

 CPRM
Serviço Geológico do Brasil
Ministério de Minas e Energia
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
Rua Goiás, nº.312 – Ilhotas
Tel.:(86) 3222-4153 – Fax.:(86) 3222-6651

Ofício nº 45 /2015 – CPRM/Unidade Regional de Teresina

Teresina, 17 de agosto de 2015

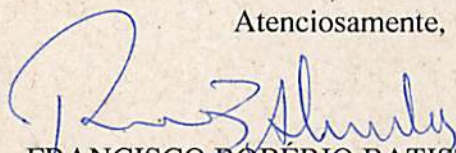
Ao Senhor
Erick Elysio Reis Amorim
Coordenador do programa Lagoas do Norte
Secretaria Municipal de Planejamento - SEMPLAN
Praça Marechal Deodoro da Fonseca, 860 – Palácio da Cidade, 4º Pav. - Centro

Assunto: Detalhamento de poligonal de área de risco.

Senhor Coordenador

Em atendimento ao Expediente UGP Nº106/15, de 28/04/2015, estamos encaminhando a V.S^a., em anexo, Detalhamento da Poligonal PI_TE_SR_08 do Relatório de Mapeamento de Risco e Desastres Naturais, trecho da Avenida Boa Esperança, entre a rua Minas Gerais e o restaurante “Pesqueirinho”.

Atenciosamente,



FRANCISCO-ROBÉRIO BATISTA ALMEIDA
Chefe da Unidade Regional da CPRM em Teresina

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Departamento de Gestão Territorial – DEGET

Detalhamento da Poligonal PI_TE_SR_08 do Relatório de Mapeamento de Risco e Desastres Naturais

Trecho: Avenida Boa Esperança, entre a Rua Minas Gerais e o Restaurante Pesqueirinho

Teresina - Piauí



Introdução e Objetivos

Após mais um ano de grandes desastres naturais, sem precedentes na história recente do nosso país, como as inundações de Alagoas e Pernambuco em 2010, Santa Catarina em 2011 e das chuvas catastróficas ocorridas na região serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011, que acarretaram a perda de milhares de vidas humanas e ultrapassaram todas as expectativas e previsões dos sistemas de alerta existentes, o Governo Federal sentiu a necessidade da criação de um programa de prevenção de desastres naturais, visando minimizar os efeitos desses eventos sobre toda a população.

O crescimento acelerado das cidades, aliado à ocupação desordenada têm sido os principais responsáveis pelos eventos naturais com consequências catastróficas, que se sucedem tanto nos grandes como nos pequenos núcleos urbanos. Ocupação de terrenos de alta fragilidade ambiental, sem nenhum critério técnico ou planejamento, bem como a ocupação de áreas de domínio dos rios, são os principais causadores de mortes e de grandes perdas materiais.

Visando minimizar ao máximo tais problemas o Governo Federal, em ação coordenada pela Casa Civil da Presidência da República, convocou os Ministérios da Integração Nacional, das Cidades, de Ciência e Tecnologia, da Defesa e de Minas e Energia para firmarem um convênio de colaboração mútua, com a finalidade de executar em todo o país um mapeamento/diagnóstico das áreas com potencial de risco alto e muito alto de deslizamentos e enchentes, mapeamento esse cujo principal objetivo, num primeiro momento, é o de subsidiar sistemas de alertas visando evitar perdas de vida e de bens materiais.

A atividade de mapeamento está sendo executada pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, empresa do Governo Federal, ligada ao Ministério de Minas e Energia. Em trabalho prévio, o SGB/CPRM selecionou centenas de municípios com histórico de alto e muito alto risco de deslizamento e enchentes para serem mapeados sistematicamente, com

cronograma de execução iniciado em 2011 e duração prevista para os próximos três anos.

Salienta-se que as informações geradas, além de serem disponibilizadas em caráter preliminar às defesas civis de cada município, objetivam alimentar o banco nacional de dados do **CEMADEN** (Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais), localizado em Cachoeira Paulista – SP, ligado ao Ministério de Ciência e Tecnologia, órgão responsável pelos alertas de ocorrência de eventos climáticos de maior magnitude, que possam colocar em risco vidas humanas.

O levantamento de campo é sempre acompanhado por pessoas ligadas às defesas civis municipais ou na ausência formal desta de pessoas ligadas à administração municipal. No caso das atividades no Município de Teresina, foram realizadas em 2012 e detalhadas em 2015, neste último caso a pedido da Prefeitura Municipal através do Coordenador do Programa Lagoas do Norte e segundo OFICIO nº 106/2015.

Como resultado do levantamento em campo, foram delimitados 38 setores de risco muito alto no município, riscos de enchentes e enxurradas, em 2012. As Informações de cada um dos setores encontram-se registradas e apresentadas em “pranchas” individuais, anexas a este relatório, o qual tem por finalidade destacar algumas conclusões tiradas com a execução da atividade e, a partir da análise dos problemas constatados e das características da geologia, relevo e solos da região, fazer recomendações no sentido de minimizar impactos atuais e futuros.

O pedido de detalhamento refere-se à Poligonal PI-TE-SR-08, listada no Mapeamento de Risco e Desastres Naturais de Teresina-PI, trecho da Avenida Boa Esperança, compreendido entre a Rua Minas Gerais e Alameda Domingos Jorge Velho, elaborado em 2012 pela equipe do Serviço Geológico do Brasil/CPRM.

Contexto Geológico-Geomorfológico Local

A cidade está localizada na coordenada 5°05'12" L.S. e 42°48'42" W.Gr., ocupando atualmente uma área de 228,31 Km² da margem direita do rio Parnaíba, na porção do médio curso dessa bacia hidrográfica, onde recebe um de seus grandes afluentes: o rio Poti.

A base geológica do município de Teresina corresponde às Formações Piauí (datada do Período Carbonífero Superior) e Pedra de Fogo (datada do Período Permiano), apresentando rochas ígneas básicas (diabásio) datados dos Períodos Cretáceo, que afloram sob formas de soleiras e diques, na área Sul desse município, de onde são retiradas e produzidas pedras para ornamentação e para a construção civil. A Formação Piauí é constituída por arenitos calcíferos, siltitos e folhelhos, aflorando ao Sul e ao Norte da cidade próximo ao rio Parnaíba. A Formação Pedra de Fogo é tipicamente constituída por uma alternância de silexitos, arenitos e siltitos, que afloram com frequência nos topos dos baixos planaltos e nas encostas mais escarpadas do relevo local. Essas Formações podem ser identificadas nas áreas da periferia e nos topos dos platôs do interflúvio Parnaíba/Poti, nas áreas do sítio urbano, onde ainda estão capeadas pelo asfalto ou calçamentos.

