

ESTADO DO PIAUÍ
PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA – PMT
SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO –
SEMPPLAN
Unidade de Gerenciamento do Programa Lagoas do Norte - UGP

PROGRAMA LAGOAS DO NORTE
Segunda Etapa
Termos de Referência Nº 22/2005

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE E
SEGURANÇA DOS DIQUES DOS RIOS POTI E PARNAÍBA**

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

CONSULTORES:
José Roberto Thedim Brandt
Mário Cicarelli Pinheiro
Roneí Vieira de Carvalho

Contratos PMT/SEMPPLAN/UGP Lagoas do Norte – Nº 22.../2015,
.../2015 e .../2015
Maio 2016

ÍNDICE

Figura 37: Resumo do Transporte de Cota	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. INFORMAÇÃO DISPONIBILIZADA.....	9
3. CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS.....	11
4. VISITA E INSPEÇÃO	13
4.1 Geral	13
4.2 Geotecnia.....	13
4.3 Hidrologia.....	14
4.4 Hidráulica	14
5. GEOTECNIA.....	20
5.1 - Avaliação das condições atuais dos Diques Parnaíba e Poti, incluindo as de ocupação, e da necessidade de relocação/remanejamento de edificações e população	20
5.2 – Análise do projeto de duplicação da Av. Boa Esperança.....	21
d) Projeto de Proteção de Taludes	26
6. ASPECTOS HIDROLÓGICOS	31
6.1 Enchente na Zona Urbana de Teresina.....	31
6.2 Enchentes nos Rios Parnaíba e Poti.....	31
6.3 Aspectos da Lei de Segurança de Barragens	35
7. ASPECTOS HIDRÁULICOS	36
8. RECOMENDAÇÕES DO RELATÓRIO PRELIMINAR.....	42
9. COTAS DE SEGURANÇA DOS DIQUES	45
9 - ANEXOS.....	47

Índice de Figuras

Figura 1: Área do Projeto e Pontos de Referência da Inspeção e Fotos .

Figura 2: Rio Parnaíba – Margem Direita em detalhe e Margem Esquerda ao Fundo.

Figura 3: Rio Parnaíba – Detalhe Margem Direita.

Figura 4: Rio Parnaíba – Ocupação ilegal da margem e calha secundária (típica).

Figura 5: Rio Parnaíba — Detalhe da MD – talude íngreme/ausência da vegetação ciliar).

Figura 6: Rio Parnaíba – Uso da calha secundária para cultivo. Ao fundo, avanço de construções a partir da crista do dique.

Figura 7: – Lagoa dos Oleiros –Vista para Av. Boa Esperança. Ocupação da crista e talude interno do dique.

Figura 8: Lagoa dos Oleiros – Vegetação, brejo e aterro associado a construções sobre talude do dique.

Figura 9: Lagoa dos Oleiros – Aterro e construções sobre talude do dique.

Figura 10: Elevatória dos Oleiros – Canal de adução.

Figura 11: Elevatória dos Oleiros – Grades da tomada de água.

Figura 12: Elevatória dos Oleiros – Tubulações de recalque da ampliação (trecho aéreo).

Figura 13: Elevatória dos Oleiros – Tubulações de recalque da ampliação (trecho interno à elevatória).

Figura 14: Elevatória dos Oleiros – Estruturas e canais de descarga no rio Parnaíba.

Figura 15: Elevatória dos Oleiros – Canais de descarga / Evidência de falta de limpeza e conservação / Presença de remanescente de mata ciliar.

Figura 16: Elevatória dos Oleiros – Descarga no Parnaíba / Ilha frontal vegetada.

Figura 17: Rio Parnaíba – Margem junto ao Parque Encontro dos Rios / Ilha e ME ao fundo.

Figura 18: Rio Parnaíba – Talude íngreme (negativo abaixo do N.A.).

Figura 19: Rio Parnaíba – Barranco em balanço sobre o N.A. / Coloração mais escura da água indicando maior profundidade d'água.

Figura 20: Rio Parnaíba – MD Parque do Encontro / Vista para jusante / Talude íngreme.

Figura 21: Rio Parnaíba – MD Parque do Encontro / Foz do Poti / Vista para jusante. ...

Figura 22: Dique do Poti – Proteção de talude em sacos de ráfia preenchidos com cascalho e areia (detalhe).

Figura 23: Dique do Poti – Muro de alteamento de crista interrompido / Cruzamento das ruas Domingos Jorge Velho e Cedro / Acesso ao Porto e Restaurante Pesqueirinho.

Figura 24: Dique do Poti – Muro de alteamento interrompido / Cruzamento das ruas Domingos Jorge Velho e Cedro / Acesso ao Porto e Restaurante Pesqueirinho.

Figura 25: Dique do Poti – Muro de alteamento do dique / Portão do Restaurante / N.A. da cheia de 1985 alcançou metade da altura do portão.

Figura 26: Dique do Poti – Porto do Pesqueirinho / Margem direita protegida por vegetação (ao fundo).

Figura 27: Dique do Poti – Marcas das cheias de 1985, 2007 e 2009 junto ao Restaurante.

Figura 28: Dique do Poti – Portão do Restaurante / Parte do muro pintada em amarelo indica nível atingido pela cheia de 1985; a parte em branco, a borda livre.

Figura 29: Dique do Poti –Montante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco / Trecho de talude protegido com gabiões / Construções sobre crista do dique e entre esta e a margem do rio

Figura 30: Dique do Poti – Jusante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco /Trecho de talude protegido com sacos de ráfia preenchidos com cascalho e areia.

Figura 31: Dique do Parnaíba – Vista do talude junto ao rio, com lixo depositado às margens.

Figura 32: Dique do Parnaíba – Vista do talude junto ao rio, mostrando taludes íngremes.

Figura 33: Dique do Parnaíba - ocupação da área de montante do dique.

Figura 34: Dique do Parnaíba - evidências de formação de erosões.

Figura 35: Dique do Parnaíba - consequências das erosões são os deslizamentos que destroem a pouco desenvolvida cobertura vegetal das margens.

Figura 36: Dique do Parnaíba - evidências de formação de erosões.

Figura 37: Resumo do Transporte de Cota

Figura 38: N.A. da Cheia de 1985 e Cotas de Segurança recomendadas

1. INTRODUÇÃO

O presente documento tem a finalidade de descrever e consolidar os trabalhos executados pelos Consultores do Banco Mundial, no 2º Painel de Avaliação das Condições de Estabilidade e Segurança dos Diques dos Rios Parnaíba e Poti, implantados com a finalidade de proteção da cidade de Teresina-PI contra cheias.

As obras de proteção contra cheias na cidade foram sendo progressivamente implantadas desde a década de 1970, sendo que, atualmente, a Prefeitura Municipal de Teresina, através da Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, vem desenvolvendo o Programa Lagoas do Norte, com recursos de financiamento do Banco Mundial. O Programa consiste na implantação de um conjunto de obras e ações integradas de re-qualificação urbana, social e ambiental, que incluem obras de urbanização abrangendo melhoria e ampliação do sistema viário, drenagem, abastecimento de água, esgotamento sanitário, utilização das lagoas naturais como bacias de retenção de cheias e recomposição urbanística de áreas marginais às lagoas e respectivas redes de contribuição.

Esse Programa vem sendo executado há 10 anos, sendo fundamental a segurança e estabilidade dos diques para garantir a eficiência das obras que estão sendo implantadas na região. Os trabalhos dos Consultores do Banco Mundial foram iniciados em 2006, por ocasião da realização do 1º Painel de Avaliação das Condições de Estabilidade e Segurança, quando as condições operacionais do sistema de proteção contra cheias foram avaliadas, com foco principal nas estruturas dos diques, no âmbito da denominada 1ª Fase do Programa, que se aplicava à denominada Área 1 do complexo das Lagoas do Norte. Nesse trabalho anterior, foram feitas as seguintes recomendações:

- Nivelamento da cota de coroamento dos diques, considerando a constatação de existência de trechos vulneráveis em relação ao critério de projeto.
- Nivelamento das RNs das estações fluviométricas de referência, reduzindo as cotas linimétricas para a referência altimétrica compatível com as obras projetadas.
- Levantamentos de seções topobatimétricas ao longo dos trechos fluviais de interesse dos rios Parnaíba e Poti.
- Elaboração de estudos de hidráulica fluvial com o cálculo de perfis de escoamento das vazões de cheias, para subsidiar as análises de segurança dos diques contra galgamento.

Entre a realização do 1º Painel, em 2006, e a data atual, ocorreram alguns eventos que foram analisados e pontuados no presente trabalho, sendo que alguns representaram marcos de ações recomendadas anteriormente pelos Consultores. Destacam-se os seguintes eventos:

- Ocorrência de cheias nos rios Parnaíba e Poti em 2008, que agregou informações adicionais ao histórico de dados de monitoramento hidrométrico e evidenciou pontos vulneráveis a erosão na margem esquerda do rio Poti, a jusante da Ponte Mariano Gayoso Castelo Branco.
- Aumento da capacidade de bombeamento da Estação Elevatória Boa Esperança para pouco mais de 8,00 m³/s, que esgota os volumes de amortecimento das cheias urbanas armazenados nas lagoas, seguindo recomendações de estudos anteriores.
- Elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina pela empresa CONCREMAT, em 2012, incorporando diversas ações recomendadas no relatório dos Consultores no 1º Painel.

- Cadastramento da cota de coroamento do Dique Boa Esperança (margem direita do rio Parnaíba) e do Dique Mocambinho (margem esquerda do rio Poti) e instalação de seções de réguas linimétricas nos trechos fluviais de interesse, trabalhos feitos pela CPRM em 2015.

Desta forma, tendo em vista as obras e intervenções programadas para esta 2ª Fase do Programa, a Prefeitura Municipal constituiu um 2º Painel de Segurança em 2015, com o objetivo de avaliar os impactos das mesmas sobre os diques, assim como as medidas que, em consequência, deveriam ser tomadas em relação aos próprios diques para garantir o nível de segurança necessário às áreas internas, protegidas, que abrangem hoje população da ordem de 90.000 habitantes.

No escopo dessas avaliações estão incluídas as obras de recuperação e elevação da cota de coroamento de trechos do dique marginal ao rio Poti (dique Poti/Mocambinho) e de ampliação da Estação Elevatória Oleiros (na Lagoa dos Oleiros e incorporada ao dique do rio Parnaíba), realizadas após a emissão do Relatório Final do 1º Painel (2006), assim como os projetos executivo de duplicação da Avenida Boa Esperança (situada sobre o dique do Parnaíba) e básico de complementação do dique do Poti/Mocambinho, programadas para esta Fase do Programa.

Assim como o de 2006, o atual Painel é constituído por especialistas nas disciplinas de geotecnia, hidrologia e hidráulica, nominados na capa do presente documento, para cuja elaboração os mesmos realizaram, em setembro de 2015, visita de inspeção à região de interesse, com ênfase nas estruturas dos diques e margens dos rios, e reuniões na Prefeitura, além de terem recebido para análise documentos referentes aos diversos projetos, estudos e levantamentos atinentes às obras e intervenções, parte deles em versões preliminares ou incompletos, pois mais recentes e ainda em fase de elaboração ou revisão.

Em novembro de 2015 foi emitido o Relatório Preliminar, contendo o resultado das análises até então realizadas dos documentos e demais informações disponibilizadas, as observações referentes à inspeção de campo e as recomendações julgadas pertinentes; o qual foi revisado e aprovado em fevereiro de 2016.

Ainda em fevereiro de 2016 foi realizado em Teresina um Workshop, com a presença de representantes da Prefeitura Municipal de Teresina, Banco Mundial, Defesa Civil e diversas outras entidades representativas da comunidade local envolvidas ou interessadas nas ações e intervenções do Programa Lagoas do Norte, além dos membros do Painel.

Na ocasião, como introdução, foram descritas pelo Secretário Municipal de Planejamento e Coordenação as principais ações e intervenções previstas no Programa e respectivos estágios de implementação ou implantação. Em seguida, representantes da empresa projetista apresentaram as características e aspectos principais das obras da Fase 2 do Programa e, por último, os membros do Painel discorreram sobre as análises e avaliações até então realizadas quanto à segurança dos diques dos rios Parnaíba e Poti, em especial sob os aspectos geológico-geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, e indicaram as complementações de investigações e levantamentos de campo necessários para a conclusão de seu trabalho.

Assim, após a obtenção das novas informações, o presente relatório, em suma, se limita a complementar o que já fora apresentado no Relatório Preliminar, consolidando as conclusões e apresentando as recomendações finais do Painel.

Além desta introdução, este documento contém:

- um resumo das informações disponibilizadas para análise (Seção 2);

- a caracterização sucinta das obras (Seção 3);
- a descrição da visita e de observações/registros feitos durante a inspeção (Seção 4);
- as avaliações dos diques, projetos e obras, sob os aspectos geotécnicos (Seção 5), hidrológicos (Seção 6) e Hidráulicos (Seção 7);
- um resumo das recomendações do Relatório Preliminar (Seção 8);
- a obtenção do perfil de cotas de segurança recomendadas para os diques (Seção 9) e
- um anexo (Seção 10), contendo figuras com fotos ilustrativas dos aspectos comentados no texto, tabela resumo de cotas de marcas da cheia de 1985 (considerada como cheia de projeto) e gráfico de perfis de níveis de água dessa cheia e de cotas de segurança recomendadas para os diques.

2. INFORMAÇÃO DISPONIBILIZADA

Para a elaboração deste relatório esteve disponível, inicialmente, um conjunto de documentos relativos a estudos, projetos e levantamentos referentes especificamente aos aspectos técnicos objeto das avaliações, assim como outros, correlatos, mas de interesse apenas secundário, face aos objetivos das análises. Os principais são listados a seguir:

- Programa Lagoas do Norte, “Estudo de Avaliação das Condições de Estabilidade e Segurança do Dique dos Rios Poti e Parnaíba – Relatório Final”, 1º Painel de Segurança, Banco Mundial, 2006.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil, “Detalhamento da Poligonal PI_TE_SR_08 do Relatório de Mapeamento de Risco e Desastres Naturais”, Unidade Regional de Teresina, 2015.
- Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – Relatório Final - CONCREMAT, 2012.
- Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – levantamento topo-batimétrico das seções transversais dos rios Poti e Parnaíba, Revisão/Atualização de Estudos Hidrológicos - CONCREMAT, 2012.
- Nivelamento dos Diques / Perfil Longitudinal (arquivos Dique Corrigido, Dique Corrigido Eixo, Dique Corrigido Eixo 2 e Dique Entre Rios) UGPLN
- Modelagem Hidráulica dos Sistemas de Drenagem para a Região do PLN – Relatório Final, Setembro 2005 – C.E.M.Tucci e M.A. Cruz
- Controle de Inundações e Manutenção dos Níveis das Lagoas Norte / Simulações Hidrológicas e Hidráulicas dos Cenários de Inundações – C.E.M.Tucci e R.S.Souza, 2014.
- 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 - Ministério da Integração Nacional/CPRM, 2015.
- Relatório de Avaliação Ambiental e Social – RAAS do Programa Lagoas do Norte – Fase II, TECHNUM, 2014.
- Programa Lagoas do Norte – Fase II – Projeto Executivo de Duplicação da Avenida Boa Esperança/Ampliação do Dique Parnaíba – Consórcio Teresina Sustentável, 2015. (Projeto Executivo do Sistema Viário, incluindo Projetos Geométrico, Geotécnico e de Contenção, Terraplenagem, Drenagem, etc.).
- Programa Lagoas do Norte – Fase II – Projeto Executivo de Urbanismo – Região da Lagoa dos Oleiros – Consórcio Teresina Sustentável, 2015.
- Projetos Dique Poti 4ª e 5ª Etapas – SEINFRA – Governo de Estado do Piauí, Março 2014.
- Projeto Geométrico – Poti Velho – 2º BEC- Obras de Recuperação do dique do Bairro Mocambinho (pasta: Recup. Dique 2015).
- Levantamento Cadastral - Imóveis na Avenida Boa Esperança – Dique do Parnaíba, UGPLN.
- Levantamento Cadastral – Imóveis do Dique Poti, UGPLN.
- Levantamento de Dados e Análise de Vulnerabilidade a Desastres e Proposta de Intervenções – Pangea Geologia e Estudos Ambientais – Ministério de Integração Nacional - SNPDC / CGRD.
- Especificações Técnicas do Projeto de Ampliação da Avenida Boa Esperança-CTS.
- Contenção de Enchentes na Cidade de Teresina-PI: Estudo de Determinação da Cota da Crista do Dique de Proteção Contra Inundação das Áreas Baixas da

Cidade de Teresina /PI, Relatório Nº BH-029/85-00-A4-PE- 03 – SEEBLA, Outubro 1985.

Em função das observações e recomendações apresentadas no Relatório Preliminar, outras informações e dados foram disponibilizados e submetidos ao Painel, destacando-se entre eles:

- Memórias de cálculos geotécnicos dos aterros previstos, associados às obras de ampliação/duplicação da Av. Boa Esperança (CTS/PMT).
- Resultados de sondagens complementares (CTS/PMT).
- Levantamento de cotas de marcas da cheia de 1985 e de pontos notáveis, de referência para o projeto (Tabela Resumo de Transporte de Cotas – PMT).
- Informações linimétricas sobre a cheia de janeiro de 2016 nos rios Parnaíba e Poti (CPRM e PMT).

3. CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS

Como já mencionado, o Programa Lagoas do Norte constitui-se num conjunto de ações integradas, desenvolvido em Fases pela Prefeitura Municipal de Teresina, visando resolver problemas sociais, ambientais e urbanísticos, de modo a reduzir riscos à saúde e ao meio ambiente, comprometedores da qualidade de vida e inibidores do desenvolvimento sustentável, em área da zona norte de Teresina (ver Figura 1, no Anexo) situada no entorno do aeroporto da cidade.

Esta área é protegida das inundações devidas às enchentes dos rios Parnaíba e Poti pelos diques objeto deste relatório e daquelas devidas às precipitações pluviométricas internas, por estações elevatórias associadas ao sistema de macrodrenagem respectivo (canais e lagoas) que, juntamente com os diques, constituem um sistema de “polder”.

A área total envolvida, com aproximadamente 1300 ha, compreende os 13 bairros da zona norte da cidade que estão sob influência direta das várias lagoas que dão nome ao Programa e onde vivem cerca de 90 mil pessoas.

Na 1ª Fase, concluída em 2015, foram implementadas, entre outras ações, as seguintes obras e intervenções referentes a infraestrutura, na área:

- Macrodrenagem: as obras realizadas consistiram na limpeza de lagoas e retificação de canais, melhoria de interligações – comportas para o controle das inundações, arborização etc. – no âmbito da denominada Área 1, bem como na melhoria do sistema de bombeamento na Área 2 – Lagoa dos Oleiros.

Assim, foi ampliada a Estação Elevatória desta lagoa, com a instalação de um conjunto adicional de 8 moto-bombas submersíveis, conferindo à mesma uma capacidade de bombeamento total da ordem de 8,00 m³/s e permitindo um controle mais efetivo e seguro das inundações na área de contribuição à mesma.

Também foi realizada a implantação de bacia de retenção e Estação Elevatória de Águas Pluviais no Bairro Mocambinho – Área 4.

- Ampliação do sistema de esgotamento sanitário para a Área 1, com destino à ETE Pirajá.
- Melhoria e reforço do sistema de abastecimento de água.
- Reassentamento Involuntário - Residencial Zilda Arns: assentamento constituído de 327 casas, para população oriunda das áreas de risco - terrenos alagadiços situados às margens de lagoas, canais e, também, em leitos de rua e/ou em áreas de preservação ambiental próximas dos canais e lagoas da Área 1.
- Parque Linear: primeira etapa dessa obra, numa extensão de 3 km (dos 7 km previstos), construída em área anteriormente degradada social e ambientalmente e que, com o parque, foi transformada em área de lazer, esportes, cultura, sociabilidade e convivência comunitária. A Praça Monumental Parque Lagoas do Norte é o portal de acesso ao Parque Linear. Lá foram instalados playgrounds, quiosques, áreas de contemplação com bancos e mesas, academias para terceira idade e um anfiteatro com capacidade para 200 pessoas. Toda a área foi arborizada e conta com novas vias de acesso para facilitar a sua visitação. Conta também com pista de caminhada, ciclovia, quadras de esportes para as práticas de vôlei e futebol de areia, pista de skate, áreas de apoio para as quadras esportivas, com vestiários e banheiros, além de passarelas para ligação entre as Lagoas.

Atualmente encontra-se em fase de preparação e negociação um Financiamento Adicional (FA) para implementação da 2ª Fase do Programa Lagoas do Norte, contemplando as Áreas 2 e 3. Os projetos executivos de macrodrenagem, esgotamento sanitário, requalificação urbana e sistema viário estão em fase final de elaboração.

Entre estes Projetos encontra-se a Duplicação da Avenida Boa Esperança com a necessária ampliação do Dique do Parnaíba/Boa Esperança.

Adicionalmente, no caso do Dique do Poti, o projeto urbanístico prevê a complementação do Dique na região próxima ao Monumento Cabeça de Cuia e região do Pesqueirinho.

4. VISITA E INSPEÇÃO

4.1 Geral

Durante a estadia dos consultores do Painel em Teresina, nos dias 14 a 16 de setembro, foram realizadas duas reuniões na SEMPLAN, com técnicos das equipes da PMT, da empresa projetista MPB e do Banco Mundial envolvidos nas atividades do Programa Lagoas do Norte, sendo uma na véspera e outra no dia seguinte à visita de inspeção aos diques e áreas de interesse. Na primeira, foi feita uma apresentação geral aos consultores das Fases do Programa, com ênfase na Segunda, nos seus diversos componentes, principalmente naqueles diretamente relacionados com o escopo das atividades do Painel. Na ocasião foram solicitados pelos consultores alguns dos documentos e dados informados como disponíveis em lista previamente encaminhada pela PMT, assim como esclarecidas ou discutidas algumas dúvidas relativas aos documentos já lidos por eles.

Na segunda reunião, após a visita de campo, foram expostas as primeiras impressões obtidas com a inspeção, discutidos aqueles aspectos que exigem maior atenção ou ainda carecem de informação, assim como foram disponibilizados aos consultores mais alguns dados complementares. Ficou acertado que as demais informações disponíveis na PMT seriam encaminhadas aos consultores nos próximos dias. Ainda em Teresina, os consultores em reunião à parte, discutiram e esboçaram a estruturação preliminar deste relatório.

Dadas as distâncias envolvidas nas locomoções sobre os diques e vizinhanças, a inspeção foi realizada com a utilização de um micro-ônibus e paradas em pontos estratégicos, de onde se percorriam a pé os caminhos até os locais de interesse específico.

No Anexo, apresentado ao final deste relatório, a Figura 1 constitui reprodução de imagem atual do Google Earth mostrando a região de abrangência do Programa Lagoas do Norte, sobre a qual se assinalam, aproximadamente, pontos indicativos de locais visitados, ou de referência, a partir dos quais se caminhou até os pontos de onde foram tiradas as fotos apresentadas nas demais Figuras do Anexo. Essas servem para ilustrar as observações e os comentários sobre a inspeção, constantes nos itens seguintes. Nas próprias legendas das fotos indicam-se os principais aspectos objeto das observações e comentários.

4.2 Geotecnia

A visita técnica, como já mencionado, foi realizada entre os dias 14 e 16 de setembro de 2015, quando foram realizadas reuniões de esclarecimento e discussões, e uma visita ao local dos diques e das futuras obras. Os aspectos mais relevantes estão abaixo discutidos:

- a) Ocupação do dique existente – observa-se uma ocupação pouco controlada da área do dique do rio Parnaíba, com diversas moradias, algumas com edificações de mais de um andar (ver Figura 7, por exemplo);
- b) Existem ocupações à montante do dique, área que, de acordo com os estudos de hidrologia, é considerada como leito secundário do rio Parnaíba (ver Figura 33);
- c) Os taludes, tanto do rio Parnaíba quanto do rio Poti, são extremamente íngremes (ver Figuras 5, 18 a 20, 22 e 32) e estão, em alguns locais, cobertos de lixo (ver Figura 31) e apresentam claras evidências de ravinamento (ver Figura 34);
- d) Há evidências de que os processos erosivos nos taludes íngremes das margens dos rios estão causando escorregamentos das margens no rio

- Parnaíba (ver Figura 35) e nas margens do rio Poti (ver Figura 22), onde alguns taludes já foram recuperados;
- e) A duplicação da Av. Boa Esperança passará sobre os dutos de descarga de água da estação de bombeamento do Oleiros (ver Figura 12);
 - f) Parte da duplicação da Av. Boa Esperança será sobre solos moles e parte sobre áreas inundadas.

Todas essas observações serão motivo de discussão no texto do item 5.1 desse relatório.

4.3 Hidrologia

Importante a destacar no aspecto relativo à Hidrologia foi a instalação de seções de réguas linimétricas pela CPRM, no trecho fluvial de interesse do rio Parnaíba. Tendo a estação fluviométrica de Teresina como referência de partida, foram instaladas 6 seções de réguas a jusante, sendo 2 junto à foz do rio Poti e 2 mais a jusante dessa confluência. As observações simultâneas dos registros dessas estações serão importantes para aferir as simulações de perfis de escoamento e assim aprofundar o conceito de segurança dos diques.

No estudo apresentado pela CPRM (2015), foram estabelecidas correlações de níveis entre os registros da estação Teresina e o das demais estações. A partir de estudos de análise de frequência dos máximos anuais de vazões de cheias registrados na estação fluviométrica de Teresina, foram calculados os quantís com períodos de retorno notáveis e transformados nas respectivas cotas linimétricas. Com base nas correlações estabelecidas entre os registros de níveis de água das estações, as cotas calculadas para a estação Teresina foram transferidas para os demais pontos de monitoramento, obtendo-se assim estimativas de condições de contorno para aplicação no modelo de simulação dos perfis de escoamento das vazões de cheias.

Visando incorporar dados hidrométricos adicionais às análises, os registros das estações fluviométricas do rio Parnaíba e Poti, operadas pela ANA – Agência Nacional de Águas, foram atualizados pela consulta ao banco HidroWeb da agência reguladora. Embora os dados de cotas linimétricas estivessem atualizados até o ano de 2015, não havia ainda a atualização dos dados de vazões, que estavam estendidos somente até o ano de 2007.

4.4 Hidráulica

Sob o ponto de vista estritamente hidráulico, a inspeção de campo realizada durante a visita objetivou, principalmente, observar as atuais condições de conservação e ocupação das margens direita do rio Parnaíba e esquerda do rio Poti bem como dos taludes externos e cristas dos diques respectivos, que compõem o contorno hidráulico de ambos os rios, com o fim de identificar as modificações ocorridas em suas superfícies desde a inspeção do Painel de 2006 e que pudessem ter alguma relevância em termos dos níveis das cheias e, por consequência, da segurança dos diques e das áreas por eles protegidas contra inundações.

Também era objetivo da inspeção uma avaliação, à distância, do estado geral das margens opostas de ambos os rios, relativamente a intervenções, ocupações e focos de erosão, e da calha principal, quanto a ilhas e outras peculiaridades das mesmas capazes de exercerem controle hidráulico e terem alguma influência sobre o escoamento por ocasião de cheias, se visíveis na situação de estiagem prevista para a data da visita/inspeção.

Em geral, do lado do rio Parnaíba foi constatado ter havido, no período entre as duas inspeções, um adensamento das edificações na faixa de domínio do rio (legalmente, Área de Proteção Permanente), contígua ao dique, e sobre ele. Em alguns casos, envolvendo avanços no sentido do rio e respectiva planície de

inundação, portanto, transversalmente ao fluxo das cheias, de aterros irregulares e benfeitorias, com diversas finalidades; algumas aparentemente abandonadas. Tais avanços ocorrem tanto no trecho correspondente à Avenida Maranhão, mais à montante, quanto no correspondente à Avenida Boa Esperança, sua continuação. Para a duplicação desta última está prevista a remoção de parte daquelas edificações, o que é positivo.

Em grande parte do trecho em que o dique mais se afasta da calha principal do rio, continuam a existir moradias esparsas, de padrão modesto (algumas de taipa), ocupando a calha secundária ou planície de inundação, que, por sua vez, apresenta escassos vestígios da mata ciliar natural; em parte substituída por bambuzais junto à calha principal. A rapidez da inspeção não permitiu verificar se houve aumento na quantidade de tais moradias desde a inspeção anterior.

Destaca-se que o fato de o referido trecho de calha secundária apresentar relevo irregular, com terreno de cotas um pouco mais elevadas junto ao bordo da calha principal do que em faixas intermediárias (entre o referido bordo e a crista do dique), serve de estímulo ao uso dessas áreas de terreno mais baixo para cultivo agrícola sazonal e, portanto, a outras ações antrópicas, negativas, associadas à atividade, tais como a construção de pequenos diques transversais para retenção de água, aterros, casas de bombas e depósitos, além do descarte descontrolado de água servida (com algum poder erosivo) e lixo.

É evidente que, quanto mais próximas da calha principal essas ocupações irregulares se situarem, mais as moradias e seus habitantes ficarão sujeitos aos riscos da ação do rio por ocasiões de cheias, sobretudo das menos freqüentes. Não sendo contida essa prática de ocupação, as mesmas no futuro poderão até vir a exercer certa influência sobre o próprio escoamento, mais veloz em tais eventos; sobretudo se ocupação semelhante ocorrer na margem oposta. Por enquanto, a influência sobre os níveis dos perfis de escoamento não é relevante.

Ainda na lateral do rio Parnaíba e próximo à foz do rio Poti, onde o dique volta a se aproximar da calha, a existência do Parque Encontro dos Rios garante a não ocupação ilegal da margem, preservando-a de ações indevidas e descontroladas.

A existência, nas proximidades da foz do rio Poti, de alguns bancos de sedimentos, em particular de uma ilha com algumas centenas de metros de extensão (na ocasião aparentando estar parcialmente estabilizada por densa vegetação), gera concentração de fluxo do rio Parnaíba em seu lado direito, junto ao Parque, aprofundando o leito e provocando certo desgaste ou solapamento na margem que, localmente, chega a adquirir inclinação quase vertical. Inferiu-se que este processo talvez não seja mais intenso devido à aparentemente boa resistência do solo do qual é constituído o trecho de margem em foco; eventualmente reforçada por raízes de bambuzais e outras árvores aí existentes.

Embora o fato não esteja a merecer preocupação maior, pelo menos no curto prazo, é prudente que o fenômeno seja monitorado, assim como possíveis deslocamentos dos bancos de areia e ilha, após as próximas cheias. Caso não aconteçam alterações significativas nas dimensões e disposição desses depósitos de sedimentos, principalmente da ilha citada, nem na distribuição do fluxo pela calha, mas ocorra avanço expressivo no desgaste da margem, então poderão se justificar medidas de contenção da mesma, como proteção ao Parque.

Discutiu-se durante a visita sobre a necessidade ou conveniência de dragagem daquela ilha em particular (por seu tamanho), com vistas a eventuais benefícios em termos de níveis das cheias, a montante, assim como de diminuição das velocidades no referido trecho de margem. Concluiu-se não haver razões para tal, no momento, nem estarem disponíveis estudos de hidráulica fluvial que permitam estimar tais

benefícios, provavelmente temporários (se houver), devido à dinâmica natural do leito do rio em questão.

Com relação à margem esquerda do rio Parnaíba, no trecho objeto da inspeção não se notaram modificações significativas em relação ao observado na inspeção anterior, que pudessem ter influência sobre os níveis das cheias.

Também se inspecionaram as instalações da Elevatória dos Oleiros; agora ampliada com mais oito bombas, em complemento às existentes por ocasião da visita anterior.

Sob o ponto de vista das condições hidráulicas durante as cheias do rio Parnaíba, pode-se verificar que sua torre de comporta e estruturas de descarga e dissipação estavam adequadamente construídas, externamente ao dique, porém sem possibilidade de exercerem interferências sobre o escoamento do rio em tais eventos. Apenas os taludes em solo das laterais dos canais de descarga apresentavam alguns sinais de erosão e, nos próprios canais, a presença de macrófitas e gramíneas evidenciavam ter transcorrido certo tempo desde a última manutenção. Um remanescente de mata à esquerda (a montante) das referidas estruturas e canais tende a protegê-los das ações diretas do fluxo do rio Parnaíba nas cheias, razão porque deve ser preservado.

Resumindo, pode-se afirmar que, a despeito da mencionada evolução nas ocupações vizinhas à crista do dique, a atual inspeção do Parnaíba indicou não ter havido, desde a inspeção anterior, modificações nas condições de contorno físico que pudessem ser consideradas hidraulicamente relevantes para as ocasiões de passagem de cheias no trecho de interesse para o Programa.

Quanto à margem esquerda do rio Poti e respectivo dique, pode-se constatar o relativamente bom estado das intervenções de recuperação e contenção de margem executadas no período e que, em parte, se encontravam em andamento durante a inspeção de 2006. Contudo, o crescimento de vegetação, já com certo porte, observado junto a essas obras, deve ser evitado; devido ao aumento da rugosidade que proporciona e aos danos à proteção que suas raízes podem provocar. Também se pode constatar ter sido realizado o alteamento de trechos do dique que na ocasião da inspeção anterior se encontravam em cotas inferiores às indicadas no projeto, o qual foi executado parte em solo e parte através de muro de concreto.

O conjunto dessas intervenções compreendeu, em trechos distintos: a) conformação de abatimento do talude da margem, seguida da colocação de gabiões (sobre geomanta) e enrocamento, com recobrimento dos gabiões por concreto projetado; b) alteamento do dique (em solo, nos trechos em que a crista do mesmo não estava ocupada por edificações ou ruas pavimentadas, e com muro de concreto, onde estas impediam a execução do aterro e c) recomposição e contenção, com alvenaria de sacos de ráfia preenchidos com cascalho e areia.

