



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

PROGRAMA LAGOAS DO NORTE
Etapa II

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

- PRODUTO 2 -

CONSULTORES:

José Roberto Thedim Brandt
Mário Cicareli Pinheiro
Roneí Vieira de Carvalho

CONTRATO PMT/SEMPPLAN/UGP LAGOAS DO NORTE Nº 15/2016

- SETEMBRO DE 2018 -



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

SUMÁRIO EXECUTIVO

1. INTRODUÇÃO	7
2. LAUDO DE INSPEÇÃO	8
3. ESTUDOS DE HIDRÁULICA FLUVIAL	11
3.1. Levantamentos Complementares de Campo	11
3.2. Metodologia	15
3.3. Resultados	16
4. QUESTIONAMENTOS DO MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL	20
4.1. Contextualização do Problema	20
4.2. Cenário de Referência	22
4.3. Alteração do Traçado da Avenida	24
5. SOLUÇÕES DE ENGENHARIA PROPOSTAS PARA O ALTEAMENTO DOS DIQUES	27
6. COMENTÁRIOS ADICIONAIS	31



APRESENTAÇÃO

Teresina, 17 de setembro de 2018.

À

Unidade de Gerenciamento do Programa Lagoas do Norte - UGP
At. Eng. Leonardo Madeira Martins
Coordenador da UGP

Ref.: Relatório Painel de Segurança – Produto 2.

Prezados Senhores,

Estamos apresentando o Relatório do Painel de Segurança relativo ao Produto 2, conforme especificação técnica que orientou o Contrato PMT/SEMPPLAN/UGP LAGOAS DO NORTE Nº 15/2016.

Em complemento aos itens da especificação técnica, apresentam-se também os resultados dos estudos de Hidráulica Fluvial que foram elaborados a partir dos levantamentos de campo especialmente recomendados pelo Painel de Segurança, visando obter os dados necessários à avaliação da segurança das obras do Programa.

Colocamo-nos à disposição de V. Sas. para prestar quaisquer esclarecimentos adicionais, que se fizerem necessários.

Atenciosamente,

José Roberto Thedim Brandt

Mário Cicareli Pinheiro

Roneí Vieira de Carvalho



SUMÁRIO EXECUTIVO

Este documento foi elaborado pelo Painel de Segurança do Banco Mundial com a finalidade de avaliar a implantação da Etapa II do Programa Lagoas do Norte, especialmente nos aspectos concernentes às obras de proteção contra cheias, constituídas pelos Diques Boa Esperança (rio Parnaíba) e Poti Velho/Mocambinho (rio Poti). Na Etapa II do Programa, além da sequência nas obras de saneamento das lagoas, foi prevista a duplicação da Avenida Boa Esperança, o ordenamento do sistema viário e a adequação dos maciços dos diques para garantir a devida segurança quanto à estanqueidade e contra galgamento. Para a realização das obras de adequação dos diques e de duplicação da avenida, torna-se necessária a remoção das construções irregulares que atualmente ocupam os maciços dos diques de contenção de cheias.

Nesta etapa do Programa, a atuação do Painel de Segurança concentrou-se inicialmente na análise das contestações encaminhadas pela 44ª Promotoria de Justiça do Ministério Público do Estado do Piauí (MPE), apresentando sugestões alternativas para a duplicação da avenida que pudessem manter as benfeitorias que estão construídas de forma irregular sobre o Dique Boa Esperança, sem a relocação das famílias que ocupam a área de risco. A análise das contestações do MPE foi objeto de um relatório específico, denominado **Produto 1**, que indicou a inviabilidade de aplicar as sugestões de alternativas propostas pelo MPE. Além do relatório, os consultores do Painel de Segurança participaram em reuniões com entidades técnicas e em audiências públicas com a comunidade e o MPE, para explicar as questões de segurança envolvendo os diques e os riscos atuais das estruturas.

O presente documento constitui-se no **Produto 2** do escopo dos trabalhos do Painel de Segurança, contendo: **(i)** uma síntese dos laudos das inspeções *in loco* feitas pelos consultores, **(ii)** o processamento dos dados de levantamentos de campo feitos pela UGP Lagoas do Norte e os resultados de estudos de Hidráulica Fluvial para avaliação da segurança dos diques contra galgamento, **(iii)** comentários críticos sobre as contestações do MPE e **(iv)** a análise das obras de engenharia propostas para adequação da segurança dos diques.

Laudo das Inspeções

Nos trabalhos dos consultores do Painel de Segurança na Etapa II do Programa Lagoas do Norte, foram realizadas 3 visitas de inspeção às áreas de implantação dos projetos, com maior foco nas estruturas dos diques. Em todas as ocasiões, os consultores foram acompanhados pelas equipes técnicas das empresas projetistas e da Prefeitura Municipal de Teresina. As inspeções tiveram como finalidade principal avaliar as condições atuais de implantação dos diques, principalmente em termos de segurança geotécnica e hidráulica.

Sob o **aspecto geotécnico**, o fator mais importante refere-se à estanqueidade dos diques, ou à suas capacidades de estancar as águas das cheias dos rios Parnaíba e Poti, sem que ocorram vazamentos ou rompimentos das estruturas. Aparentemente, não se identificaram pontos visíveis de possíveis vazamentos durante as inspeções, até porque os diques não estavam operando durante as visitas de campo. Entretanto, as diversas construções



implantadas sobre os diques representam uma elevada fragilidade para os aterros, que podem sofrer erosões internas durante a ocorrência de cheias e assim resultar em rompimentos dos maciços, por erosão interna. Um acidente desse tipo poderia ser repentino e os resultados seriam catastróficos para a população protegida pelos diques, que totaliza cerca de 100.000 habitantes dos bairros da zona norte de Teresina.