As formas de relevo dessa bacia sedimentar apresentam uma topografia de topos tabulares e sub-horizontais, apresentado cerca de 900 m de altitude no limite com o Ceará, e descendo, de forma escalonada, pelo desdobramento da cuesta em planaltos e depressões interplanálticas, para cerca de 200 metros ao chegar no município de Teresina. No entorno da cidade esses baixos planaltos são individualizados pelos grandes rios Poti e Parnaíba e recortados pelos seus afluentes de menores dimensões, formando no Sul deste município as Serras do Longá, Cantinho, Jatobá, Peladinho e Grajaú. Os platôs e colinas mais baixos desse interflúvio Poti/ Parnaíba, ocupados pela urbanização inicial da cidade, eram chamados de Chapada do Corisco, chegando até próximo da foz do Poti no Parnaíba, onde seu topo apresenta -se com apenas 90 metros de

altitude, na área do Parque da Cidade e arredores, tendo um nível de base local de cerca de 55 m, na barra do Poti.

DETALHAMENTO DA POLIGONAL PI-TE-SR-08 – PROGRAMA DE RISCO E RESPOSTA A DESASTRES NATURAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL/CPRM

Com objetivo de evitar danos à propriedade e à vida dos moradores das áreas localizadas na confluência dos rios Parnaíba e Poti, foram construídos dois diques de proteção: o primeiro na margem direita do rio Parnaíba, obra executada pelo DNOS nos anos 70 e, o segundo, na margem esquerda do Poti e execução a cargo da prefeitura municipal de Teresina em 1985. Os diques são de solos sobre aluviões silto-arenosos e silto-argilosos, depositados nas planícies dos respectivos rios.

O dique do rio Parnaíba, denominado de dique Boa Esperança, é um aterro hidráulico com cota de coroamento máxima na E1. 59,90m. O dique Mocambinho, no rio Poti, é um dique do tipo aterro compactado e com taludes mais íngremes e cota de coroamento na E1. 60,00m mas que apresenta, em alguns trechos, cotas de 1,50m a 3,00m abaixo da cota do projeto inicial.

Na visita técnica foi observado que esses diques apresentam alguns problemas técnicos, relacionados à própria construção ou quebras e rupturas da estrutura. Observa-se uma nítida variação da cota de crista ao longo de todo o dique, bem como rupturas no corpo principal e utilização do mesmo como base para suporte de estruturas de construções de habitações. Em alguns trechos é visível a ação erosiva, na forma de solapamento da base por ação das águas dos rios, neste caso mais especificamente do rio Poti.

Na área compreendida entre o dique e o rio Parnaíba, Área de Proteção Permanente, é nítida a ocupação e continuado aumento das edificações, com execução de aterros irregulares, lançamento de águas servi-

das e canalizações de águas pluviais que contribuem para processos ativos de erosão e voçorocamento. De um modo geral, nesses pontos, verdadeiras crateras já se encontram instaladas o que facilita a ação do rio no solapamento das margens e instabilização dos taludes.

Ao longo da visita técnica à área foram observadas intervenções inadequadas como também a ausência das mesmas em áreas com processos de instabilizações instalados com fortes indícios de efeitos danosos e comprometedores, como também sítios onde algumas intervenções necessitam serem feitas de modo imediato.

Na altura da rua Minas Gerais, (P1, de coordenadas 05°04'13,4"S e 42°50'05,7"W), no início da avenida Boa Esperança, margem direita do rio Parnaíba, os bueiros que drenam as águas servidas e pluviais são responsáveis pela instalação de erosão regressiva, desencadeando processos de voçorocamento. Nos mesmos sítios observam-se processos de deslizamento ou movimentação do terreno, representados por sinais de "embarrigamento" dos muros. Os caminhos naturais criados pelas águas pluviais ao atingirem a margem do rio têm seus leitos aprofundados, gerando solapamento das margens.

Ao longo de toda a margem do rio Parnaíba é nítida a ação devastadora e comprometedora das características naturais da mesma como resposta à retirada da mata ciliar, em grande parte substituída por bambuzais (P2, de coordenadas 05°04'11,3"S e 42°50'07,4"W). Muitas construções estão a menos de 10 metros da margem.

No Ponto P3 (05°03'40,5"S e 42°50'19,0"W) foi detectada a presença de processos de instabilização de margem, comprometida por uma voçoroca que recebe águas pluviais e servidas em área que funciona como ponto de avanço das águas do rio Parnaíba que atinge as lagoas e inunda a área, atingindo residências. Nas imediações deste local (P4, de coordenadas 05°03'0,08"S e 42°50'18,6"S) ocorrem processos de aterramento das lagoas em solos moles de área sazonalmente alagada, com presença de fendas de contração e "embarrigamento" das paredes das

residências, como sinais de movimentação do terreno. O rio Parnaíba próximo a este ponto, apresenta uma curva no seu leito com processo de forte solapamento de margem, árvores tortas e movimentação de barrancos que foram lançados no seu leito. Neste ponto, segundo os moradores, o rio invade as casas, com altura acima de 0,50 m. A maioria das residências nestes pontos são construções precárias do tipo taipas.

Nesta mesma área o canal do rio sofre constantemente mudanças no seu leito principal, com períodos onde está localizado mais próximo da margem esquerda ou direita, como agora.

No ponto P5, de coordenadas 05°02'34,3"S e 42°50'25,2"W, a inundaçãõ do rio Parnaíba chega a tingir mais de 1 (um) metro no interior das residências, depois de ultrapassar uma margem de 6m de altura. Presença de movimentação de terreno foi observada através de muros tortos ou embarrigados. Neste ponto as residências localizam-se num nível abaixo do dique da avenida Boa Esperança.

Na altura do ponto P6 (05°02'59,4"S e 42°50'13,2"W), localizado na margem de uma lagoa e porção interna do dique da avenida Boa Esperança, ocorrem construções sobre aterros de restos de construção lançados sobre solos moles, com compactação inadequada. Em épocas de fortes chuvas o nível das águas atinge altura superior a 2 m, inundando e invadindo as residências. O processo de ocupação é desordenado e em franca expansão.