Também no período ocorreu a implantação dos Sistemas de Bombeamento Lagoa do Mocambinho (3 bombas e vazão de 1,20 m³/s) e da Vila do Mocambinho (6 bombas e vazão de 3,00 m³/s), com seus canais de descarga escavados no próprio terreno da calha secundária (a partir das proximidades da crista do dique); os quais demandam monitoramento quanto a possíveis erosões regressivas com potencial de causar danos ao próprio dique. Tais canais, contudo, não têm qualquer influência sobre as condições de trânsito das cheias no trecho de rio em que se localizam, ou seja, nas vizinhanças do extremo norte do dique.

Ainda na mesma região acima, que corresponde à grande curva à esquerda realizada pelo curso do rio Poti, permanecem as ocupações da vasta planície de inundação comentadas no relatório de 2006; ainda esparsas, mas aparentemente ampliadas no tocante a movimentos de terra e uso do solo para fins agrícolas,

principalmente. No estágio atual essas ocupações e intervenções não têm influência sobre o escoamento das cheias, principalmente por se situarem na parte côncava da curva, zona de menores velocidades. Entretanto, pelas mesmas razões apontadas para o caso do rio Parnaíba, relativamente à região marginal em correspondência à Avenida Boa Esperança, tais ocupações e tipo de ação sobre o solo, privando-o da cobertura vegetal original, devem ser desestimuladas ou coibidas tanto quanto possível.

Imediatamente a jusante de um trecho de dique recomposto e protegido com sacos de rafia e mais próximo do Parque Encontro dos Rios/foz do Poti, a parte sem proteção especial de talude (que é relativamente íngreme) apresenta algumas erosões superficiais localizadas, ainda em estágio inicial, as quais provavelmente decorrem de extravasamento de água de drenagem da rua que ocupa a crista do dique. Por estarem ocorrendo em zona em que o dique tem talude relativamente íngreme e é suscetível ao fluxo do rio, em especial nas cheias, precisam ser monitoradas, para que, sofrendo ampliações, medidas corretivas sejam tomadas.

Monitoramento semelhante deve ser feito na margem esquerda deste rio, a montante da Ponte Mariano Gayoso Castelo Branco e do término da área já protegida por gabiões (zona de inversão da concavidade do rio), potencialmente ainda sujeita a erosões localizadas nos períodos de cheias importantes no Poti – principalmente se dissociadas de níveis de água relativamente altos no rio Parnaíba, tendo em vista a altura e quase verticalidade da margem da calha principal. Já é prevista a execução de obras de contenção, incluindo o trecho de margem aqui mencionado e que corresponderiam às 4ª e 5ª etapas de projeto do Governo do Estado (SEINFRA), sem datas definidas para serem iniciadas; porém, enquanto isto não se concretizar o monitoramento preventivo se justifica.

Na região do Restaurante Pesqueirinho, destaca-se a permanência de edificações sobre a crista do dique original, interna e externamente ao seu muro de alteamento; inclusive com o uso deste mesmo muro para apoio de paredes e ou muros de algumas residências.

Além do fato de as edificações situadas externamente permanecerem sujeitas a inundações (nas enchentes de magnitude das que justificaram o alteamento do dique/construção do muro) e, de certa forma, poderem introduzir perdas de carga hidráulica nessas ocasiões, sua existência (e das demais) dificulta a realização das inspeções periódicas que o tipo de estrutura demanda e também pode facilitar ações de vandalismo comprometedoras de sua integridade.

Mas o fato mais importante e surpreendente dessa inspeção é que, no cruzamento das ruas Domingos Jorge Velho e Cedros, no acesso ao Porto e Restaurante Pesqueirinho, o referido muro de alteamento foi interrompido, resultando numa abertura com largura estimada de 15 metros e cota inferior à de projeto do próprio muro em torno de 2,5 metros. A manutenção desta situação torna sem efeito (e sentido) as obras de alteamento executadas, pois toda a região interna a que deveriam proteger continua vulnerável a cheias significativas, com riscos acima dos previstos no projeto. É fundamental, portanto, que a cota de projeto para o coroamento do dique no trecho em questão seja garantida.

Segundo informações recebidas durante a inspeção, no momento não existem condições de serem removidas aquelas edificações nem desativados o porto e o restaurante. Diante deste fato, discutiu-se no local uma possível alternativa de solução, pelo menos temporária, para a execução do fechamento da referida abertura, consistindo na elevação de pequeno trecho do piso da rua Cedros para a cota de topo do muro/dique e a construção de rampas, interna e externamente, para a continuidade do acesso, inclusive de veículos. Sugere-se a inclusão no escopo dos projetos em andamento desta fase do Programa estudos visando confirmar a viabilidade de uma

alternativa de fechamento como esta, ou outra similar, e a elaboração do projeto executivo respectivo, nele incluídas as consequentes modificações no sistema de drenagem da rua Domingos Jorge Velho, cujas águas em parte são direcionadas atualmente para o rio através da rua Cedro. Em termos definitivos, a solução recomendada para essa região passa pela remoção de toda e qualquer edificação existente externamente ao dique e ao seu muro de alteamento, e a utilização da área assim desimpedida, por exemplo, como um espaço de lazer ou mirante panorâmico, sem instalações ou equipamentos públicos capazes de interferirem com o fluxo nas cheias importantes ou serem por ele danificados.

Em resumo, pode-se verificar que, no período transcorrido entre a inspeção de 2006 e a atual, as condições do contorno hidráulico, referentes à margem esquerda do rio Poti e respectivo dique, para o trânsito de cheias, não se deterioraram e, devido às intervenções de proteção e uniformização de taludes executadas, tiveram a rugosidade média dos respectivos trechos de margem até melhorada. O ponto destoante e mais relevante, naturalmente, foi a não conclusão do muro de alteamento acima comentado.

Com relação ao restante da calha e margem oposta, inclusive onde já havia ocorrido erosão localizada nessa margem, não se observou qualquer modificação digna de nota no período. Desta forma, constatou-se que as condições de seção hidráulica para passagem das cheias no rio Poti, no trecho de interesse do Programa, continuam similares às de então.

Cabe finalmente discutir-se um pouco mais o tema “ocupação” dos taludes dos diques, margens e calhas secundárias (ou planícies de inundação) desses rios, com base nas observações feitas e na legislação vigente sobre o assunto, mas tendo em conta as particularidades dos mesmos.

Existe, hoje, uma ampla legislação nas três esferas do poder público que trata do uso e ocupação das áreas marginais dos cursos de água, estabelecendo critérios, regulamentos e limitações, em geral associadas à importância ambiental das referidas áreas (ou faixas de margens) e ao porte ou dimensões dos próprios cursos de água. No caso específico dos rios e no âmbito federal podem-se citar o pioneiro Decreto Federal Nº 24.643/1934 (Código de Águas), a Lei Nº 4.771/1965 (Código Florestal), atualizada, entre outras, pelas Leis Nº 7.511/1986 e Nº 7.803/1989, a Lei Nº 6938/1981 (que atribuiu responsabilidades afins ao IBAMA), o Decreto Federal Nº 89.336/1984 e a Resolução CONAMA 004/1985 (que definiram ou ampliaram conceitos sobre a ocupação e a preservação e fixaram regras sobre Áreas de Relevância Ambiental), as Resoluções CONAMA nº 303 e 302/2002 (que revogaram parte da resolução Nº 004/1985), a Resolução CONAMA Nº 369/2006 (que regulamenta artigos da Lei 4.771/1965, dispondo sobre casos excepcionais de “utilidade pública” e possibilitando a intervenção em Áreas de Preservação Ambiental/APP's), entre outras.

No caso específico dos rios Parnaíba e Poti, cabe mencionar e comentar a Lei Complementar Nº 4.724/2015, da PMT, que estabelece como **Áreas Não Edificáveis** aquelas passíveis de serem inundadas por cheias com tempos de recorrência iguais ou inferiores a **10 anos** e **Áreas com Restrição de Ocupação** aquelas sob risco de inundação para cheias entre **10 e 100 anos**. Seu **Artigo 3º** estabelece que edificações localizadas na primeira dessas áreas sejam relocadas ou seus proprietários adquiram um seguro contra enchentes ou, ainda, realizem obras contra enchentes que assegurem perdas mínimas, a critério de Secretaria da própria PMT (SEMDUH, no caso). Ou seja, infelizmente, mesmo esta lei não impede as ocupações em determinada faixa inundável das margens dos rios e, ao contrário, de certa forma as oficializa, desde que os proprietários atendam às alternativas de disporem de seguro ou realizarem obras que minimizem as próprias perdas. Em geral não fica claro na

legislação específica uma distinção entre os conceitos de “interesse público” e “utilidade pública” que, a nosso ver, deveria ser explicitado, uma vez que o primeiro desses conceitos poderia servir de suporte jurídico mais eficaz às desapropriações pelo ente público, nos casos em que a ocupação não afete apenas a própria segurança do envolvido, mas também a de terceiros (os residentes na área interna aos diques, no caso presente).

Entende-se ser difícil a aplicação dessa norma municipal em locais onde a quantidade de edificações ultrapassa determinado valor, pelo provável vulto dos recursos demandados da administração pública para consecução das relocações, ou pela impossibilidade financeira dos envolvidos que se recusarem a ser relocados, nos casos em que estes (proprietários das moradias) forem cidadãos de baixa renda; o que pode levar, às vezes, à judicialização do problema, mesmo em se tratando de ação de interesse público e de segurança dos próprios envolvidos e suas famílias. Apesar disso, considera-se que a norma em questão é bastante razoável e aplicável às áreas marginais dos cursos de água naturais, canais e lagoas do sistema de macrodrenagem da região interna, protegida pelos diques.

Com relação às áreas externas, entretanto, é importante ressaltar que sobre as margens dos rios Parnaíba e Poti estão localizados os respectivos diques e que os mesmos, em caso de transbordamento numa cheia excepcional, podem permitir a entrada para a enorme área urbana por eles protegida de um volume de água incompatível com a capacidade de acumulação/absorção das lagoas e demais regiões baixas e com a capacidade de bombeamento das estações elevatórias existentes, afetando e pondo em risco uma grande parcela de sua população. Além disso, numa situação de cheia excepcional, a própria integridade dos diques poderia ficar comprometida, independentemente de um eventual galgamento, chegando a uma ruptura de consequências catastróficas; principalmente se construções e outras intervenções associadas a ocupações descontroladas a potencializassem. Nos casos normais dos rios de certo porte e regime, em que as áreas marginais habitadas não possuem diques, a elevação e a chegada das águas às mesmas ocorrem de modo relativamente gradual, dando tempo pelo menos para a evacuação das populações envolvidas com alguma antecedência. Os diques são eficientes estruturas de proteção contra inundações que, para exercerem sua função, necessitam ser também protegidos.

Assim, considera-se que, no caso presente, o tratamento a ser dado às ocupações marginais e, principalmente àquelas sobre e junto aos diques (tanto do rio Parnaíba quanto do rio Poti), deva ser mais rigoroso do que o previsto não só nas leis e resoluções federais citadas (em geral aplicáveis a regiões em estágio inicial de expansão da ocupação urbana ou agrícola, por exemplo, ou que envolvam sistemas naturais, ambientalmente relevantes, a serem preservados), mas também na própria Lei municipal acima mencionada, pois as suas consequências numa região densamente povoada tendem a ser maiores.

Desta forma, levando em conta os aspectos acima discutidos, o Painel concorda com o traçado proposto para as obras de ampliação/duplicação da Avenida Boa Esperança, que prevê remoção compulsória de edificações e moradias hoje situadas sobre o dique do Parnaíba, entre seu coroamento e a margem do rio, assim como com a utilização integrada da lateral da nova avenida com passeios, ciclovias e faixas de lazer, hidráulica e ambientalmente não impactantes. Esta concepção inibe a utilização e a expansão indevida e descontrolada do restante dessa margem, com edificações e moradias, facilitando o controle das condições de segurança contra inundação da área urbana abrigada pelos diques.

Assim, por razões hidráulicas e ambientais, recomenda-se descartar um eventual estudo alternativo de traçado da duplicação, discutido durante a inspeção, que

envolveria a hipótese de uma das pistas de rolamento avançar na direção do rio, contornando e preservando as edificações marginais hoje situadas entre a avenida e o rio. Pelo contrário, por todas as razões comentadas ao longo deste relatório, o Painel manifesta sua opinião de que devem ser evitados avanços, de qualquer natureza, sobre as estruturas dos diques e sobre as margens ou calhas secundárias dos rios Parnaíba e Poti.

5. GEOTECNIA

O escopo dos estudos geotécnico incluídos nos Termos de Referência do Painel de Consultores inclui:

- a) Avaliação das condições atuais dos Diques Parnaíba e Poti;
- b) Análise do Projeto executivo de ampliação do Dique Parnaíba/duplicação da Avenida Boa Esperança; em especial:
 - Análise dos critérios de projeto e métodos de dimensionamento utilizados;
 - Análise dos desenhos do projeto e especificações, relatórios de projeto;
 - As condições geológico-geotécnicas de execução dos projetos
- c) Análise das condições atuais de ocupação dos diques e a necessidade de relocação/remanejamento de edificações e população;
- d) Recomendações técnicas para a fase de execução dos projetos (obras)
- e) Análise da área de aterro previsto no trecho norte da Lagoa dos Oleiros / Parque Encontro dos Rios;

5.1 - Avaliação das condições atuais dos Diques Parnaíba e Poti, incluindo as de ocupação, e da necessidade de relocação/remanejamento de edificações e população

Esse tema envolve não apenas uma avaliação técnica, mas uma avaliação social, posto que as famílias já se encontram estabelecidas sobre e à montante dos diques, com o desenvolvimento de atividades comerciais (plantações de hortaliças e temperos, lojas e etc.); em especial no caso do Dique do Parnaíba, onde serão necessárias desapropriações e reassentamentos para permitir a duplicação da Avenida Boa esperança. Esse assunto deve ser tratado em outro fórum de discussão.

Do ponto de vista geotécnico é evidente que uma obra de contenção de cheias, executado com solo, corre riscos significativos quando ocupados por construções. Isso se deve porque diques de proteção, como esses sob avaliação, devem ser estanques. As construções feitas sobre os diques necessariamente implicam na execução de escavações para diversas finalidades, incluindo as fundações das edificações. Adicionalmente, a presença de vegetação com raízes, principalmente aquelas que se desenvolvem lateralmente e em profundidade (ver Figuras 4 e 6) representam pontos de enfraquecimento do dique no quesito estanqueidade.

Ocorre que essa redução na estanqueidade pode, a médio e longo prazo, após seguidas inundações da região de montante, levar a passagem de água no interior do dique, com formação, ao longo desses enfraquecimentos, de um fenômeno conhecido como “piping” ou “entubamento”.

Esse fenômeno se desenvolve pela percolação de água pelo solo (evento normal). Porém, a presença dessas anomalias na massa de solo leva ao carreamento de partículas pelo fluxo de água. Quando esse carreamento atinge a face de jusante do dique, forma um “tubo”, permitindo a passagem de água livremente. À medida que o fluxo de água se desenvolve por esse “tubo”, o seu diâmetro vai aumentando, ainda por carreamento de grãos do solo, até que ocorre o “brechamento” ou “arrombamento” do barramento.

A identificação desse fenômeno em diques de contenção como os ora em discussão não é simples. Se ocorrer e quando ocorrer, virá sem aviso prévio.

Por essa razão, é fundamental que se evite toda e qualquer ação que corrobore com a formação do “piping”. Isso inclui o controle sobre a ocupação, o tipo de proteção a ser utilizada nos taludes dos diques e a frequente manutenção dos taludes das margens dos rios, evitando que os sucessivos escorregamentos se aproximem dos diques.

5.2 – Análise do projeto de duplicação da Av. Boa Esperança

O projeto de duplicação do dique e da avenida foi desenvolvido pela empresa MPB Engenharia.

O projeto geotécnico apresentado é de boa qualidade e contempla todos os aspectos relevantes a uma execução segura das obras a serem realizadas. De forma a colaborar com aspectos tanto conceituais como construtivo, a seguir estão apresentados alguns aspectos para consideração da equipe da projetista e dos gestores das obras.

a) Investigações geotécnicas

A quantidade de sondagens realizadas para a elaboração do projeto executivo parece insuficiente. Foram executadas 20 sondagens a percussão com determinação do SPT, para a implantação da nova avenida. Essas sondagens estão distribuídas conforme Tabelas abaixo (extraídas do **Relatório de Projeto Executivo Parcial Av. B. Esperança Lagoa Oleiros A**, datado de abril de 2015). Entretanto, o desenho DE-13017-PLD-URB-TOP-054-0, de outubro de 2015 apresenta uma tabela com a locação de 25 furos, dos quais apenas o SP-21 não foi executado.

