação. Isto pode ser explicado em parte pelo controle hidráulico da maré juntamente com o funcionamento das planícies de inundação.

Ao contrário do que se poderia supor comumente, nas regiões de cabeceira onde o relevo é mais elevado, estão mais sujeitas à ação dos eventos hidrológicos extremos, por alguns motivos: (1) respostas hidrológicas mais rápidas das bacias de drenagem em função do relevo acidentado e do tipo de solo da região; (2) pela existência de seções encaixadas que não possuem áreas de extravasamento lateral e provocam aumento do níveis de inundação nos trechos de cabeceira.

A simulação hidráulica realizada na seção da ponte da AL-101 Norte em São Luiz do Quitunde, mostrou que os níveis máximos de cheia não atingem as referidas estruturas.

Entretanto a falta de um cadastro planialtimétrico nas cidades lindeiras, não permite realizar um zoneamento de risco nem tampouco estimar os custos de remanejamento e realocação de pessoal. Essas atividades devem ser realizadas em trabalhos futuros fazendo-se uso destes estudos.

Havendo futuros danos em decorrência de cheias nas pontes rodoviárias do DER e DNIT, a secretaria de recursos hídricos do Estado de Alagoas juntamente através de seu departamento de outorga, deverá observar estas cotas quando da emissão da outorga de obra hídrica.

A mesma observação válida para outras obras de travessia, tais como: gasodutos, pontilhões e edificações lindeiras.

6 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem todos os colaboradores da Gama Engenharia de Recursos Hídricos que contribuiu para concretização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ANA, 2011. Agência Nacional de Água. Disponível em < <http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em 2 de maio de 2011.

CETESB (1986); Drenagem Urbana, Manual de Projeto. 3ª. Edição/ ACETESB, 1986.

TUCCI, C.E.M (1993); Vazões Máximas e Hidrograma de Projeto. In: Hidrologia Ciência e Aplicação, organizado por Carlos E.M. Tucci.. Porto Alegre. Editora da Universidade. ABRH-EDUSP.