O dique do Mocambinho, nas imediações do restaurante Pesqueirinho (P7, de coordenadas 05°02'07,8"S e 42°49'49,5"W), separa construções precárias localizadas a menos de 15 m do rio Poti. Localmente o dique apresenta sinais de degradação, na forma de desgaste nas zonas de contato entre os diferentes vãos ou blocos onde se observa processos de desprendimento de material rochoso do corpo do dique. Este dique ao longo de toda a sua extensão é utilizado como base de sustentação de paredes ou muros das residências construídas no seu entorno. Nestes pontos estas intervenções contribuem para o comprometimento da es-

tabilidade do mesmo, como no ponto P8 (coordenadas 05°02'11,7"S e 42°49'53,4"W).

SETORIZAÇÃO DE RISCO

Durante os trabalhos de campo, foram alvos de detalhamento os seguintes setores, como distribuído na figura seguinte:



Setor 01 (SR 01 – LONG 740073 E e LAT 9439157 S)

O ponto corresponde ao início da Rua Minas Gerais, com edificações localizadas a uma distância mínima da margem do Rio Parnaíba (menos de 20 m), ocupando área de APP, com presença de processos erosivos e voçorocamento instalados como consequência da ausência de drenagem de águas pluviais e servidas, lançadas diretamente sobre o solo. Há um forte processo de erosão regressiva, que compromete a estabilidade da margem. Os muros das construções apresentam o processo de “embarrigamento”, típico e denunciante de eventos de movimentação de terreno. Árvores tortas ou inclinadas estão presentes na área, caracterizando este mesmo evento.



Setor 02 (SR 02 – LONG 739934 E e LAT 9439464 S)

Margem com retirada acentuada da mata ciliar, com construções ocupando áreas marginais da encosta, distando menos de 20 da margem do rio. As edificações antigas estão sendo ampliadas sob a forma de aterros inadequados constituídos de restos de materiais de construção, que avançam em direção à margem do rio. Muito entulho e intervenções desordenadas em área de APP.



SETOR 03 (SR 03 – LONG 739914 E e LAT 9439494 S)

Nesta área, o leito do rio está sob forte processo de dragagem, com armazenamento da areia na sua margem. Predominam construções precárias, do tipo taipa. A não canalização das águas pluviais e servidas causa um forte processo de voçorocamento em área rebaixada que sofre, em épocas de cheias, inundações. As águas do rio Parnaíba invadem a área através de uma lagoa e atinge a área posterior das edificações. Na área há, no momento, aberturas de tanques para armazenamento de água e que serão utilizados, segundo informações locais, para um empreendimento tipo "Pesque-Pague", o que tem deixado os moradores preocupados pela presença constante de alagamento nas vias de acesso à margem do rio cuja causa é o escape de água do referido empreendimento. Construções a menos de 30 metros da margem do rio e em área de APP.



SETOR 04 (SR 04 – LONG 739889 E e LAT 9439551 S)

Área rebaixada, com desnível na forma de baixão entre a margem do rio e o dique da avenida Boa esperança, o que ocasiona em período chuvoso constantes alagamentos e inundações. Neste caso, como consequência do lago formado pela invasão das águas do rio Parnaíba.

Em 2009 o nível da água atingiu cerca de 0,50 m no interior das residências, estas na sua maioria como construções precárias (taipa). Na área observam-se, por toda a margem do rio, processos de solapamento dos terrenos. Este setor localiza-se numa zona onde o leito do rio apresenta uma curvatura e que, além do solapamento das margens, pode ser observado árvores tortas e parte do barranco que solapou e foi lançado no leito do rio com árvores tortas demonstrado a ação dos eventos anteriormente referidos. A margem do rio tem uma altura de cerca de seis a

sete metros. Processos de voçorocamento em estágio avançado são caracteristicamente observados na região comprometendo, de modo localizado, o livre trânsito de pessoas e veículos.

O desmatamento das margens e substituição de espécies nativas é uma prática fortemente observada por toda a área.

Há uma prática constante de aterramento das lagoas para suportar novas construções. Presença de fendas no solo e nas paredes das residências além de "embarrigamento" dos muros como consequência de técnicas de compactação inadequadas e indícios de movimentação do terreno que neste ponto é bastante argiloso. Neste ponto, as construções estão a menos de 10 metros da margem do rio.



SETOR 05 (SR 05 – LONG 739880 E e LAT 9439579 S)

Área inundada frequentemente e que, em 2009, o nível da água no interior das residências e acima do barranco atingiu a altura de um (1) metro. A região entre a margem do rio e a Avenida Boa Esperança corresponde a um baixão que fica inundado ao receber as águas da chuva e do rio Parnaíba que chega a este ponto através de um canal localizado na zona do encontro dos rios Poti e Parnaíba. A margem do rio, neste ponto, tem uma altura de cerca de seis metros. Evidências de movimentação do terreno estão refletidas na forma de muros embarrigados e árvores tortas.

Desmatamento das margens e substituição das espécies por outras não nativas fazem-se presente por toda a área.



SETOR 06 (SR 06 – LONG 739869 E e 9439621 S)

Área de aterro das lagoas sobre solos moles situada no lado interno do dique, com casas de alvenaria sobre aterros constituídos de materiais de restos de construções e muito mal compactados. É uma área de ocupação desordenada e com varias construções em andamento. No período chuvoso a água atinge um nível de dois (2) metros acima do terreno.



SETOR 07 (SR 07 – LONG 739840 E e 9440151 S)

Área de ocupação desordenada, muito semelhante ao SR 06. Aterro sobre solos moles e com novas unidades de construções em andamento.



SETOR 08 (SR 08 LONG 739674 E e 9441031 S)

Da área do SR 07 até este setor, as lagoas apresentam uma distância mínima em torno de 30 m do dique, com casas localizadas e em fase de construção ocupando toda a margem das lagoas, que passam por um processo de avanço de novas áreas aterradas. Ao longo do trecho entre o SR 07 e SR 08, as casas instaladas na área entre o rio Parnaíba e o dique da Avenida Boa Esperança encontram-se todas em risco direto de inundação.



SETOR 09 (SR 09 – LONG 739662 E e LAT 9441420 S)

Neste ponto o dique foi construído na forma de um muro. Presença de construções precárias, localizadas entre o dique e o rio distando estas cerca de 15 m do mesmo. Localmente o dique apresenta aberturas nas zonas de contato dos blocos, já bastante danificados. O dique tem medidas em torno de 70 cm no topo e 1,30 m de altura. Algumas construções utilizam a parede do dique como suporte para o seus respectivos muros ou paredes estruturais. Em alguns pontos, para esta utilização do muro como base das suas fundações, ocorrem modificações e intervenções na própria estrutura do dique para adequá-lo à nova função de suporte.