Nome da Via	Trecho da Via	Extensão do Trecho (m)	SONDAGEM SPT
Rua Almirante Tamandaré	Entre a Av. Santos Dumont e a Rua Minas Gerais	1.328,55	1 furo SPT 01
Avenida Campo Maior	Entre a Rua Anísio Pires e a Rua Rui Barbosa	2.115,93	3 furos SPT 02
Avenida Campo Maior	Prolongamento da Avenida Campo Maior a partir da Rua Anísio Pires até a Rua Técnico Joaquim Soares, com segmento novo ladeando a Lagoa do Jacaré (fundo de lotes)	600,00	SPT 03 SPT 04
Rua Pedro Brito	Entre a Av. Campo Maior e a interseção da Rua Radialista Jim Borralho com a Av. Campo Maior, passando pela Lagoa do Pantanal (fundos de lotes)	1.081,51	1 furo SPT 05
Rua Jornalista Jim Borralho	Entre o final do pavimento da Rua Jornalista Jim Borralho e a Av. Campo Maior (parte é segmento virgem passando pelos fundos de lotes das	320,00	1 furo SPT 06

Nome da Via	Trecho da Via	Extensão do Trecho (m)	SONDAGEM SPT
	Lagoas Mazerine e Pantanal)		
Rua Rui Barbosa	Entre a Alameda Domingos Mafrense e a Rua Anísio Pires	1.443,85	2 furos SPT 07 SPT 08
Rua Manoel Aguiar Filho	Ligação entre as Ruas Desembargador Flávio Furtado e Jim Borralho	2.116,68	3 furos SPT 09 SPT 10 SPT 11
Rua Santa Helena	Entre a Rua Rui Barbosa e a Alameda Mestre João Isidoro França, abrangendo a Lagoa do Jacaré (fundos de lotes)	1.000,00	1 furo SPT 12
Rua Técnico Joaquim Soares	Entre a Rua Rui Barbosa e a Alameda Mestre João Isidoro França	995,00	-
Avenida Boa Esperança	Entre a Rua Minas Gerais e a Rua Flávio Furtado. Duplicação localizada sobre o Dique Rio Parnaíba, sentido sul-norte, entre as Áreas 1 e 2	3.971,77	6 furos SPT 13 SPT 14 SPT 15 SPT 16 SPT 17 SPT 18
Rua Mário Augusto Freitas	Entre a Rua Manoel Aguiar e a Rua João Isidoro França	666,02	-
Rua Flávio Furtado	Entre a Av. Boa Esperança e a Rua João Isidoro França	1.128,39	-
Rua Nonato Mesquita	Da Rua Nonato Mesquita, próximo a esquina com a Rua Canto do Buriti e a Rua Roland Jacob, passando pela Lagoa Poty 2 (fundos de lotes), até a Alameda Mestre João Isidoro França	330,00	1 furo SPT 19
Rua Anísio Pereira	Entre as Ruas João Henrique Rebelo e Gabriel Dionísio	650,00	-
Rotatória	Interligando a Rua Domingos Mafrense, a Alameda Mestre João Isidoro França, a Rua Técnico Joaquim Soares e o Prolongamento da Avenida Campo Maior, abrangendo a Lagoa do Jacaré	800,00	1 furo SPT 20
TOTAIS		18.547,70	20 sondagens tipo

Nome da Via	Trecho da Via	Extensão do Trecho (m)	SONDAGEM SPT
			SPT

Infelizmente essa Tabela não faz menção às Estacas, dificultando a correlação com os locais dos furos.

Observa-se que existem trechos com mais de 1000m sem nem uma sondagem.

Com a citada quantidade de sondagens, os perfis geotécnicos apresentados no projeto executivo mostram interpolações e extrapolações muito extensas que podem levar a erros de interpretação.

É certo que foi realizado um estudo geológico da região, por profissionais de ampla experiência com a geologia local. É também sabido que foram realizados outros tantos furos a trado, com profundidade que atingiu até 5,0m. Entretanto, esses estudos não fornecem qualquer informação que permita definir as características geomecânicas dos materiais de fundação. Assim, para fins de definição de comportamento, o que existe são 14 sondagens com determinação do SPT. Essa quantidade para a extensão da obra, parece insuficiente.

A razão para considerar insuficiente se pauta no fato de que a região em estudo é formada por materiais sedimentares, dentro de uma área de macrodrenagem natural. Algumas sondagens encontraram o impenetrável a percussão com 5m e outras com 10m. Não há como garantir que esse impenetrável não possa se encontrar a profundidades superiores em locais não sondados.

Obviamente, geologia é a arte da interpolação e extrapolação, fundamentada no conhecimento da região, associada a investigações específicas. Entretanto, por mais experiente que os profissionais sejam, fatores imprevisíveis podem ocorrer, gerando risco para as obras. Isso deve ser minimizado (não há como eliminar), com uma campanha de investigações mais completa.

Como regra a ser adotada na definição da campanha complementar, dois aspectos devem ser levados em conta: deverão ser feitas sondagens nas seções mais críticas e não se deve ter trechos de aterros sobre material compressível com mais de 250 a 300m sem sondagem.

Após a apresentação da sugestão acima, foi decidido realizar uma campanha complementar, cobrindo apenas as regiões da duplicação que apresentam alturas de aterro superiores a 2 ou 3 metros. Nas demais regiões, onde os aterros são inferiores a 1m, considerou-se desnecessário densificar as sondagens.

A avaliação das sondagens, incluindo as novas sondagens (designadas nos perfis recebidos como SP-01 a SP-04), aqui designadas SP-01N a SP-04N para não confundir com as anteriores, mostra o seguinte resultado:

DE	ATÉ	SP-01N	SP-02N	SP-16	SP-03N	SP-17	SP-25	SP-04N	SP-18	SP-22
0,00	0,45	6	0	-	7	-	-	7	-	-
1,00	1,45	13	6	5	10	22	33	16	6	2
2,00	2,45	6	3	8	21	16	26	12	6	2
3,00	3,45	27	13	12	33	16	17	17	11	10
4,00	4,45	22	7	16		50	19	44	50	4
5,00	5,45	18	11	10			50	50		6
6,00	6,45	14	21	10						7
7,00	7,45	12	14	10						50
8,00	8,45	50	35	12						
9,00	9,45		50	35						
10,00	10,45			39						

	AREIA		SILTE
	ARGILA		SILTE ARGILOSO/ARGILA SILTOSA
	MOLE		SP-XXN SONDAGEM COMPLEMENTAR

O que se observa é que, com base nessa avaliação, não há camadas de argila mole ao longo do trecho de duplicação da Av. Boa Esperança nos trechos onde os aterros tem alturas mais significativas.

b) Análises de estabilidade

O projeto apresenta um estudo de altura crítica dos aterros sobre solos moles, com valores de S_u (resistência não drenada) de 9 kPa (item 7.5.1, pág.152 do **Relatório de Projeto Executivo Parcial Av B Esperança Lago Oleiros A**). Não foi encontrada justificativa para o valor adotado ao longo do relatório.

No item 6.4.5.1.1 Análise dos Resultados das Sondagens SPT, está apresentada uma Tabela (Tabela 19, pág. 72) onde estão mostradas as descrições dos materiais encontrados nas sondagens SPT. A descrição de 90% dos materiais não mostra argilas moles que mereçam um valor de resistência não drenada a magnitude proposta. A grande maioria dos materiais é descrito como silte argiloso ou argila siltosa com SPT sempre superior a 2 golpes e, na maioria das vezes, acima de 4 a 6 golpes. Apenas os furos SP-11 e SP-22, dentre os descritos na referida Tabela merecem a denominação de argila siltosa mole.

Os materiais com as descrições mostradas na Tabela devem ter resistência não drenada superior a 15kPa, podendo atingir até 20kPa. O valor adotado seria típico de argilas marinhas muito moles, plásticas, orgânicas ou mesmo turfosas.

Adicionalmente, o cálculo da altura crítica é aplicável aos casos de fundação homogênea (apenas uma camada), utilizando-se um valor médio da resistência não drenada. Nessa medida, a determinação da altura crítica, como apresentada, não traz informação relevante.

As análises de estabilidade foram feitas para os trechos onde a altura do aterro superou a altura crítica. Foram avaliados que apenas três segmentos se incluíam nesse caso. Para esses casos, foi feita uma análise de estabilidade utilizando parâmetros da Tabela 47, abaixo reproduzida:

Tabela 1: Parâmetros dos Materiais Utilizados na Análise com Slope/W

Utilização	Ângulo de Atrito (°)	Peso Específico Natural (kN/m³)	Coesão (kN/m²)
Diques/Aterro	20	18	5
Berma de Equilíbrio	20	18	5
Argila Nspt < 6 golpes	0	15	8
Argila Nspt > 6 golpes	0	15	15
Areia Inferior	28	19	0

Essa Tabela mostra parâmetros diferentes daqueles utilizados na determinação da altura crítica e, para as argilas com SPT<6, ainda menor do que o valor adotado na análise anterior (8 kPa). Aqui também não foram encontradas as origens dos parâmetros utilizados.

Os modelos geomecânicos apresentados (por exemplo na Figura 48) não indicam quais foram as sondagens utilizadas para definir os materiais e as espessuras das camadas. Isso vale para todos os modelos utilizados.

Ainda como observação, não foram feitas análises de superfícies planares. Isso é particularmente importante no trecho entre os km 601+150 a 601+300, onde as camadas do material de fundação não são horizontais.

Assim, explicações dos estudos deveriam ser mais completas, permitindo que o avaliador entendesse a origem das informações. Como apresentadas as análises não permitem uma avaliação crítica.

Entretanto, com base na experiência e na avaliação dos materiais de fundação, tipicamente solos de consistência média a rija, e considerando as alturas dos aterros, não são esperados problemas de estabilidade. Nessa medida, a utilização de geogrelha poderia ser evitada.

Além da utilização de geogrelha, está proposta solução de substituição dos materiais de baixa resistência por material granular. Essa solução já foi utilizada com frequência, quando era possível conseguir bota-fora para esse tipo de material e era permitido transportar argilas moles dentro das cidades. Caso não haja restrições ambientais do descarte desses materiais, a solução pode ser adotada.

Entretanto, é importante ressaltar que a substituição é uma solução que não permite um controle de qualidade adequado por ser realizada de forma contínua, abaixo do nível d'água e sem possibilidade de se verificar qual foi, de fato, o material obtido. Normalmente trata-se de uma mistura do material natural com o importado, inconsolidado, pois não há como densificar o material abaixo do NA. Assim, o produto final pode, em alguns casos, se assemelhar ao material original, com pouco ganho de qualidade.

As alturas dos aterros são, de um modo geral, baixas e, no nosso entender, não são esperados problemas de estabilidade se os aterros forem executados cuidadosamente, seguindo as indicações do item f) abaixo.

Como mencionado acima e mostrado na avaliação das sondagens, no trecho onde ocorrem aterros com maior altura, as poucas ocorrências de argilas moles são em bolsões de espessuras entre 1 e 2 metros.

Nessa medida a revisão das análises de estabilidade deverá ser feita de forma a completar o projeto executivo e torna-lo mais consistente.

c) Avaliação dos Recalques

Os cálculos de recalque, diferentemente das análises de estabilidade, foram feitos para apenas duas seções.

A formulação da avaliação dos recalques está correta. Entretanto, valem alguns comentários:

- a) Não há justificativa para a adoção dos parâmetros utilizados (C_v , C_c , e_0);
- b) Não está indicada a unidade do valor de C_v ;
- c) Os valores de C_c parecem muito baixos ou o valor do e_0 muito alto pois a relação $C_c/(1+e_0)=0,03$ é extremamente baixa. Com isso, é possível que os recalques estejam subestimados;
- d) A formulação é muito simplificada para uma fundação composta de mais de uma camada. Por mais que os recalques preponderantes sejam aqueles provenientes das deformações da argila mole, os demais materiais também contribuem para o recalque total, mesmo que seja na componente imediata;
- e) Não foi considerada a submersão do material. Como o NA se encontra na superfície do terreno, com o recalque parte do aterro fica submerso e, conseqüentemente contribui com o peso específico submerso e não com o peso específico total. Já foi demonstrado que esse fenômeno é relevante para o caso de grandes deformações. Se os recalques calculados estiverem corretos, esse fator não tem relevância e pode ser desprezado.
- f) Seria interessante apresentar um gráfico de recalques com o tempo.

A ordem de magnitude dos recalques apresentada no relatório precisa ser revista à luz de parâmetros mais realistas.

d) Projeto de Proteção de Taludes

Foi desenvolvido um sistema de proteção dos taludes do dique junto ao rio Poty com utilização de geomanta e hidro-semeadura. Nosso entendimento é que esse tipo de tratamento, se adequadamente executado e utilizando o “munch” de sementes adequado à região (isso deve ser definido por biólogo do fornecedor), essa solução é muito interessante e efetiva.

Ocorre que se pretende aplicar a mesma solução para o trecho submerso. Nesse caso, a experiência mostra que a eficiência é muito reduzida e a relação custo/benefício não justifica.

No nosso entender, a solução que melhor se aplica ao trecho de flutuação do nível do rio ainda é a utilização de gaiolas de aço preenchidas com rocha, tipo gabião-manta ou similar, aplicada sobre geotextil não-tecido.

Essa solução evita a erosão e é extremamente resistente. Deve ser adequadamente dimensionado e preso ao solo por grampos.

Por outro lado, a utilização de sacos de solo-cimento são uma solução muito adequada, mesmo para taludes de maior porte e não apenas para cobrir pequenas erosões abaixo da geomanta.

e) Análise dos desenhos do projeto

Os desenhos de projeto estão adequadamente apresentados, em escalas que permitem a perfeita visualização dos projetos.

Como único comentário cabível, com relação aos desenhos geotécnicos, recomenda-se a compatibilização das informações pois para analisar uma sondagem precisa-se usar três documentos: um de locação das sondagens em planta, outro para obter a posição exata (km ou estaca) e, finalmente, o boletim da sondagem. Idealmente seria recomendável que fosse feito em um único desenho.

Como exemplo, o desenho DE-13017-PLD-URB-TOP-054-0, apresenta a locação das sondagens em planta. Nesse desenho existe uma Tabela de locação dos furos, por coordenadas UTM. Entretanto, o desenho não mostra a malha de coordenadas. Por outro lado, nesse desenho não constam as estacas ou os km.

Nos boletins de sondagem só constam as coordenadas UTM mas não constam a posição da seção por km.

Então, para se saber qual é o furo de sondagem que deveria ser usado numa determinada seção, cuja indicação é por km (exemplo, uma seção de análise de estabilidade) é necessário encontrar a posição da seção numa planta que indique os km, localizar na planta de locação dos furos de sondagem qual é o furo mais próximo da seção para só então ver o boletim correspondente.

Deveria existir um desenho, com coordenadas UTM, marcação dos km e a locação das sondagens. Isso facilita o manuseio das informações.

f) Recomendações técnicas para a fase de execução dos projetos (obras)

As recomendações para a fase de execução, seguem os preceitos básicos e fundamentais para quaisquer projetos de terraplenagem sobre solos compressíveis e de baixa resistência:

- Executar o aterro em camadas de no máximo 30cm de material fofo, espalhando com equipamentos de pequeno porte e compactando;

- Jamais fazer grandes pilhas de material nos locais de aterro. Os caminhões devem descarregar o material de aterro e, imediatamente a pilha deve ser espalhada;

- Todos os aterros devem ser acompanhados por instrumentação geotécnica. A instrumentação deve ser simples, utilizando equipamentos de fácil leitura e interpretação. Recomenda-se o uso de placas de recalque no corpo do aterro, marcos de recalque na saída dos aterros e tubos de inclinômetro onde se julgar que poderão ocorrer instabilidades. Os instrumentos devem ser instalados em seções instrumentadas e devem ser lidos sistematicamente;

- Os instrumentos devem ser a forma de se verificar se os aterros estão estáveis, se a construção deve ser temporariamente paralisada e se o adensamento já está concluído;

- Todos os aterros sobre argilas moles devem ser executados com uma sobrecarga para pré adensar o material de fundação, minimizando os riscos de recalques por adensamento em função da carga do tráfego. Essa sobrecarga deve

ser de cerca de 1,20 a 1,50m de aterro. Após a conclusão dos recalques por adensamento essa sobrecarga é retirada e o pavimento executado;

- Aterros de qualquer natureza iniciados com o terreno abaixo do nível freático devem ser executados com “aterro de ponta”, executado com material granular.

Entretanto, como acima mencionado, ou os aterros são muito baixos onde podem ocorrer solos moles ou os aterros são de maior magnitude, mas não se registraram nas sondagens presença de solos moles. Assis as recomendações com os cuidados podem ser revistas.

Não se está afirmando que os aterros não devam ser feitos com cautela. Porém não se vê a necessidade dos cuidados necessários quando os aterros são altos sobre camadas expressivas de argilas mole.

g) Análise da área de aterro previsto no trecho norte da Lagoa dos Oleiros / Parque Encontro dos Rios

Esse aterro não apresenta dificuldades que puderam ser avaliadas no material recebido ou na visita técnica.

h) Outros assuntos relevantes

Alguns assuntos foram motivo de discussão durante a visita técnica e estão aqui relatados.

h.1 - Os taludes, tanto do rio Parnaíba quanto do rio Poty, são extremamente íngremes (ver Figuras 9.5, 9.18 a 9.20, 9.22 e 9.32) e estão, em alguns locais, cobertos de lixo (ver Figura 9.31) e apresentam claras evidências de ravinamento (ver Figura 9.34);

Esse problema deve ser focado pontualmente, nos casos em que ocorrer e apresentarem relevância para o projeto. Com relação ao acúmulo de lixo, uma ação social, mostrando as desvantagens de se lançar lixo de forma descontrolada é sempre válida.

h.2 - Há evidências de que os processos erosivos nos taludes íngremes das margens dos rios, estão causando escorregamentos das margens no rio Parnaíba (ver Figura 9.35) e nas margens do rio Poty (ver Figura 9.22) onde alguns taludes já foram recuperados;

Esse assunto foi discutido no relatório da MPB e há comentários nesse relatório.

h.3 - A duplicação da Av. Boa Esperança passará sobre os dutos de descarga de água da estação de bombeamento do Oleiros (ver Figura 9.12);

Esse assunto foi motivo de discussão durante a visita técnica e várias opções foram propostas pelas partes. O cerne da discussão está no fato de que os dutos terão que ser adequadamente apoiados pois receberão cargas não previstas no projeto dos dutos propriamente. A execução de uma laje de apoio talvez fosse a forma mais segura. Há outras alternativas que precisam ser detalhadas.

h.4 - Parte da duplicação da Av. Boa Esperança será sobre solos moles e parte sobre áreas inundadas

Esse assunto ocupou a maior parte do presente relatório e é, junto com a ocupação desordenada do dique atual, as duas fontes de maior preocupação em relação ao projeto.

As principais recomendações seriam: completar a campanha de investigação, refazer as análises de estabilidade com as sobrecargas e com parâmetros mais bem

justificados (se os parâmetros utilizados forem os corretos, apenas justificar e indicar as fontes), rever os estudos de recalque e propor um sistema de instrumentação geotécnica.

5.3 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

São as seguintes as conclusões que se pode aferir da visita técnica e da avaliação dos documentos disponibilizados:

- a) O dique de proteção do rio Parnaíba, mesmo com a ocupação desordenada, não mostra sinais de instabilidade ou erosões que possam comprometer sua estabilidade, em função da distância do dique à margem do rio;
- b) O dique de proteção do rio Poty mostra processos erosivos que devem ser combatidos;
- c) O projeto de duplicação da Av. Boa Esperança e de duplicação do dique do rio Parnaíba é bastante completo e aborda todos os tópicos relevantes;
- d) Os projetos de recuperação do dique do rio Poty são adequados;
- e) Não há nada no material disponibilizado que inviabilize as obras previstas, particularmente por se tratarem de aterro de baixa altura e, de um modo geral, sobre materiais de qualidade não muito baixa.
- f) Os diques dos rios Parnaíba e Poty não se enquadram nas leis sobre segurança de barragens, como abaixo discutido.

Apesar das conclusões acima mencionadas, estão apresentadas abaixo algumas recomendações. Consideramos que essas recomendações darão mais consistência ao projeto de modo a permitir a confirmação das conclusões acima e, portanto, no nosso entender, são de fundamental importância para garantir a confiabilidade das análises e das conclusões acima:

a) Os projetos geotécnicos disponibilizados são completos e abordam todos os assuntos relevantes. De forma a colaborar para um melhor detalhamento do projeto, apresentamos abaixo algumas recomendações:

- Detalhar os modelos geomecânicos indicando as sondagens que deram origem aos perfis geotécnicos e a fonte dos parâmetros. Isso vale para os estudos de estabilidade e recalques;

- Considerar a possibilidade de eliminar todos os dispositivos de aumento da resistência do solo de fundação em função da baixa altura dos aterros ou a inexistência de solos moles onde os aterros são mais altos;

- Rever todos os estudos de estabilidade e recalques;

Rever as recomendações das técnicas de recuperação da fundação (bermas, geogrelha, etc);

- Reavaliar a utilização de biomanta na zona de flutuação sistemática do nível d'água nos taludes do dique do rio Poty;

- Rever os desenhos de geotécnica conforme discutido no relatório.

b) Com relação ao atendimento à legislação vigente, a Lei 12.334/10 aplica-se aos seguintes casos:

Parágrafo Único - Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6o.

Nossos diques não se enquadram em nenhuma dessas categorias.

c) Recomendam-se os seguintes procedimentos para melhorar o acompanhamento das situações de risco que possam ocorrer nos diques:

c.1 - Manter pontos de monitoramento de recalques ao longo de todo o dique. Esses pontos devem estar estrategicamente localizados e ter quantidade suficiente para garantir a representatividade do monitoramento;

c.2 - Em algumas seções críticas poderão ser instalados inclinômetros para monitorar eventuais potenciais escorregamentos;

c.3 - Fazer vistoria ao longo de todo o dique anotando pontos críticos e criando uma planilha de “níveis de risco”, que pode variar de 0 (zero) a 5 (cinco) onde 5 seria risco muito alto e 0 seria sem risco. Essa vistoria deve indicar o local inspecionado, o problema observado (erosão, nova ocupação, trincamento, acúmulo de lixo, etc) e avaliado um grau de risco. Cada ponto teria uma “ficha”. Todos os pontos avaliados com grau 5 deverão ser motivo de projeto específico de modo a transformá-lo em grau menor de risco. Anualmente os pontos de risco 4 e 3 deverão ser revisitados e a cada 2 anos ou após qualquer grande evento de cheia, todos os pontos deverão ser revisitados.

Essas recomendações deverão ser adaptadas às condições operacionais da Prefeitura.

6. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Os aspectos hidrológicos a serem abordados referem-se ao cálculo das vazões de projeto, utilizadas para o dimensionamento das estações de bombeamento das lagoas e para verificação do nível de proteção dos diques.

Para o cálculo das vazões de projeto, devem ser distinguidas duas situações distintas, que remetem a diferentes abordagens hidrológicas: **(i)** ocorrência de chuva localizada sobre a zona urbana de Teresina, que gera escoamento superficial em direção às lagoas e **(ii)** ocorrência de cheias nos rios Parnaíba e Poti, que define o nível de proteção dos diques contra transbordamento e condiciona a operação das estações de bombeamento das lagoas.

6.1 Enchente na Zona Urbana de Teresina

Para o dimensionamento do sistema de amortecimento de cheias nos reservatórios formados pelas lagoas, foram determinadas as vazões de projeto a partir da aplicação de métodos indiretos de transformação chuva-vazão, empregando modelos matemáticos de simulação hidrológica e hidrodinâmica (UGP Lagoas do Norte, 2014).

Foram determinadas relações IDF – Intensidade-Duração-Frequência para a estação pluviométrica de Teresina, para curtas durações, inferiores a 24 horas, e longas durações variando desde 1 dia a 30 dias.

Para o cálculo das vazões de projeto, foi adotada uma chuva com duração de 5 dias e 25 anos de período de retorno. O sistema formado pela interligação das lagoas foi testado por simulação hidrodinâmica, considerando o bombeamento contínuo de 8,00 m³/s na Estação Elevatória dos Oleiros, conectada à Lagoa dos Oleiros e ao dique do rio Parnaíba/Avenida Boa Esperança.

O critério de projeto adotado está em acordo com metodologias modernas de dimensionamento de bacias de retenção, que incorporam a inércia volumétrica dos reservatórios envolvidos, em compatibilidade com os órgãos de extravasamento, que no caso são as estações de bombeamento. Não se pode afirmar se a duração de 5 dias para a chuva de projeto representa a condição mais crítica para o sistema, pois esse critério foi adotado sem informar se houve pesquisa para outras durações. As simulações e os critérios operacionais das estações de bombeamento, delas decorrentes, consideram curvas cota x volume das lagoas que, para continuarem válidas, dependem de limpeza e manutenção periódicas das mesmas, inclusive quanto à vegetação, assim como de proteção das respectivas margens contra ocupações, aterros, lançamentos de esgoto sanitário, lixo e detritos diversos.

6.2 Enchentes nos Rios Parnaíba e Poti

As enchentes que ocorrem nos rios Parnaíba e Poti são condicionadoras do cálculo das vazões de projeto dos diques de proteção, relacionando-se ao dimensionamento hidrológico das estruturas.

Pesquisando-se sobre os critérios de dimensionamento hidrológicos de diques de proteção contra cheias em áreas urbanas, podem ser feitas as seguintes considerações:

- Os diques projetados e construídos pelo DNOS nas cidades ribeirinhas do rio São Francisco (Pirapora, São Francisco, Januária, Bom Jesus da Lapa, Barra e Petrolina) foram dimensionados para o perfil de escoamento correspondente à cheia de 1979, com uma borda livre de 1,00 m. Até

aquela data, o evento da cheia de 1979 havia sido o maior do histórico de medições, apresentando um período de retorno entre 50 e 100 anos.

- Nos Estados Unidos, tem sido prática a adoção da cheia com período de retorno de 100 anos, com borda livre de 1,00 m. Mais recentemente, alguns estados daquele país têm adotado o período de retorno de 200 anos, mantendo-se sempre a borda livre de 1,00 m (Referência: *“Urban Levee Design Criteria”*, California Department of Water Resources, 2012).
- Também no Canadá, são encontrados critérios de dimensionamento hidrológico para a cheia de 200 anos (Referência: *“Dike Design and Construction Guide – Best Management Practices for British Columbia”*, Ministry of Water, Land & Air Protection, 2003).

Na falta de uma norma específica para o dimensionamento hidrológico de diques no Brasil, pode-se considerar a experiência do extinto DNOS, que tendia a adotar uma cheia com período de retorno de 100 anos, ou a maior observada no histórico das estações fluviométricas com maior extensão de dados.

No caso da proteção da cidade de Teresina, apresenta-se um problema adicional relativo à confluência dos rios Parnaíba e Poti, que se interagem nos respectivos perfis de escoamento e contribuem para o efeito indutor de remanso. Assim, o critério de dimensionamento hidrológico deve incluir as vazões de ambos os rios. Em termos estatísticos, a ocorrência simultânea de cheias com períodos de retorno de 100 anos nos dois rios apresenta uma probabilidade menor que 1%, mas, não necessariamente, seria 0,01% (produto de 1% por 1%), pois os eventos de cheias nas respectivas bacias não são totalmente independentes. Acrescenta-se o fato de o regime hidrológico do rio Parnaíba ser regularizado pela operação do reservatório da UHE Boa Esperança, o que descaracteriza a condição de regime hidrológico natural para a premissa de aleatoriedade intrínseca dos métodos de análise de frequência de cheias.

Assim, o melhor critério de projeto para o dimensionamento hidrológico dos diques seria a determinação das vazões de cheias em uma seção fluvial imediatamente a jusante da confluência. As estações fluviométricas existentes a jusante da confluência, por exemplo a de Luzilândia, estão situadas em uma distância grande o suficiente para que o efeito de trânsito dos hidrogramas de cheias produza o amortecimento das vazões de pico, não representando assim a combinação exata de vazões que ocorre na confluência.

Diante desses questionamentos, está razoável a adoção do evento da cheia de 1985 para o dimensionamento hidrológico dos diques, pois a combinação de vazões na confluência foi a maior do histórico de medição de vazões. Isoladamente, os picos dos hidrogramas das cheias dos rios Parnaíba e Poti apresentaram um período de retorno próximo a 100 anos para o evento de 1985. Essa adoção apresenta-se em conformidade com o critério recomendado nos estudos desenvolvidos pela SEEBLA em 1985, que ainda sugerem a segurança de uma borda livre de 1,50 m em relação aos perfis de escoamento apresentados pela cheia de 1985.

Ao longo do tempo, os estudos de análise de frequência de cheias dos rios Parnaíba e Poti apresentaram resultados distintos, em função das séries de dados utilizadas e de alterações nas curvas-chaves das estações fluviométricas de referência. A Tabela 6.1 lista os valores apresentados nos estudos dos Consultores no 1º Painel (2006) e da CONCREMAT (2012), comparativamente com os registros da cheia de 1985 armazenados no banco de dados da ANA – Agência Nacional de Águas.

Tabela 6.1 – Picos das cheias de projeto.

EVENTO	RIO PARNAÍBA (m³/s)	RIO POTI (m³/s)
Cheia 1985	4261	3939
Cheia TR=100 anos (1)	5482	4536
Cheia TR=100 anos (2)	4771	4494

(1) Conforme relatório dos Consultores no 1º Painel (2006)

(2) Conforme estudos da CONCREMAT (2012)

Iniciado em 2012 e detalhado em 2015, a CPRM (2015) executou um extenso trabalho de nivelamento de marcas de cheias na cidade de Teresina e de instalação de réguas linimétricas nos trechos fluviais de interesse dos rios Parnaíba e Poti, em conformidade com as recomendações do relatório do 1º Painel de Consultores (2006). Especificamente a jusante da foz do rio Poti, foram instaladas duas seções de referência no rio Parnaíba, nos locais denominados Fazenda São Gonçalo e Fazenda Tamanduá. Quanto às correlações de cotas estabelecidas entre as novas instalações e a estação de Teresina, foi estimada a cota na El. 57,60 m para a cheia com 100 anos de período de retorno, na confluência dos dois rios, valor este bastante inferior ao adotado pela SEECLA (1986) para o perfil da cheia de 1985, que indicava a marca na El. 60,00 m.

Explorando o conceito da importância da soma da vazão dos rios Parnaíba e Poti como condição de contorno dominante a jusante para a simulação dos perfis de escoamento, pode-se estabelecer uma amostra dos máximos anuais de vazões somadas na foz, conforme listado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Amostra dos máximos anuais de vazões na confluência dos rios Parnaíba e Poti

ANO	VAZÃO (m³/s)	ANO	VAZÃO (m³/s)
1982	2297	1995	4073
1983	2678	1996	2690
1984	4193	1999	2295
1985	8164	2000	3016
1986	5028	2001	1836
1987	3227	2002	3508
1988	4708	2003	2635
1990	2791	2004	6446
1992	2415	2005	2526
1993	1352	2006	3975
1994	2365	2007	3344

Na tabela acima, aparece destacado o evento da cheia de 1985, como sendo o maior registrado no histórico. A Figura 6.1 mostra o ajuste da distribuição Log-Normal 2 Parâmetros a essa amostra, indicando que o evento de cheia de 1985 apresenta um período de retorno da ordem de 100 anos.

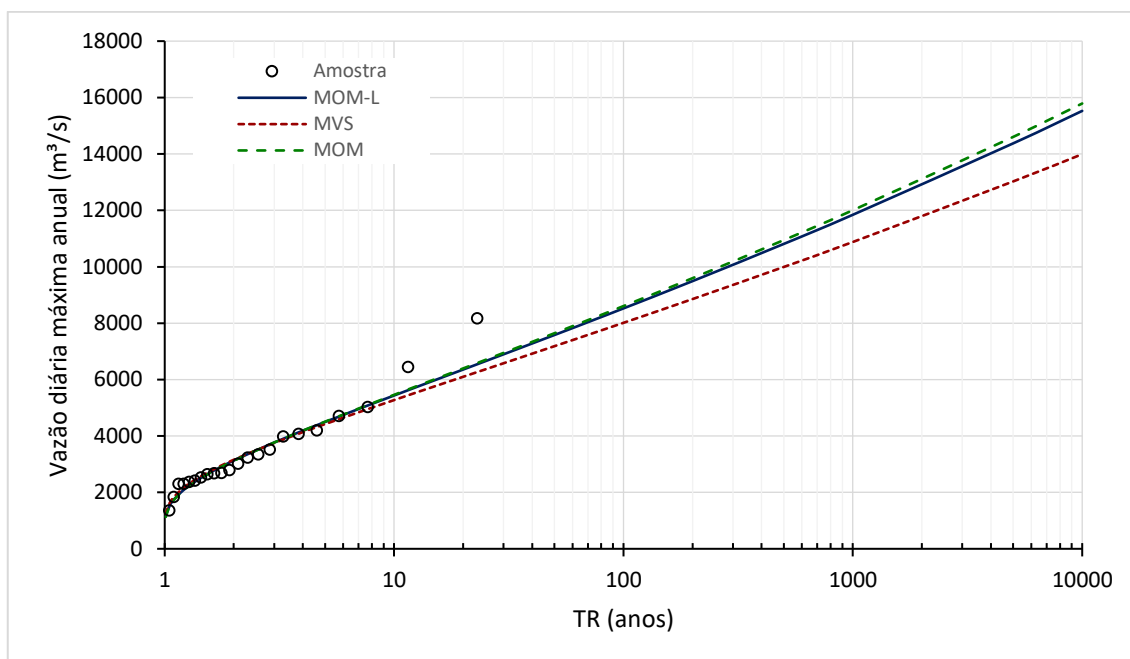


Figura 6.1 – Análise de frequência das vazões de cheias na confluência dos rios Parnaíba e Poti.

Embora os dados de vazão disponíveis no banco HidroWeb da ANA estivessem atualizados somente até o ano de 2007, estima-se que o evento de cheia de 2008 tenha somado uma vazão da ordem de 6500 m³/s na confluência, igualando-se ao evento de 2004. Essa informação elevaria ligeiramente a curva de frequência mostrada na Figura 6.1, mas não alteraria de forma significativa a posição de plotagem da cheia de 1985.

Assim, recomenda-se a adoção do evento da cheia de 1985 como cheia de projeto para verificação da segurança dos diques contra galgamento, mantendo-se o critério dos estudos anteriores da SEEBLA.

Ressalta-se que nos estudos da CONCREMAT (2012), relacionados à simulação dos perfis de escoamento do evento da cheia de 1985, o nível de água na confluência ficou estabelecido na El. 58,20 m, mais próximo do valor estimado pela CPRM.