Em 2009 a água atingiu o muro e as casas, sendo esta uma zona de risco alto a inundações.



SETOR 10 (SR 10 LONG 739601 E e LAT 9442844 S)

Deste ponto até o final do dique, na região do Restaurante Pesqueirinho na Avenida Domingos Jorge Velho, a situação que se apresenta é semelhante ao setor anterior. Neste trecho o dique, na forma de muro, apresenta comprometimento da sua estrutura original com soltura de material de preenchimento e ainda sendo utilizado como base para outras construções do tipo muros residenciais ou paredes de casas.



Considerações sobre as Áreas Alagáveis por Cheias do rio Parnaíba

A CPRM vem desenvolvendo uma série de atividades visando a implantação de um Sistema de Alerta para a bacia do rio Parnaíba quanto aos eventos hidrológicos críticos, sejam eles de cheias, sejam de estiagem.

Em um primeiro momento, busca-se dotar a cidade de Teresina/PI e a vizinha Timon/MA de meios para a minimização dos prejuízos decorrentes da ocorrência de grandes vazões no rio Parnaíba com base na previsão e divulgação da ocorrência de tais eventos críticos com tempo de antecedência mínima que permita aos gestores tomarem as medidas preventivas necessárias.

Com tal intuito foi montada, a partir de março de 2011, uma rede complementar de monitoramento fluviométrico dos rios Parnaíba e Poti na área de abrangência dos dois municípios, tendo em vista que a confluência dos rios Poti e Parnaíba dentro do perímetro urbano da capital piauiense afeta diretamente o comportamento do rio principal. Ainda dentro de tal perspectiva, o sistema de alerta está sendo desenvolvido de forma a contemplar, também, as cheias do rio Poti em Teresina/PI.

Além da rede de monitoramento complementar do tipo convencional, baseado no monitoramento do nível do rio por meio de réguas limimétricas com a participação de observadores, foi implantada uma série de estações automatizadas, que permitem a avaliação do comportamento dos rios principais da bacia em diversos pontos de interesse praticamente em tempo real, o que garantirá uma maior precisão ao sistema de previsão e, conseqüentemente, uma maior segurança à sociedade.

Serão apresentadas, a seguir, os resultados preliminares da avaliação das áreas marginais ao rio Parnaíba na área de atuação do Programa Lagoas do Norte potencialmente alagáveis, tendo como base os trabalhos já realizados para a implantação do Sistema de Alerta. Ressalta-se que, tendo em vista a ocorrência de vazões muito baixas em ambos os rios no

período de funcionamento das novas redes de monitoramento, os valores apresentados devem ser visto com certa parcimônia, já que a avaliação da qualidade do ajuste dos modelos adotados somente será possível quando da ocorrência de eventos com magnitude mais próxima àqueles que se deseja prever.

i) Avaliação das Cotas de Cheia do Rio Parnaíba em Teresina para Diversas Recorrências

Os postos fluviométricos utilizados para este estudo foram obtidos na estação Teresina Chesf (34690000) e Fazenda Veneza (34660000), componentes da rede nacional de monitoramento hidrológico mantida pela Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pela CPRM.

Inicialmente foi realizada uma análise da consistência dos dados de cota e vazão tendo por base a comparação com estações a montante. Quando não era verificada a continuidade, e este erro era muito grosseiro, o dado era excluído da série e substituído por outro resultante de correlação com a estação imediatamente a montante.

Para utilização do preenchimento das falhas foram verificadas as correlações das cotas e vazões médias diárias das estações do rio Parnaíba nos postos fluviométricos de Fazenda Veneza (34660000) e Teresina Chesf (34690000). A Figura 1 demonstra a correlação dos dados de cotas entre as duas estações, enquanto a Figura 2 apresenta a correlação entre as vazões. Os dados de cota tiveram um coeficiente de determinação 0,93 e o de vazão 0,94. Nas Figuras também podem ser observadas as equações da correlação entre os dados.

Optou-se por fazer a análise de frequência de vazões máximas médias diárias instantâneas, obtendo os valores relacionados a diversos períodos de retorno. Para a determinação das vazões máximas instantâneas foi utilizada a fórmula de Füller, tendo resultado em um coeficiente de majoração de 1,06 para a estação Teresina Chesf.

Após o preenchimento e extensão das séries é que se passou a determinação dos eventos para vários períodos de retorno na estação Teresina Chesf (34690000). Para este estudo foram utilizados 41 anos de dados (1973 a 2013) que estão apresentados na Tabela 1. O ajuste empregado foi a distribuição de Gumbel com média 2.297 m³/s e desvio padrão de 838 m³/s. Afigura 3 demonstra o ajuste adequado entre a distribuição teórica de probabilidades utilizada e os dados observados.

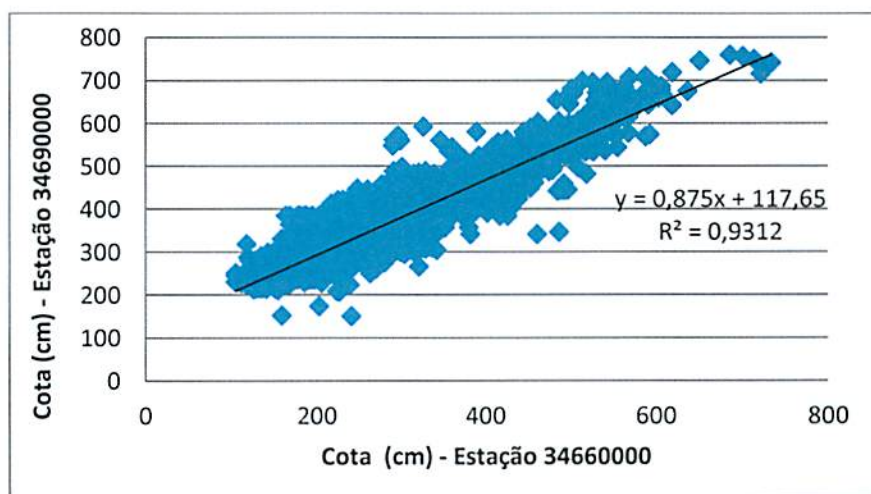


Figura 1. Correlação entre os dados de cotas das estações Teresina Chesf e Fazenda Veneza.