Nota-se, assim, uma grande diferença, da ordem de 2,00 m, para a estimativa dos perfis de escoamento, quando se consideram eventos de cheias no limiar das condições ideais de verificação da segurança dos diques. Mesmo ressaltando-se que as correlações estabelecidas pela CPRM poderiam não estar incorporando o efeito de transferência de quantidade de movimento na confluência, ainda persistia, nas avaliações do Relatório Preliminar, uma dúvida em relação à condição de contorno a jusante para a simulação hidráulica dos perfis de escoamento.

6.3 Aspectos da Lei de Segurança de Barragens

Conforme comentado no Item anterior, não existe um critério específico para o dimensionamento hidrológico de diques de proteção contra cheias em áreas urbanas no Brasil. A Política Nacional de Segurança de Barragens, estabelecida pela Lei Nº 12.332, de 20.09.2010, aplica-se apenas a obras de barramento destinadas à acumulação de água, nada especificando em relação aos diques, que são obras de proteção que operam apenas durante a ocorrência de cheias e são constituídos por estruturas longitudinais à calha dos rios.

Assim como a lei de segurança de barragens especifica um Plano de Ação de Emergência para o caso de acidentes de rompimento das estruturas, pode-se estabelecer também um plano equivalente para os diques de proteção da cidade de Teresina. O controle operativo exercido pela CHESF na UHE Boa Esperança e os recursos modernos de sensoriamento e previsão do tempo permitem a elaboração de previsões de cheias para os rios Parnaíba e Poti na cidade de Teresina, indicando com antecedência a ocorrência de eventos que possam resultar em galgamento das estruturas e causar inundações nas áreas urbanizadas das Lagoas do Norte. Enfatadamente, recomenda-se a elaboração de um plano de emergência para Teresina; naturalmente precedido de estudos hidrológico-hidráulicos específicos que permitam definir os algoritmos dos modelos de simulação a serem usados nessas previsões.

7. ASPECTOS HIDRÁULICOS

Para a avaliação da segurança dos diques dos rios Parnaíba e Poti, sob o ponto de vista hidráulico, o principal item se refere aos perfis da linha d'água ao longo dos respectivos trechos de rio que devem ser levados em conta para fins do estabelecimento ou verificação das cotas de coroamento dos mesmos, respeitados valores de bordas livres compatíveis com a importância das áreas por eles protegidas e os riscos admissíveis - de galgamento, no caso. Em geral, tais perfis devem ser obtidos por meio de modelagens numéricas unidirecionais da hidráulica fluvial de ambos os rios, mas levando em conta as influências mútuas ao se estabelecerem as condições de contorno respectivas.

Para tanto, é necessário dispor-se de estudos hidrológicos, relativos à definição dos valores de vazão a considerar (ou considerados, se já existentes) em cada um dos rios, até o limite daqueles riscos, assim como da curva chave correspondente a uma seção do rio principal, no caso o Parnaíba, situada a jusante e a distância adequada da confluência. Também é desejável a disponibilidade de curvas-chaves de ambos os rios em seções dos respectivos estirões de interesse, pelo menos de seções próximas às extremidades desses estirões.

Para as modelagens numéricas, por sua vez, são necessários dados de campo, básicos, em quantidade e qualidade suficientes para que o modelo utilizado seja representativo dos estirões de rios simulados e, por consequência, as extrapolações para situações hidrológicas extremas como as de projeto tenham confiabilidade adequada. Esses dados são seções topobatimétricas transversais aos cursos dos rios, de espaçamento médio estabelecido em função das características geomorfológicas de cada um dos estirões de interesse ao estudo, de singularidades relevantes destes, tais como curvas e estrangulamentos naturais ou artificiais (cabeceiras de pontes e aterros), alargamentos, ilhas, cobertura vegetal, ocupações e usos das margens e, também, dados de níveis de água em pontos ao longo dos mesmos. Esses últimos, para permitirem a calibragem dos modelos, que consiste na reprodução de valores de cotas de nível de água correspondentes a períodos convenientes da série histórica de vazões em que tenham ocorrido eventos críticos de cheias. Tal calibragem é realizada por meio de ajustes de parâmetros empíricos (estimados com base nos demais dados e observações de campo), como coeficientes de rugosidade, perdas por expansão, contração, curvas, etc.

No relatório de 2006, o Painel destacava que os dados então disponíveis sobre níveis de cheia nesses rios, na área de interesse, eram um resumo de informações relacionadas à cheia de 1985 (compiladas de documentos fornecidos aos consultores e nem sempre coincidentes) e ao projeto do dique (relatório da SEEBLA, de outubro de 1985, referente a estudo de determinação das cotas de crista dos diques em questão). Este último documento indicava ter sido considerada como condição de contorno na confluência o nível de água na cota 60,00, a partir do qual foram determinados perfis de linha d'água, no rio Parnaíba, entre aquela cota e a cota 60,50 (correspondente a uma seção do rio localizada 5,0km a montante) e, no rio Poti, cotas 60,00 na foz, 60,60 em seção situada 2,0km a montante e 61,30 em outra localizada a 5,5km da foz. Admitindo borda livre de 1,50m, no documento eram recomendadas cotas de crista de 61,50 a 62,00 no rio Parnaíba e 61,50 a 62,80 no rio Poti, nos extremos dos trechos mencionados.

Destaca-se que a obtenção dos citados perfis pode ser considerada como tendo sido realizada de forma um tanto simplificada, principalmente no tocante aos dados básicos, provavelmente devido a alguma limitação de tempo, nas circunstâncias (logo após a cheia excepcional de 1985), para a realização dos levantamentos e estudos necessários à elaboração do projeto das obras do dique do rio Poti. Deixando de se

avaliar aqui os valores das vazões das cheias e respectivos tempos de recorrência, comentados no capítulo anterior, verificou-se que as seções transversais básicas eram simplificadas, pois não reproduziam as naturais irregularidades de fundo das calhas (ilhas, depressões, etc.), além de ser relativamente pequeno o número delas, quando comparado às extensões dos estirões de rio considerados, à razoável variabilidade de fundo das calhas e à existência, em ambos, de algumas singularidades, principalmente pontes e seus encontros, não caracterizadas. Mesmo com o modelo de simulação interpolando automaticamente seções a partir das levantadas no campo, para atender às necessidades de convergência numérica dos cálculos, essa deficiência não deve ser desconsiderada ao se avaliar seus resultados.

Por outro lado, à época não se tinha um perfil topográfico longitudinal e atualizado do dique do rio Parnaíba, construído pelo DNOS na década de 70, que permitisse dirimir as dúvidas geradas pelos diferentes valores de cotas de crista a eles atribuídos nos documentos então disponibilizados e que também pudesse ser comparado com os respectivos perfis de linha d'água do estudo e do proposto para o projeto.

Estes fatos impediram que o Painel, em 2006, efetuasse uma avaliação confiável da segurança dos dois diques quanto a galgamentos, tendo então conduzido às recomendações já mencionadas, primeiro capítulo deste relatório e a seguir resumidas:

- levantamento do perfil longitudinal de ambos os diques em toda a extensão. Na ocasião, o do rio Poti já fora construído pela municipalidade, porém em cotas inferiores às previstas no projeto, não devidamente documentadas;

- levantamento de seções topobatimétricas, com espaçamentos médios de 300 metros, no rio Parnaíba, e de 200 metros, no rio Poti. No primeiro caso, num estirão de rio compreendido entre uma seção localizada a jusante da confluência dos dois rios e o posto fluviométrico Teresina e, no segundo, entre essa confluência e o posto Fazenda Cantinho;

- instalação e operação de três conjuntos de réguas hidrométricas, sendo dois no rio Parnaíba (um na extremidade de jusante do trecho de levantamento batimétrico e outro em ponto intermediário deste mesmo trecho) e um no rio Poti, na região da Ponte Mariano Gayoso Castelo Branco, para apoiar os levantamentos topobatimétricos e permitir a calibragem do modelo;

- revisão dos estudos hidrológicos e de hidráulica fluvial, tendo em vista o tempo transcorrido desde o estudo da SEEBLA e as limitações dos dados nele utilizados, em parte mencionados acima e em parte no capítulo anterior.

Dos documentos agora disponibilizados, verifica-se que os estudos hidrológicos e hidráulicos realizados no âmbito do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina (CONCREMAT, 2012), especialmente mais abrangentes, pelo menos no tocante à hidráulica, em parte, atendem o solicitado pelo Painel em 2006. Especialmente nos aspectos metodologia (utilização do modelo HEC-RAS, do USCE), procedimentos de calibragem, validação e obtenção dos perfis de linha d'água para as vazões máximas das cheias os mesmos podem ser considerados como relativamente consistentes e, nas circunstâncias, satisfatórios. Destaca-se, como atenuante às deficiências apontadas a seguir, que o objetivo desses estudos era servir de referência para o diagnóstico de áreas críticas quanto a inundações na cidade de Teresina, no âmbito de um Plano Diretor, e não especificamente embasar projetos executivos específicos de obras para proteger tais áreas. De qualquer forma os seus resultados são válidos, principalmente levando-se em conta as considerações sobre os aspectos hidrológicos apresentadas na seção anterior e, por isto, levados em consideração nas avaliações desenvolvidas em continuação nesta seção.

Para fins de registro, destaca-se que as principais deficiências nos estudos do Plano Diretor, sob o ponto vista hidráulico, se referem ainda ao espaçamento das seções topobatimétricas nos trechos de interesse para este relatório, em ambos os rios, e, especificamente no rio Parnaíba, a extensão de rio a jusante da foz do rio Poti utilizada nas simulações, que idealmente deveria ser superior aos 1,7 km, além da quantidade de seções neste último trecho (apenas duas foram levantadas). Estes fatos podem ter limitado a precisão e a confiabilidade da condição de contorno de jusante imposta às simulações (nível de partida nos cálculos), pois calcada em maior grau de subjetivismo. Para o estabelecimento dessa condição de contorno foi adotada a equação de Manning, considerando declividade de linha d'água paralela à declividade de fundo média do rio Parnaíba. Como esta, por sua vez, foi estimada a partir de poucas seções no trecho, não necessariamente resulta bem representativa da realidade. Quanto à qualidade das seções, verifica-se que elas retratam com detalhe suficiente as variações altimétricas transversais dos leitos dos dois rios nos locais a que se referem.

Apesar das deficiências apontadas, verifica-se que a qualidade das calibrações dos modelos de ambos os rios pode ser validada em um período selecionado do histórico de vazões dos postos Teresina e Fazenda Cantinho que compreendeu 4 (quatro) eventos hidrológicos significativos (1997, 2004, 2008 e 2009). Nessas simulações foram reproduzidos com boa exatidão as formas e os valores de pico dos hidrogramas desses eventos, indicando com isto poderem ser utilizados os mesmos parâmetros para a obtenção dos perfis de linha d'água nos dois rios, para cheias de tempos de recorrência diversos e, ainda, para uma tentativa de reconstituição do perfil referente ao evento de 1985, com base em marcas desta cheia no rio Parnaíba, no entorno de Teresina. Tendo em vista essa constatação, entende-se que as deficiências apontadas acima em princípio podem ser relevadas, considerando o objetivo da presente avaliação.

Uma comparação entre os níveis calculados (para cheias com recorrências de 2, 5, 10, 50 e 100 anos) e as cotas de coroamento dos diques indicadas nos Anexos 11, 47 e 48 do relatório do Plano Diretor acabou impossibilitada, porque os perfis apresentados nas figuras como sendo longitudinais estão incorretos e não correspondem à realidade; possivelmente referindo-se ao terreno natural original, antes da implantação dos diques. Para exemplificar: o Anexo 11, referente ao Mocambinho/Poti, indica o nível para a cheia de 100 anos variando entre as cotas 58,98 m, na foz, e 60,50 numa seção 5,5km a montante, e cotas do terreno entre 58,15 m e 60,47 m nos mesmos locais; ou seja, trecho de terreno (dique) galgável e sem borda livre nesses pontos. Além disso, há vários trechos intermediários em que o perfil do terreno também não corresponde à realidade, pois a cota indicada para este chega a ser inferior ao nível da cheia de 10 anos (CT=57,01 m / NA=57,77 m) ou até de 2 anos (CT=54,47 m / NA=56,22 m).

No Anexo 47, referente ao trecho do dique do rio Parnaíba correspondente à Avenida Maranhão, são indicados níveis da cheia de 100 anos variando entre as cotas 60,90 m e 62,08 m e cotas do terreno entre 58,47 m e 61,16 m. Também aí caracterizando a vulnerabilidade do terreno a inundações dessa magnitude. Da mesma forma que no caso do rio Poti, constata-se nesse anexo a existência de longos trechos intermediários com pontos do terreno inferiores aos níveis da cheia de 2 anos de recorrência (exemplos: CT=51,58 m / NA=59,42 m; CT=55,66 m / NA=59,21 m e CT=56,02 m / NA=59,15 m).

O mesmo tipo de incoerência se repete nas informações constantes do Anexo 48, correspondente ao trecho da Avenida Boa Esperança. Para este se indicam níveis da cheia de 100 anos variando da cota 58,88 m, na confluência com o rio Poti, a 59,43 m, na altura da rua Minas Gerais, e cotas do terreno (ou dique) entre 58,64 m e 57,99 m, respectivamente, porém com longos segmentos intermediários de cotas muito

inferiores a essas e aos níveis das cheias de 10, 5 e 2 anos. Alguns desses trechos podem ser identificados, respectivamente, por seções onde constam CT=57,22 m / NA=57,56 m, CT=55,83 m / NA=56,77 m e CT=56,16 m / NA=56,32 m, por exemplo.

Desses exemplos é fácil verificar que as cotas comparadas com os perfis de linha d'água e indicadas em tais anexos não retratam, de fato, a linha de centro da crista dos diques ou eixo das ruas e avenidas localizadas sobre eles, pois totalmente incompatíveis com a realidade do histórico de inundações da cidade de Teresina e, em particular, da região de interesse. Além disso, certa discrepância ou imprecisão nas indicações de localização das extremidades dos trechos representados nos perfis e de alguns pontos intermediários (de mudança na denominação da avenida ou de cruzamento de algumas ruas transversais), quando comparados com os levantamentos mais recentes, impedem que sejam levadas na devida conta nestas avaliações.

Quanto aos valores dos níveis de água constantes dos anexos citados, verificam-se diferenças para aqueles do projeto SEEBLA referentes às cheias de 100 anos, por exemplo. No caso do rio Poti, os níveis mostrados nesses anexos são cerca de 1,00 metro inferiores aos da SEEBLA, isto é, 58,98 m / 60,00 m, na foz, e 60,50 m / 61,30 m, na extremidade de montante. O mesmo acontece no caso do rio Parnaíba, com 58,88 m / 60,00 m, na confluência, e 59,43 m / 60,50 m, na altura da rua Minas Gerais. Ou seja, os perfis do estudo do Plano Diretor, partindo de uma condição de contorno de jusante diferente no rio Parnaíba e chegando à foz do rio Poti em torno da cota 58,90 m, manteve praticamente essa mesma diferença ao longo dos dois rios nos citados trechos. Desta comparação conclui-se que as cotas de coroamento dos diques do projeto SEEBLA, baseadas em seus próprios perfis de linha d'água, estariam mais conservadoras (ou seguras).

Por outro lado, a Figura 9.56 do Relatório Final do Plano Diretor apresenta um perfil de linha d'água no rio Parnaíba, reconstituído, correspondente à cheia excepcional de 1985, juntamente com um perfil longitudinal da Avenida Boa Esperança, que mostra cotas de nível de água aproximadamente de 59,80 m no início desta avenida (término da Avenida Maranhão) e de 57,90 m na foz do rio Poti. Nesse trecho há um segmento de várias centenas de metros em que o perfil da avenida aparece abaixo da referida linha d'água, indicando que a mesma poderia ter sido inundada e o dique galgado durante aquele evento.

Por isso, na elaboração dos projetos desta fase do Programa, conforme recomendado pelo Painel de 2006, torna-se fundamental a utilização do levantamento recente do perfil longitudinal pelo coroamento dos diques (identificado na Seção 2 deste relatório como Levantamento Topográfico das Cristas dos Diques – UGPLN) que, pressupõe-se, tem boa precisão e melhor confiabilidade.

Embora com algumas restrições quanto à forma com que esse perfil foi disponibilizado ao Painel (dificultando uma apreciação pormenorizada e rápida), procurou-se de modo simplificado compará-lo com as cotas de nível de água antes comentadas e com as de projeto dos diques (SEEBLA), de modo a visualizar trechos dos diques que ainda pudessem demandar alteamento, por insuficiência de borda livre. Assim, no tocante ao **Dique do Rio Poti**, obteve-se o seguinte quadro:

<u>Fonte</u>	<u>Distância à foz (km)</u>					
	0	0,2	2,0	4,0	4,3	5,5
NA100anos (SEEBLA)	60,00		60,60			61,30
NA100anos (Pl. Diretor)	58,88					60,50
Cheia 1985 (Pl. Diretor)	57,90					
Cota Projeto(SEEBLA)	61,50		62,10			62,80

Cota Atual Dique(UGPLN) 60,48* 60,63 62,50 63,00 70,90

Destaca-se que, numa das versões de desenho do perfil atual do dique, a cota na foz é indicada como 61,00 m (e não 60,48 m), sem que se saiba qual a correta. Além disso, o citado perfil não veio acompanhado do levantamento correspondente aos trechos do muro de concreto, de alteamento do dique na região do Restaurante Pesqueirinho.