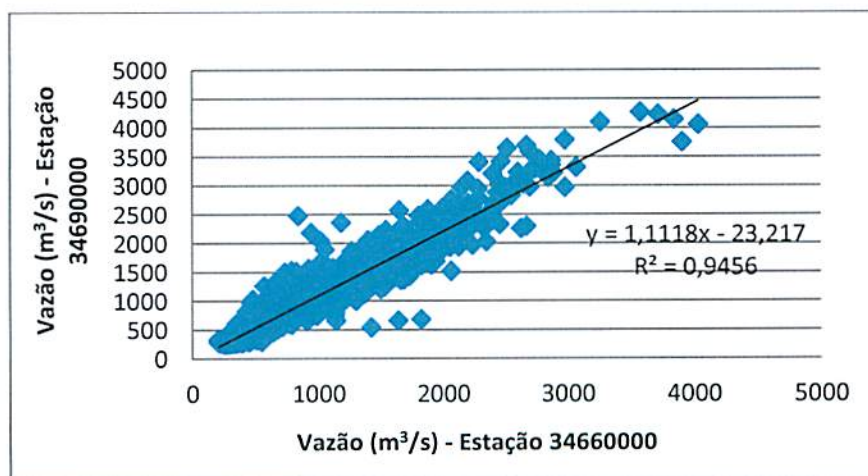


Figura 2. Correlação entre os dados de vazão das estações Teresina Chesf e Fazenda Veneza.

Tabela 1. Séries de vazões máximas instantâneas da estação Teresina Chesf (34690000).

Ano	Vazão (m³/s)	Ano	Vazão (m³/s)
1973	1814	1994	2207
1974	3389	1995	2217
1975	1539	1996	1590
1976	1704	1997	2667
1977	1643	1998	1089
1978	2373	1999	1390
1979	2391	2000	2428
1980	4248	2001	1239
1981	2486	2002	2687
1982	1607	2003	1558
1983	2636	2004	3936
1984	2408	2005	2032
1985	4538	2006	2831
1986	2697	2007	2398
1987	2077	2008	3605
1988	2408	2009	3443
1989	3127	2010	1619
1990	2226	2011	1686
1991	1933	2012	887
1992	2207	2013	1876
1993	1344		
Média (m³/s)		2297	
Máximo (m³/s)		4538	
Mínimo (m³/s)		887	
Desvio-padrão (m³/s)		838	

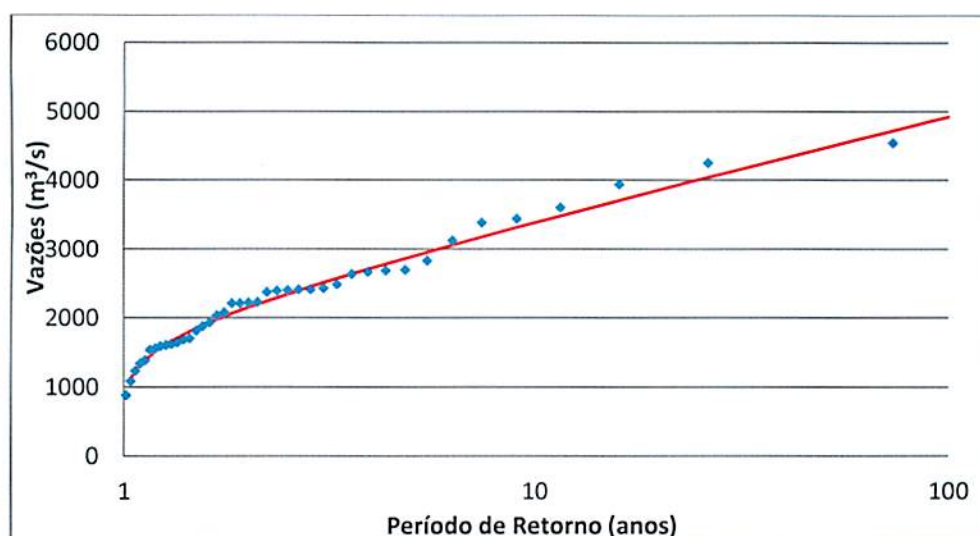


Figura 3. Distribuição probabilística das vazões máximas médias diárias do rio Parnaíba em Teresina (34690000).

A Tabela 2 apresenta as cotas linimétricas esperadas para as respectivas vazões máximas instantâneas associadas aos tempos de recorrência de 2, 3, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos calculadas por este estudo, além da sua conversão para as altitudes ortométricas a partir do levantamento com GPS geodésico do RN da estação.

Tabela 2. Cotas linimétricas e altimétricas do rio Parnaíba na estação Teresina CHESF (34690000) para diversas recorrências.

Período de Retorno (ano)	Cota Linimétrica (cm)	Altitude (m)
2	565	57,62
3	605	58,02
5	646	58,43
10	695	58,92
20	740	59,37
25	754	59,51
50	795	59,92
100	834	60,31

Conforme pode ser observado na Tabela 2, o rio Parnaíba atinge um cota altimétrica da ordem de 58,92 m quando da ocorrência de cheias com período de retorno de 10 anos. Ou seja, uma vez a cada 10 anos se espera que a cota do rio atinja ou supere a cota 58,92 m ao menos uma vez neste intervalo. A medida que se aumenta o tempo de retorno, ou seja, a medida em que os eventos considerados passam a ser mais raros, há um aumento da cota atingida pelo rio, ainda que a taxa de aumento da cota vá diminuindo com o incremento do tempo de retorno. Para cheia secular, a cota prevista para o rio Parnaíba no local onde está implantada a estação Teresina CHESF é de 60,31 m.

Um curso d'água corrente, entretanto, não apresenta a superfície livre da água como uma superfície horizontal, como é o caso dos lagos. Como é a ação da gravidade a força motriz do escoamento, a superfície livre apresenta uma inclinação que, em condições mais comuns de escoamento em rios, sem a presença de barragens ou obstruções, decresce no sentido do escoamento. Exatamente para avaliar o comportamento da superfície livre foram instaladas seis novas estações fluviométricas no rio Parnaíba (Gil Martins, late Clube e Encontro dos Rios em Teresina/PI e Barra das Pombas, Faz. São Gonçalo e Faz. Tamanduá em Timon/MA), a jusante da estação Teresina CHESF (34690000), que estão apresentadas na Figura 4. Como pode ser verificado, as estações late Clube e Encontro dos Rios estão localizados praticamente nos limites da área de interesse do Programa Lagoas do Norte e foram utilizadas para avaliação das áreas alagáveis.