Independente disso, o quadro resumo mostra que, a partir de 2,0 km da foz, o coroamento do dique na situação atual teria cotas superiores aos níveis de água das cheias de 100 anos do projeto SEEBLA e do Plano Diretor (CONCREMAT), da cheia de 1985 e, também, das cotas de crista recomendadas no projeto SEEBLA; portanto dispensando alteamentos no trecho. Nos primeiros dois quilômetros, entretanto, as diferenças de cota para as do projeto SEEBLA seriam de 1,02m (ou 0,50m) na foz, reduzindo-se e anulando-se num ponto intermediário, a menos de 2,0 km, indicando, numa avaliação preliminar, a necessidade de alteamentos de magnitude semelhante às dessas diferenças para atender a borda livre de 1,50m recomendada no projeto SEEBLA. Essa conclusão levou ao questionamento de alguns fatos que precisariam ser esclarecidos, tais como: a) como se justificaria a altura do muro de alteamento construído parcialmente na região do Restaurante Pesqueirinho (de cerca de 2,5m em relação ao topo do dique atual, no cruzamento da rua Cedros, como mostrado nas Figuras 23 a 25, 27 e 28 do Anexo), que teria sido feito para atender àquele valor de borda livre? b) como se explicariam as marcas das cheias de 2009 e 2007, tão próximas do nível da Rua (numa cota próxima de 62,00 m, segundo o levantamento topográfico), e da de 1985, apenas 1,0 metro aproximadamente abaixo do topo do muro e, portanto, praticamente a mesma altura acima da rua, também visualizadas nas fotos das Figuras citadas? Haveria, assim, inconsistências altimétricas que demandavam esclarecimento.

Um quadro comparativo semelhante foi feito para o **Dique do Rio Parnaíba**, como a seguir:

<u>Fonte</u>	<u>Dist.à foz do Poti(km)</u>		
	0km	~5,0km	~9,5km
NA100anos (SEEBLA)	60,00	60,50	
NA100anos (Pl. Diretor)	58,88	62,08	
Cheia 1985 (Pl.Diretor)	57,90	59,80	
Cota Projeto(SEEBLA)	61,50	62,00	
C.Atual Dique(UGPLN)	60,82	61,12	58.40

Verificou-se que a cota atual do dique, na foz do rio Poti, seria superior aos níveis de água acima indicados em 0,82m, 1,94m e 2,92m, respectivamente, e apenas 0,70m inferior ao da cota de projeto SEEBLA. Logo, em tese, neste ponto o dique teria que ser alteado em 0,70m para ficar com a borda livre recomendada no projeto. A 5,0km daquela foz a cota atual do dique já seria superior ao NA100anos (SEEBLA) e ao da cheia de 1985, em 0,62m e 1,32m, respectivamente, mas inferior em 0,96m ao NA100anos do Plano e em 0,88m ao da cota de projeto SEEBLA. Por outro lado, observou-se que a cota indicada como atual para o coroamento do dique a 9,5 km da foz do rio Poti seria inferior (em 1,40m) à do nível da cheia de 1985 a 5,0 km da mesma foz, ou 4,5 km a jusante. Esta constatação poderia se dever a incorreção no levantamento topográfico do dique ou nos perfis de cheia, ou a referências altimétricas diferentes utilizadas nos estudos e levantamentos, realizados em épocas diferentes. Portanto, novamente aqui, a elucidação das inconsistências altimétricas se impunha.

Em suma, no caso do rio Poti, verificou-se que nos primeiros 2 quilômetros a partir da foz haveria necessidade de correções (elevações) na crista do dique, para adequá-lo às cotas originais de projeto. A magnitude definitiva das correções, entretanto, somente poderia ser confirmada após a consolidação do perfil longitudinal atual desse dique e, também, do levantamento de cotas das marcas da cheia de 1985 existentes ao longo do mesmo - em relação às quais, mantido o critério do projeto SEEBLA, deveria ser garantida a borda livre de 1,50m.

No caso do rio Parnaíba, também se verificou que praticamente nos cinco quilômetros a partir da confluência com o rio Poti haveria correções (de elevações) a fazer na crista do dique, para adequá-lo às cotas originais de projeto. A magnitude dessas correções, da mesma forma que no rio Poti, também dependia da consolidação do perfil longitudinal e do levantamento de cotas das marcas da cheia de 1985 existentes no estirão de rio em questão, em relação às quais, por coerência, a borda livre de 1,50m deveria ser garantida. É importante ressaltar que, na comparação do perfil de linha d'água para a cheia de 100 anos do Plano Diretor com o perfil longitudinal atual do dique, mesmo a montante desses 5 quilômetros iniciais (portanto, fora da área de interesse da Fase 2 do Programa Lagoas do Norte) o dique e as avenidas marginais de Teresina existiriam trechos em cotas abaixo das necessárias para garantir-lhes o mesmo nível de segurança contra inundações, se tomado esse perfil como referência para o projeto.

Com base nas considerações acima e nas apresentadas na Seção 6 deste relatório, condicionou-se a emissão das conclusões finais do Painel e de sua recomendação quanto à definição de critério para ajustes nas cotas dos diques à obtenção das marcas de cheia ocorridas em ambos os rios, na região de interesse, desde a década de 70 (sobretudo as da cheia de 1985) e, naturalmente, à prévia elucidação e correção das inconsistências ou incoerências de ordem altimétrica apontadas, conforme indicado na Seção 8, a seguir.

Na Seção 9 são descritas as atividades efetivamente realizadas (dentre as recomendadas), concluídas as análises relativas à segurança dos diques quanto ao galgamento e apresentadas as recomendações finais a esse respeito.

8. RECOMENDAÇÕES DO RELATÓRIO PRELIMINAR

Para fins de registro, transcrevem-se a seguir as recomendações apresentadas pelo Painel no Relatório Preliminar, que foram apenas em parte cumpridas, devido a dificuldades naturais encontradas para obtenção de registros históricos de informações confiáveis de campo e à exiguidade do tempo disponível para a realização dessa atividade, pelas equipes da PMT e da projetista, sem comprometer os cronogramas de projeto e das obras dessa Fase 2 do Programa Lagoas do Norte. Este fato, entretanto, não acarretou prejuízo maior para o posicionamento Final do Painel, no tocante às cotas de segurança, conforme mostrado na seção seguinte.

NIVELAMENTO DOS DIQUES

Ainda persistem dúvidas a respeito do nivelamento da cota de coroamento dos diques, com identificação precisa dos trechos mais vulneráveis à possibilidade de galgamento. Como já foram executados serviços de campo para o nivelamento, recomenda-se a consolidação final dos dados e elaboração de um único desenho com os perfis atuais das estruturas de proteção, juntamente com os perfis de escoamento para as condições da cheia de 1985 e das do projeto SEEBLA e demais estudos disponíveis, para subsidiar o estabelecimento das cotas finais de alteamento dos diques, onde necessário.

CONDIÇÕES DE CONTORNO DO MODELO DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

Deve-se resolver a questão das condições de contorno de jusante para o modelo de simulação dos perfis de escoamento nos dois rios. Neste aspecto particular e fundamental para a definição das cotas dos diques foram constatadas diferenças da ordem de 2,00 m a 3,00 m para a cota do nível de água da cheia de 1985, na confluência, entre os estudos anteriores da SEEBLA (2006) e os mais atuais, da CONCREMAT (2012) e CPRM (2015).

PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS

Considerando o elevado nível de risco para as populações da área das Lagoas do Norte em caso de ocorrência de cheias superiores à capacidade de proteção dos diques, recomenda-se a implantação de um Plano de Ações Emergenciais, para prever evacuações em tempo hábil e abrigo para os desalojados.

LEVANTAMENTOS DE CAMPO E ESTUDOS COMPLEMENTARES

Diante das inconsistências identificadas nos estudos e levantamentos que foram executados nos últimos anos, seguindo as recomendações do relatório do Painel de 2006, indicam-se a seguir os estudos e levantamentos de campo que devem ser executados, para que possa ser obtido um diagnóstico definitivo das condições de segurança dos diques quanto a galgamento:

- Verificação da compatibilidade de levantamentos de campo executados com base no sistema de referência SAD 69, com o atual sistema adotado

(SIRGAS 2000), e redução a uma mesma base referencial dos levantamentos da SEEBLA (1985), CONCREMAT (2012), CPRM (2015), PMB/UGPLN (2015) e, se eventualmente resgatável, do DNOS (1979).

- Nivelamento altimétrico das marcas da cheia de 1985 no poste em frente ao Restaurante Pesqueirinho e no muro do respectivo estacionamento.
- Identificação e nivelamento de outras marcas da cheia de 1985, principalmente nas proximidades da confluência dos rios Parnaíba e Poti, mas também em outros pontos à montante, em ambos os rios, se existirem informações confiáveis.
- Identificação e nivelamento das marcas das cheias de 2007 e 2009, partindo-se da marcação existente no poste do Restaurante Pesqueirinho, seguindo na direção da confluência e, daí, ao longo das avenidas Desembargador Flávio Carvalho e Boa Esperança, pelo menos.
- Revisão da amarração das cotas dos “zeros” das estações fluviométricas e seções de réguas instaladas pela CPRM e das utilizadas pela CONCREMAT.
- Levantamento dos perfis dos trechos do muro de concreto, de alteamento, do dique de proteção do rio Poti.
- Consolidação dos perfis das cotas de coroamento dos diques, com amarração dos pontos notáveis. Em particular, daqueles que servem de referência aos projetos das obras desta fase do Programa Lagoas do Norte e dos correspondentes aos indicados nos perfis de linha d’água dos estudos existentes (SEEBLA, CONCREMAT, CPRM).
- Revisão dos estudos de hidráulica fluvial com simulação dos perfis de escoamento das vazões de cheias, alterando-se a condição de contorno a jusante, de profundidade normal, para elevações conhecidas das marcas de cheias de 1985, 2007 e 2009. Nas simulações a serem feitas, adotar como dado hidrológico os hidrogramas das cheias de 1985, 2007 e 2009 para a condição de regime não permanente e os picos das cheias com período de retorno de 100 anos, ocorrendo de forma simultânea nos rios Poti e Parnaíba, como condição de verificação em regime de escoamento permanente e gradualmente variado.

ALTERNATIVA DE CURTO PRAZO

Na hipótese do prazo previsto para o atendimento total às atividades recomendadas acima ser considerado incompatível com o programado para a conclusão dos serviços de detalhamento de projeto executivo considerado prioritário (trecho inicial das obras de ampliação/duplicação da Avenida Boa Esperança, por exemplo), apresenta-se a seguir sugestão de uma alternativa para liberação, pelo menos parcial, de informações antecipadas para o projeto:

a) Consolidar o perfil longitudinal atual de coroamento dos diques e reduzir à mesma base altimétrica os perfis de linha d’água das cheias de 1985 e das de 100 anos de recorrência dos estudos da SEEBLA, CONCREMAT e CPRM (ou seja, informações secundárias, constantes de seus relatórios), assim como as cotas das marcas de cheias identificadas e passíveis de serem niveladas em curto prazo;

b) Elaborar desenho ou gráfico (tantas folhas quanto necessárias), em escalas adequadas, que contenha todos esses perfis e cotas, com legendas auto-explicativas. Referenciar na escala horizontal (estaqueamento ou quilometragem) a localização de pontos notáveis tais como mudanças de denominação de ruas ou avenidas situadas sobre o coroamento dos diques, cruzamentos de ruas, estações elevatórias, e outros pontos que tenham servido de referências para os estudos anteriores, etc.;

c) Construir, no mesmo gráfico, um perfil envoltório desses diversos perfis de linha d’água e pontos indicativos das cotas de marcas de cheias, além de dois outros,

paralelos a esse perfil envoltório, 1,00m e 1,50m acima dele, respectivamente (hipóteses de borda livre);

d) No trecho prioritário, de interesse para a liberação imediata de informação para o projeto executivo das obras associadas ao coroamento do dique, identificar no gráfico os subtrechos em que o perfil atual de crista não estaria atendendo às mencionadas hipóteses de borda livre;

e) Através de uma análise visual e tendo em conta a maior ou menor disponibilidade de informações de níveis de água (perfis de linha d'água calculados ou cotas de marcas de cheias levantadas) que fundamentam a envoltória no trecho, como um todo, adotar como referência para as cotas finais do dique nos citados subtrechos a hipótese de borda livre considerada suficientemente segura, isto é, de 1,00m, no caso de haver maior quantidade de informações de suporte para a envoltória, e de 1,50m, no caso de menor quantidade de informações.

9. COTAS DE SEGURANÇA DOS DIQUES

Foram finalmente revisados, consolidados e referidos a uma única base altimétrica oficial os perfis das cotas de coroamento de ambos os diques, incluindo as do muro do dique do rio Poti, bem como efetuados os levantamentos de cotas das marcas da cheia de 1985 identificadas ao longo dos trechos de interesse às obras desta Fase 2 do Programa Lagoas do Norte, ou seja, entre as regiões do Restaurante Pesqueirinho, no rio Poti, e da rua Minas Gerais, no rio Parnaíba, aproximadamente.

Os dados das marcas dessa cheia (máxima do histórico) foram apresentados em tabela resumo pela PMT, a qual é reproduzida na Figura 37 do Anexo a este relatório.

A referida tabela contém, para cada ponto levantado no campo, o número de identificação, a descrição sucinta do local, as coordenadas, a cota atingida pelo nível de água e alguns comentários ou observações sobre o dado. Note-se que apenas parte dos pontos constantes da tabela efetivamente corresponde a níveis de água. Os demais pontos correspondem a marcos auxiliares ou de referência para os trabalhos de nivelamento topográfico ou ainda, mesmo quando indicados como tendo sido atingidos pela enchente, não mereceram credibilidade - seja por terem ocorrido alterações físicas nos respectivos locais (passíveis de mascarar ou distorcer a precisão da informação), seja por evidência de inconsistência, atribuível a uma lembrança equivocada do informante, possivelmente devida ao longo tempo transcorrido desde o evento.

Observa-se, então, que os pontos de interesse para a estimativa dos perfis de linha d'água da cheia em questão são os pontos denominados de "Inicial" ou "0" (correspondente à marca no poste à entrada do Restaurante Pesqueirinho), "1" (topo do muro do dique), "2" (canto de muro da Unidade Escolar Firmina Sobreira / rua Flávio Furtado) – todos no dique do Poti, e os de números "6" (próximo à Elevatória dos Oleiros), "7" (entrada do Gonçalves), "9" (casa nº 5763 na Av. Boa Esperança) e "16" (casa na Praça dos Eucaliptos) – no dique do rio Parnaíba.

Na Figura 38, anexa ao final deste relatório, é apresentado um gráfico no qual estão plotados:

- as cotas dos níveis de água correspondentes aos pontos mencionados no parágrafo anterior;
- um perfil simplificado dos níveis atingidos pela cheia, estimado a partir das cotas desses pontos e da forma de perfil de remanso constante do Relatório Final do Plano Diretor (CONCREMAT 2012) para o mesmo evento;
- um perfil recomendado por este Painel para as cotas de segurança dos diques, nos trechos de interesse para o projeto das obras da Fase 2 do Programa;
- as cotas de dois marcos topográficos (RN's), pontos "5" e "14" da tabela resumo, localizados sobre os diques.

Observa-se desse gráfico que, apesar do número limitado de pontos e das naturais imprecisões inerentes a levantamentos de marcas de cheia, sobretudo quando transcorrido um longo tempo desde a ocorrência do evento, as cotas de N.A. levantadas apresentam razoável consistência, permitindo estimar-se um perfil simplificado, esquemático, coerente com as expectativas do comportamento hidráulico

dos estirões de rio em questão e com a forma do perfil de remanso determinado nos estudos do Plano Diretor de 2012. Deste modo, é aceitável admitir-se o referido perfil de linha d'água como representativo do evento hidrológico de 1985 nos trechos dos rios objeto de análise. Note-se, do gráfico, que esse perfil se situa praticamente à mesma altura - cerca de 0,60m - abaixo dos dois RN's (pontos 5 e 14) localizados sobre os diques, em locais que não sofreram inundação naquele evento, e que distam entre si de quase 4,0 quilômetros; o que pode ser um indicador de confiabilidade do perfil.

Destaca-se ainda que o perfil constante do gráfico como o recomendado para as cotas de segurança corresponde a uma borda livre de 1,50 m em relação ao de linha d'água da cheia de 1985. Tal valor de borda livre é o mesmo considerado no projeto original dos diques (SEEBLA 1985). Na opinião do Painel, se efetivamente este valor puder ter viabilidade construtiva em toda a extensão dos diques, tendo em vista as circunstâncias atuais de avançada ocupação e urbanização das respectivas cristas e entornos, a borda livre assim obtida estará compatível com a dimensão e importância da área urbana interna, protegida pelos diques, e será capaz de proporcionar um nível de segurança plenamente satisfatório contra galgamentos e inundações, no caso de cheias excepcionais.