Buscou-se portanto, avaliar a relação entre as cotas observadas no posto Teresina Chesf (34690000) e àquelas medidas nos postos fluviométricos late Clube e Encontro dos Rios. A Figura 5 apresenta a análise para o posto late Clube, onde o coeficiente de determinação R^2 da equação de ajuste atingiu 0,9713, enquanto a Figura 6 trás o ajuste para a estação Encontro dos Rios, cujo R^2 chegou a 0,9165.

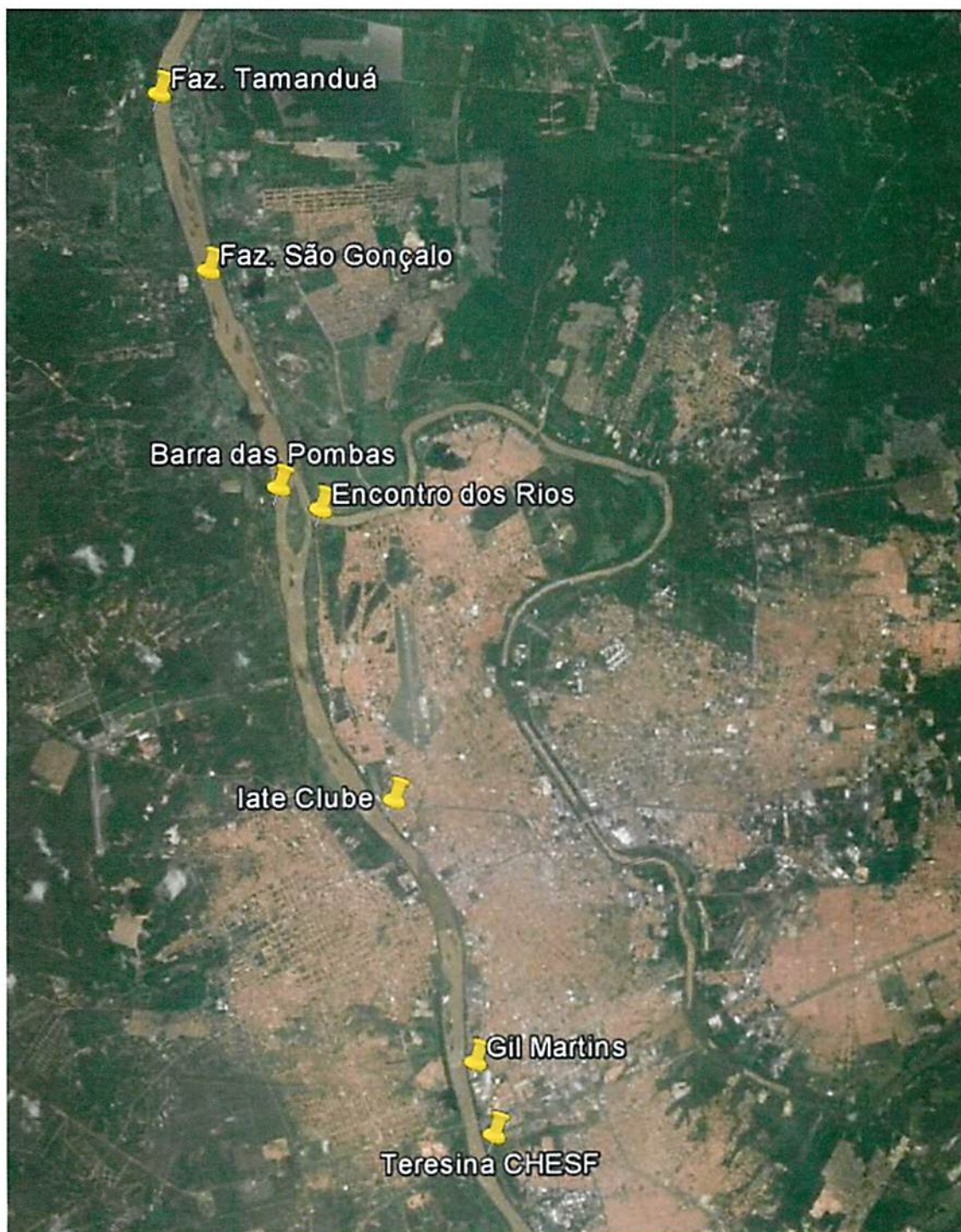


Figura 4. Localização das estações fluviométrica do Sistema de Alerta.

Obs.: Imagem de Fundo Google Earth

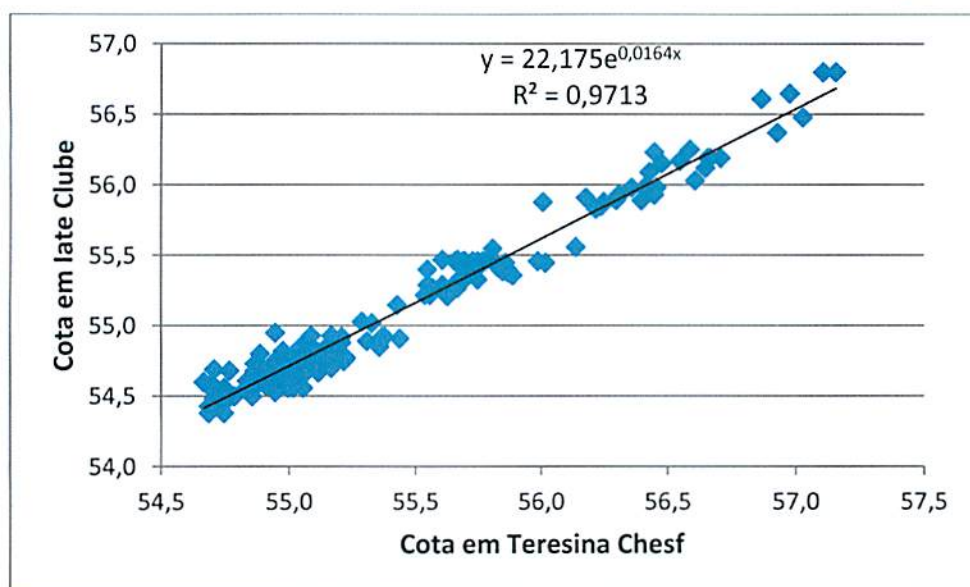


Figura 5 Correlação entre os dados de cota altimétrica das estações Teresina Chesf e late Clube.