A empresa encarregada do projeto das obras vinculadas aos diques deverá levar em conta o citado perfil de cotas de segurança, tomando-o como uma diretriz ou meta a perseguir ao estabelecer em definitivo os greides das ruas, avenidas e passeios públicos associados, assim como as cotas de alteamento de muros e aterros longitudinais que eventualmente se mostrem necessários para garantir a borda livre recomendada.

Entretanto, na hipótese de ocorrerem restrições físicas intransponíveis, pontuais ou em extensões moderadas dos diques, que impeçam a observação do valor de 1,50 m para a borda livre, poderão ser admitidos nesses locais valores inferiores àquele, desde que superiores a 1,00 m. Nestes casos, deverão ser tomados cuidados especiais, tais como, rigor ainda maior que os previstos no controle de compactação do aterro de implantação da avenida e o desenvolvimento de um sistema de segurança e alerta que permita a elevação temporária da cota de proteção em caso de iminência de transbordamento, por exemplo, com sacaria de areia ou algo similar. Também, onde aplicável, a projetista poderá avaliar a conveniência da implantação de uma sobrelevação no meio fio contíguo à avenida e no passeio ou ciclovia situados em seu lado externo (marginal ao do rio), como forma de compensar a redução do valor da borda livre.

Destaca-se que o conceito de borda livre é agregado como critério de segurança de obras de diques e barragens contra galgamento tendo em conta (i) reduzir as incertezas relativas aos cálculos hidrológicos e hidráulicos, sobretudo quanto à imprevisibilidade dos eventos futuros, decorrentes de alterações climáticas e de ocupação das bacias contribuintes, (ii) acomodar eventuais recalques da crista de coroamento e (iii) absorver efeitos de arrebentação de ondas eólicas ou causadas pela própria turbulência do escoamento. No caso presente, a possibilidade de se flexibilizar a borda livre recomendada, nas circunstâncias acima destacadas, decorre (i) do fato de haver uma maior confiabilidade nos dados de levantamentos das marcas da cheia de 1985, (ii) de considerar que o terrapleno da duplicação da avenida será feito dentro de critérios que reduzam a possibilidade de recalques e (iii) de serem reduzidos os efeitos de arrebentação de ondas, por ser uma obra longitudinal ao rio e o escoamento das cheias transitar em regime subcrítico (lento).

Apenas para fins de registro, informa-se que os dados preliminares relativos à cheia de janeiro de 2016 fornecidos pela CPRM e referentes às suas estações

linimétricas localizadas nos rios Parnaíba e Poti, assim como os resultados dos nivelamentos realizados pela PMT relativamente às estações Encontro dos Rios e Mocambinho, evidenciaram algumas inconsistências, impeditivas de obtenção de perfis representativos de linha d'água do evento. Por este motivo e pelo fato de a referida cheia não ter tido magnitude relevante para a definição das cotas de segurança dos diques, tais dados não foram considerados para esse fim nem apresentados neste relatório.

9 - ANEXOS



Figura 1: Área do Projeto e Pontos de Referência da Inspeção e Fotos nos Rios Parnaíba e Poti.

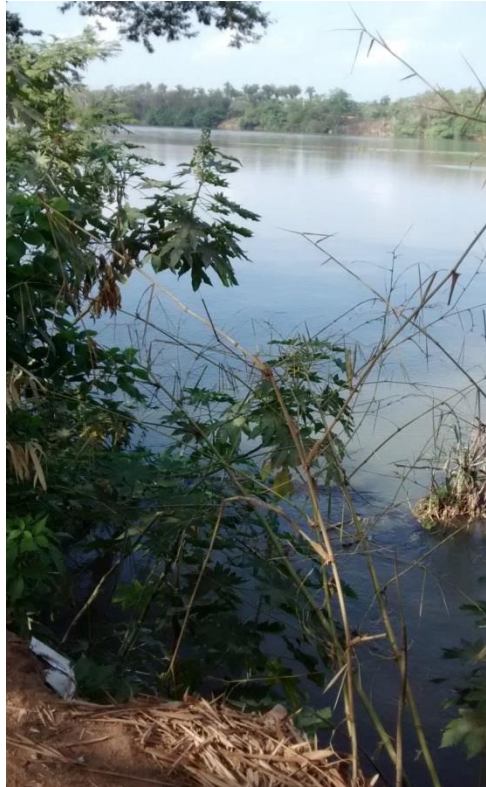


Figura 2: Rio Parnaíba – Margem Direita em detalhe e Margem Esquerda ao Fundo.



Figura 3: Rio Parnaíba – Detalhe Margem Direita.



Figura 4: Rio Parnaíba – Ocupação ilegal da margem e calha secundária (típica).



Figura 5: Rio Parnaíba — Detalhe da MD – talude íngreme/ausência da vegetação ciliar.



Figura 6: Rio Parnaíba – Uso da calha secundária para cultivo. Ao fundo, avanço de construções a partir da crista do dique.



Figura 7: – Lagoa dos Oleiros –Vista para Av. Boa Esperança. Ocupação da crista e talude interno do dique



Figura 8: Lagoa dos Oleiros – Vegetação, brejo e aterro associado a construções sobre talude do dique.



Figura 9: Lagoa dos Oleiros – Aterro e construções sobre talude do dique.



Figura 10: Elevatória dos Oleiros – Canal de adução.



Figura 11: Elevatória dos Oleiros – Grades da tomada de água.



Figura 12: Elevatória dos Oleiros – Tubulações de recalque da ampliação (trecho aéreo).



Figura 13: Elevatória dos Oleiros – Tubulações de recalque da ampliação (trecho interno à elevatória)



Figura 14: Elevatória dos Oleiros – Estruturas e canais de descarga no rio Parnaíba.



Figura 15: Elevatória dos Oleiros – Canais de descarga / Evidência de falta de limpeza e conservação / Presença de remanescente de mata ciliar.



Figura 16: Elevatória dos Oleiros – Descarga no Parnaíba / Ilha frontal vegetada.



Figura 17: Rio Parnaíba – Margem junto ao Parque Encontro dos Rios / Ilha e ME ao fundo.



Figura 18: Rio Parnaíba – Talude íngreme (negativo abaixo do N.A.).



Figura 19: Rio Parnaíba – Barranco em balanço sobre o N.A. / Coloração mais escura da água indicando maior profundidade d'água.



Figura 20: Rio Parnaíba – MD Parque do Encontro / Vista para jusante / Talude íngreme.



Figura 21: Rio Parnaíba – MD Parque do Encontro / Foz do Poti / Vista para jusante.



Figura 22: Dique do Poti – Proteção de talude em sacos de ráfia preenchidos com cascalho e areia (detalhe).



Figura 23: Dique do Poti – Muro de alteamento de crista interrompido / Cruzamento das ruas Domingos Jorge Velho e Cedro / Acesso ao Porto e Restaurante Pesqueirinho.



Figura 24: Dique do Poti – Muro de alteamento interrompido / Cruzamento das ruas Domingos Jorge Velho e Cedro / Acesso ao Porto e Restaurante Pesqueirinho.



Figura 25: Dique do Poti – Muro de alteamento do dique / Portão do Restaurante / N.A. da cheia de 1985 alcançou metade da altura do portão.



Figura 26: Dique do Poti – Porto do Pesqueirinho / Margem direita protegida por vegetação (ao fundo).



Figura 27: Dique do Poti – Marcas das cheias de 1985, 2007 e 2009 junto ao Restaurante.



Figura 28: Dique do Poti – Portão do Restaurante / Parte do muro pintada em amarelo indica nível atingido pela cheia de 1985; a parte em branco, a borda livre.



Figura 29: Dique do Poti –Montante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco / Trecho de talude protegido com gabiões / Construções sobre crista do dique e entre esta e a margem do rio



Figura 30: Dique do Poti – Jusante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco / Trecho de talude protegido com sacos de ráfia preenchidos com cascalho e areia.



Figura 31: Dique do Parnaíba – Vista do talude junto ao rio, com lixo depositado às margens.



Figura 32: Dique do Parnaíba – Vista do talude junto ao rio, mostrando taludes íngremes.



Figura 33: Dique do Parnaíba – ocupação da área de montante do dique



Figura 34: Dique do Parnaíba – evidências de formação de erosões



Figura 35: Dique do Parnaíba – consequências das erosões são os deslizamentos que destroem a pouco desenvolvida cobertura vegetal das margens



Figura 36: Dique do Parnaíba – evidências de formação de erosões

FIG. 37

Pontos	COTAS	DESCRIÇÃO	ENCHENTE 1985			
			PONTOS SECOS/APOIOS	PONTOS MOHADOS	PONTOS EXCLUÍDOS	OBSERVAÇÕES
INICIAL	59.330	Marca d'água enchente 1985- Poste de Energia Elétrica no Pesquerinho, localização Coordenadas UTM: E 740609,42 e N 9443077,11m		x		
1	60.307	Topo do Dique/Muro de Pedra (Rua Cedro x Rua domingos Jorge Velho). E 9443031.89	x			
2	59.021	Canto Muro NA LINHA E FUNDO da unidade Escolar Firmina Sobreira (Rua Flávio Furtado)		x		
3	59.561	Piso Interno da igreja de São Pedro (Bairro Poti Velho). E 740737.99m N 9442876.36m	x			
4	59.549	Piso da quadra de Futsal-Praça da igreja de São Pedro	x			
5	59.517	PONTO Cabeça de cuia - MR37TE = RN40TE, Latitude 05°02'06,3816"S, Longitude 42°50'17.3570"W; Coordenadas: E 739694.39m, N9.443.056.20m. Altitude ortométrica 59.5804m	x			Não há indicação se a água inundou.
6	58.883	PONTO Indicado pelomorador csa Próximo à bomba.		x		
7	58.824	Asfalto da Avenida Boa Esperança na intercessão da entrada do gonçalinho em direção ao Rio Paranaíba. E 739688.38m B 9442152.35m		x		Encosta do dique do lado do rio
17	59.055	Eixo do dique (Avenida Boa Esperança em frente ao orelhão).-Próximo ao Ponto 7		x		Galgamento sentido lagoa-rio
8	57.862	Ponto indicado pelo morador na linha de fundo da casa nº 5763, onde a água chegou. E739686.43m N9449175.85		x	x	Há modificações efetuadas no terreno.
9	58.856	Baldrame da casa nº 5763		x		Encosta do dique do lado do rio
18	59.104	Eixo do dique (Avenida Boa Esperança em frente à casa 6055) - Próximo ao Ponto 9.		x		Galgamento sentido lagoa-rio
10	59.328	No asfalto da Avenida Boa Esperança alinhdo ao fundo da quadra de Futsal (Vila Apolônia).		x	x	Há modificações efetuadas no terreno.
11	59.410	Em frente ao bar "Eventos"	x			
12	59.992	No piso do Passeio da Prça do projeto Lagoas do Norte E 739925.89m N 9438=9514.71m	x			
13	57.903	Ponto indicado pelo topógrafo Figueira, no final da rua Minas Gerais, defronte à fábrica de pré-moldados.		x	x	Há modificações efetuadas no terreno.
14	59.711	RN2 (chapa de metal) cravada no meio fio da rua Minas Gerais, defronte à fábrica de pré-moldados.	x			
15	58.531	Ponto "E-0" pintado no meio fio da rua Minas Gerais x rua girinaldo Batista, indicado como local até onde a água chegou. E 740280.64m N9439229.55m		x		
16	57.906	Praça dos Eucaliptos - Calçada da casa 378 da rua São Paulo, onde a água atingiu a altura de 1.20m. E 740459.37m N9439005.15m		x		Acrescentar 1.20m, cota corrigida = 59,106
16A	59.106	Praça dos Eucaliptos - Calçada da casa 378 da rua São Paulo, onde a água atingiu a altura de 1,20m. E 740459.37m N9439005.15m		x		Corrigido
INICIAL	59.330	Marca d'água enchente 1985- Poste de Energia Elétrica no Pesquerinho, localização Coordenadas UTM: E 740609,42 e N 9443077,11m		x		
2	59.021	Canto do muro NA LINHA DE FUNDO da Unidade Escolar Firmina Sobreira. (Rua Flávio Furtado).		X		
6	58.883	Ponto indicado pelo morador, casa próximo À bomba.		X		
7	58.824	Asfalto da Avenida Boa Esperança na intercessão da Entrada do Gonçalinho em direção ao Rio Parnaíba. E 739688,38m N 9442152,35m		X		Encosta do dique do lado do rio
17	59.055	Eixo do dique (Avenida Boa Esperança em frente ao orelhão). - Próximo ao Ponto 7.		X		Galgamento sentido lagoa-rio
9	58.856	Baldrame da casa nº 5763		X		Encosta do dique do lado do rio
18	59.104	Eixo do dique (Avenida Boa Esperança em frente à casa 6055) - Próximo ao Ponto 9.		X		Galgamento sentido lagoa-rio
15	58.531	Ponto "E-0" pintado no meio fio da rua Minas Gerais x rua Girinaldo Batista, indicado como local até onde a água chegou. E 740280,64m N 9439229,55m		X		
16A	59.106	Praça dos Eucaliptos - Calçada da casa nº 378 da rua São Paulo, onde a água atingiu a altura de 1,20m. E 740459,37m N 9439005,15m		X		corrigido

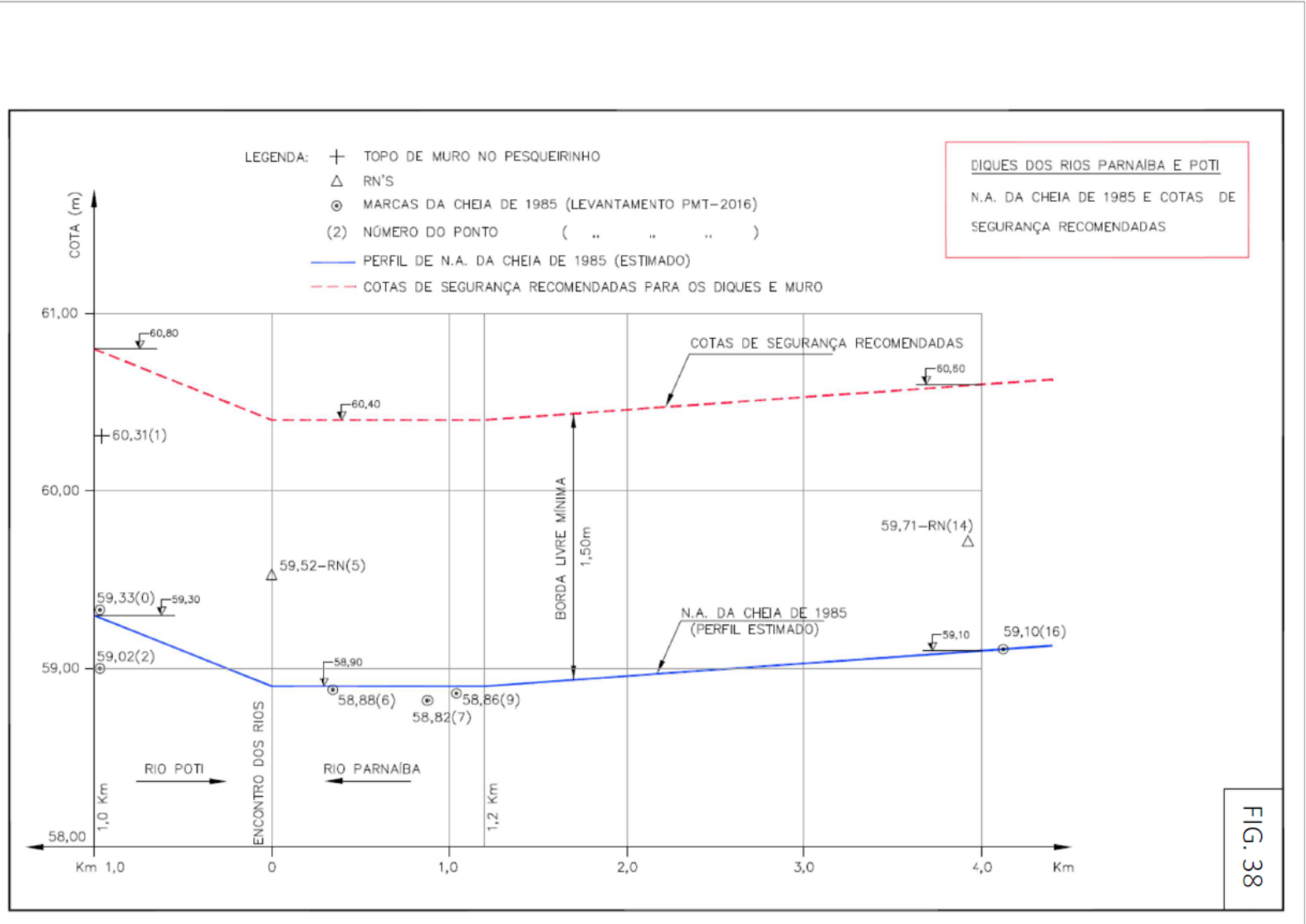


FIG. 38