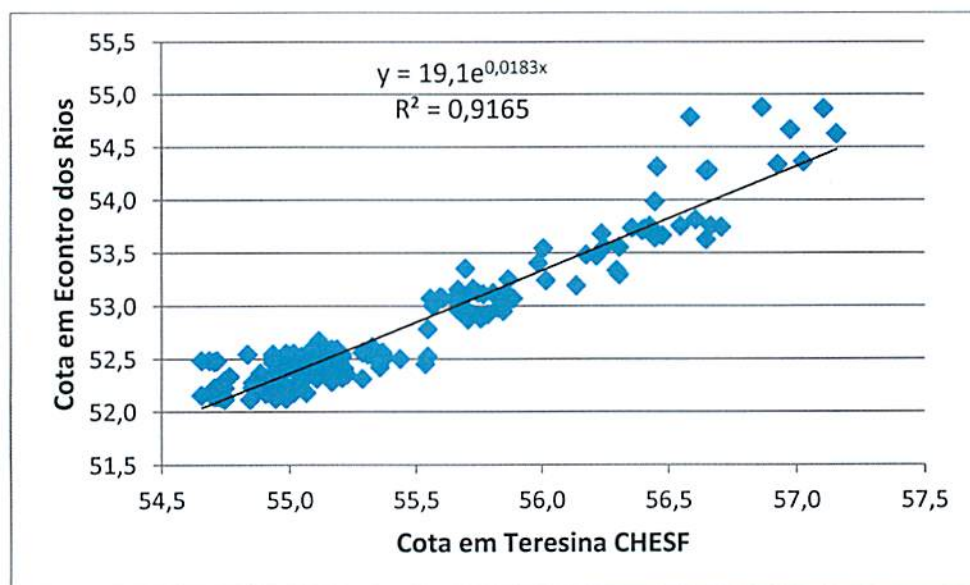


Figura 6 Correlação entre os dados de cota altimétrica das estações Teresina Chesf e Encontro dos Rios.

Utilizando as relações obtidas foi possível estimar as cotas previstas nas duas estações para diversos tempos de retorno, tendo como base os valores previamente determinados para o posto Teresina CHESF e apresentados na Tabela 2. Os valores assim obtidos estão apresentados na Tabela 3. Conforme apresentado, as cotas decrescem para jusante, sendo

tanto menores quanto maior a distância em relação à estação Teresina CHESF (34690000).

Tabela 3. Cotas altimétricas do rio Parnaíba nas estações Teresina CHESF, late Clube e Encontro dos Rios para diversas recorrências.

Tempo de Retorno (anos)	Cota Altimétrica (m)		
	Teresina Chesf	late Clube	Encontro dos Rios
2	57,62	57,05	54,82
3	58,02	57,42	55,22
5	58,43	57,81	55,64
10	58,92	58,28	56,14
20	59,37	58,71	56,61
25	59,51	58,84	56,75
50	59,92	59,24	57,18
100	60,31	59,62	57,59

Para o tempo de retorno de 10 anos, as cotas esperadas para o rio Parnaíba variam entre 58,28 m no late Clube a 56,14 m no Encontro dos Rios. Já para 100 anos, tal variação seria de 59,62 m a 57,59 m.

ii) Avaliação das Áreas Inundáveis

Para a avaliação das áreas inundáveis trabalhou-se com um modelo digital do terreno (MDT) construído a partir do mapeamento elaborado pela AGESPISA para a área urbanizada da cidade de Teresina/PI por meio de levantamento aerofotográfico, com curvas de nível a cada 1,0 m e escala original 1:2.000. O MDT foi construído com resolução espacial de 5,0 m (o terreno é representado por uma malha quadrada com um ponto cotado no centro de cada célula cujo lado tem 5,0 m de extensão).

Optou-se por determinar o limite da área inundável considerando apenas as recorrências de 10 e 100 anos, tendo em vista as prerrogativas de

Lei Complementar Nº 4.724 de 3 de junho de 2015, sancionada pelo Prefeito de Teresina/PI que adota tais tempos de recorrência para definição das áreas não edificáveis (10 anos) e com restrição de ocupação (100 anos).

Para a delimitação das áreas foi seguido o seguinte roteiro:

- a) Considerou-se que o nível d'água entre as estações fluviométricas Iate Clube e Encontro dos Rios varia linearmente;
- b) Traçou-se, aproximadamente, o eixo do rio Parnaíba entre as estações, obtendo-se um comprimento aproximado de 5.554,901 m;
- c) Foram traçadas seções perpendiculares ao eixo do rio, espaçadas a cada 250 m;
- d) Para cada seção, determinou-se, no MDT, a localização aproximada do limite inundável para cada cota de cheia considerada;
- e) A área inundável foi delimitada aproximadamente unindo-se os pontos determinados no item d).

A Tabela 4 apresenta as cotas consideradas para cada seção, de acordo com o tempo de recorrência considerado, enquanto a Figura 7 apresenta as áreas delimitadas. Conforme a legislação vigente em seu Art. 3º: "As edificações localizadas em áreas inundáveis, para tempos de retorno menores ou iguais a 10 anos, devem ser relocadas ou adquirir um seguro contra enchentes, ou realizar obras contra enchentes que assegurem perdas mínimas, a critério da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbana e Habitação – SEMDUH".

Tabela 4. Cotas de inundação em função da seção do rio considerada, definidas de acordo com a distância à estação fluviométrica late Clube.

Seção	Distância (m)	Cotas de Inundação (m)	
		10 anos	100 anos
S01	0.00	58.28	59.62
S02	250.00	58.18	59.53
S03	500.00	58.08	59.44
S04	750.00	57.99	59.35
S05	1000.00	57.89	59.25
S06	1250.00	57.80	59.16
S07	1500.00	57.70	59.07
S08	1750.00	57.60	58.98
S09	2000.00	57.51	58.89
S10	2250.00	57.41	58.80
S11	2500.00	57.32	58.71
S12	2750.00	57.22	58.61
S13	3000.00	57.12	58.52
S14	3250.00	57.03	58.43
S15	3500.00	56.93	58.34
S16	3750.00	56.83	58.25
S17	4000.00	56.74	58.16
S18	4250.00	56.64	58.07
S19	4500.00	56.55	57.97
S20	4750.00	56.45	57.88
S21	5000.00	56.35	57.79
S22	5250.00	56.26	57.70
S23	5500.00	56.16	57.61
S24	5554.90	56.14	57.59



Figura 7 Áreas inundáveis para as cheias com recorrências de 10 e 100 anos.

Observação sobre a Figura 7: Superfície em vermelho - áreas inundáveis para cheias com 10 anos de tempo de retorno; superfície em azul - áreas inundáveis para cheias com 100 anos de tempo de retorno; pontos – indicação das seções consideradas. Imagem de fundo Google Earth.

Em geral as áreas alagáveis, ainda que associadas à recorrências diversas, são bem próximas, normalmente sendo limitadas por áreas marginais ao dique da Av. Boa Esperança que mantiveram sua cota de topo. Em vários trechos, como é o caso dos segmentos entre as ruas Monteiro Lobato e Engraxate Adão Santos, e entre a Rua 009 da Vila Apolônia e o Parque Encontro dos Rios, a área inundável com 100 anos de recorrência chega ao quintal das casas construídas às margens do dique no lado não protegido, contíguo ao rio. Neste segundo trecho, inclusive, mesmo as cheias com 10 anos de recorrência atingiriam os fundos das construções.

Reitera-se que os resultados ora apresentados são preliminares, tendo em vista a pequena quantidade de dados gerados nas novas estações fluviométricas, bem como a ausência de cheias de maior magnitude nas séries disponíveis.

Conclusões e recomendações

A área urbanizada localizada na planície aluvionar do rio Parnaíba está sujeita a inundação sazonal, lenta e gradual. Nesta área, ocorrem casas de alvenaria, taipa e outros empreendimentos. Local com lençol freático muito próximo a superfície do terreno, com muitas áreas alagadas. Presença de lançamento de esgoto a céu aberto.

Na região estudada, qualquer que sejam as intervenções a serem implantadas com objetivo de minimizar os impactos negativos de todas as situações de riscos naturais e induzidos teriam que contemplar um grande número das áreas de planície de inundação e encostas atualmente urbanizadas, algumas de custos elevados, sendo necessário o estabelecimento de normas criteriosas para o impedimento do crescimento urbano em algumas delas. As recomendações que acompanham este relatório são feitas no sentido de tomadas de ações emergenciais, recuperativas e preventivas, para uma melhor convivência com as situações de risco e para que se adote um novo modelo de urbanização, que seja menos gerador de áreas de risco e mais adequado às potencialidades e fragilidades naturais do meio físico. Neste sentido e com base nessas informações, recomendam-se:

- priorização das características geológico-geotécnicas das áreas, com um forte enfoque na geologia, relevo e solos quando da tomada de decisões de planejamento, tanto setorial como regional;
- considerar que o município abrange terrenos com unidades geológicas, geomorfológicas e pedológicas diferentes;
- a alternância de sedimentos e solos argilosos com camadas de arenitos finos, endurecidos e fraturados, configurando discontinuidades geológico-geotécnicas e hidráulicas e hidrológicas, potencializam movimentos e erosão desses materiais;

- criar meios legais que inviabilizem urbanização das planícies de inundação e barrancos dos rios, que constituem áreas de domínio dos rios mais cedo ou mais tarde reutilizadas pelo próprio rio como caminho natural;
- medidas de alargamento e desassoreamento da calha do rio e de seus afluentes menores (córregos), são práticas recomendadas e eficientes na minimização dos efeitos danosos de enchentes;
- evitar e proibir desmatamentos e pisoteio do gado em terrenos onde os canais de drenagem estão encaixados;
- presença mais constante de profissionais e técnicos municipais no acompanhamento e orientação das construções.

Sugestões de Intervenções

- Estudo para implantação de medidas estruturais para contenção de cheias, como por exemplo barragens e diques marginais e reavaliação dos já existentes.
- Adequação do sistema de drenagem pluvial e implantação de sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário.
- Monitoramento/Alarme para evacuação durante eventos extremos.
- Estudo para implantação de dique servido por sistema de bombeamento de água pluvial e/ou melhoria dos já implantados.
- Implantação de sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

A combinação das características da geologia, relevo e solos, e localização da cidade em área de inundação e nas margens de um rio caudaloso, principalmente em épocas de chuvas, configuram uma fragilidade natural dos terrenos da região.

Neste sentido, seria importante que as áreas a serem urbanizadas no futuro contemplem as potencialidades e fragilidades naturais dos terrenos

nas decisões de planejamento. Tais medidas devem estar inseridas no plano de ação de prevenção e redução de riscos do município, que deve funcionar como um orientador ou normatizador do uso de construções e ocupações menos impactantes e perigosas na região e contempladas no Plano Diretor do Município. A criação ou reformulação do plano diretor do município, fundamentado em estudos geológico-geotécnicos e ambientais deve inserir ações de mapeamento de áreas problemáticas para urbanização e respectivas medidas preventivas em situações emergenciais. As construções e ocupações de áreas com práticas de cortes e aterros devem ser desestimuladas e orientadas no sentido de que sejam adotadas práticas de construção que contemplem as características topográficas, geológicas e pedológicas da região.

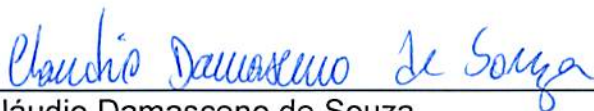
Uma das mais importantes de todas as medidas estruturantes é evitar ou restringir a ocupação de áreas alagadas, reforçando o dado de que a inundação periódica das áreas ribeirinhas é, e sempre será, um processo natural de grande relevância ambiental. A ocupação das planícies de inundação constitui, atualmente, um sério problema principalmente diante da pressão exercida pela população para a ocupação dessas terras. Nas áreas estudadas, estas planícies podem ser divididas em dois tipos: o primeiro, como uma zona de passagem da cheia constituindo áreas sujeitas a inundações frequentes e que demanda ações de prevenção contra ocupação extremamente importante podendo recomendar ações proibitivas de construção nas mesmas; outro, como planície de inundação, constituindo regiões que podem ser inundadas durante as chuvas mais severas e configurando-se como zonas de armazenamento temporário de água, com uso restritivo de algumas áreas e naquelas permitidas que seja exigida a construção de um piso com cota superior ao nível da cheia tomada como referência.

O mapa das áreas de risco a cheias e inundações apresentado neste relatório deve ser considerado como informação básica para o planejamento urbano e atividades outras de gestão territorial no município.

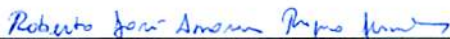
Equipe Técnica:



José Sidiney Barros
Geólogo – Pesquisador em Geociências
Serviço Geológico do Brasil/CPRM



Cláudio Damasceno de Souza
Engenheiro Civil – Pesquisador em Geociências
Serviço Geológico do Brasil/CPRM



Roberto José Amorim Rufino Fernandes
Engenheiro Civil – Pesquisador em Geociências
Serviço Geológico do Brasil/CPRM