Os diques construídos em aterro não podem ter qualquer intrusão em seus maciços, tais como fundações de casas, escavações e raízes de árvores. Permite-se apenas a construção de ruas, rodovias ou ciclovias sobre a crista. Não existem precedentes na história de construção de diques em todo o mundo como o caso de Teresina, com casas, árvores plantadas e escavações de fossas em grande parte de suas extensões. Por conta desse problema, **não é possível atestar a segurança geotécnica dos diques**, situação que compromete as obras do Programa Lagoas do Norte e coloca em risco toda a população protegida.

Sob o **aspecto hidráulico**, os diques devem assegurar a proteção para uma cheia de projeto de grande porte, sem que ocorram galgamento de suas cristas, o que também pode levar ao rompimento dos maciços. Nas inspeções de campo, notou-se que existem discontinuidades nos muros de proteção, junto ao Restaurante Pesqueirinho e ao Polo Cerâmico, por onde as águas das enchentes do rio Poti podem penetrar. Além disso, em entrevistas com moradores na região, foram colhidos diversos relatos dando conta de que o Dique Boa Esperança sofreu transbordamentos durante a grande enchente de 1985, podendo indicar que também sob o aspecto hidráulico os diques não apresentam segurança.

Estudos de Hidráulica Fluvial

Para atender a critérios nacionais e internacionais de engenharia de obras de controle de cheias, os diques devem ser dimensionados para comportar vazões com período de retorno de pelo menos 100 anos, devendo ter ainda uma borda livre mínima, ou folga, de 1,00 m acima dos níveis alcançados por esta enchente.

Nas avaliações anteriores feitas pelo Painel de Segurança, registradas nos relatórios da Etapa I do Programa, foram realizados estudos hidrológicos que mostraram ser a enchente de 1985 um evento extremo com período de retorno próximo de 100 anos, podendo assim ser adotado como critério de projeto para os Diques Boa Esperança e Poti Velho/Mocambinho. A enchente de 1985 teve uma ocorrência peculiar, quando coincidiram, no mesmo dia, os picos das enchentes dos rios Parnaíba e Poti, somando uma vazão excepcional no encontro dos rios, que elevou o nível de água e produziu um efeito de remanso que se propagou para montante.

Assim, pelos testemunhos coletados dos ribeirinhos durante as inspeções de campo, indicando que ocorreram transbordamentos dos diques em 1985, podia-se inferir que as **estruturas também não estavam seguras sob o aspecto hidráulico**.

Restava determinar quais seriam as cotas de segurança para alteamento dos diques, de forma a proteger para a cheia de projeto e ainda resguardar a borda livre de 1,00 m. Para tanto, o Painel de Segurança elaborou especificações para a execução de levantamentos de campo, compreendendo o traçado de seções transversais nas calhas dos rios Poti e Parnaíba, o



nivelamento das cristas dos diques e o cadastramento de marcas da cheia de 1985, ainda existentes em algumas residências ribeirinhas. Os serviços de levantamentos de campo foram contratados pela UGP Lagoas do Norte durante o ano de 2017, fornecendo resultados para a elaboração de estudos de Hidráulica Fluvial, simulando os perfis de escoamento das vazões de cheias, inclusive os da cheia de 1985.

Os resultados dos estudos de Hidráulica Fluvial indicaram que, de fato, os diques seriam galgados em vários trechos para a ocorrência da cheia de projeto, confirmando os depoimentos dos ribeirinhos e atestando a não conformidade em termos de segurança hidráulica e hidrológica. Também a partir desses estudos, estabeleceu-se o perfil de cotas para as quais os diques deveriam ser alteados, para alcançar a necessária segurança hidráulica.

Questionamentos do Ministério Público Estadual

Tomando como imperiosa a necessidade de altear as cotas das cristas dos diques e de retirar as construções que colocam em risco a estanqueidade dos maciços, a UGP Lagoas do Norte adaptou um projeto de duplicação da Avenida Boa Esperança com as necessárias seguranças geotécnica e hidráulica, além de equacionar questões de tráfego na região. Na concepção do projeto, foi prevista a remoção das construções apenas da parte de montante (do lado do rio) do Dique Boa Esperança, como medida de reduzir o impacto social e econômico de remoção de famílias e estabelecimentos comerciais.

A população a ser relocada reagiu ao projeto, alegando vínculos com o local e com a proximidade do rio, com as perdas decorrentes de mudanças para outros locais. Ao atender aos apelos dessa população, o MPE suspendeu a execução da obra e exigiu a análise de duas alternativas para o problema: **(i)** não duplicar a Avenida Boa Esperança ou **(ii)** deslocar o eixo da avenida para as margens do rio Parnaíba. O Painel de Segurança analisou as alternativas propostas e **concluiu pela não viabilidade de ambas**, pelas razões simples expostas a seguir.

Mesmo sem implantar o projeto de duplicação da avenida, as construções irregulares, no maciço do Dique Boa Esperança, deverão ser removidas, pelo menos do lado de montante. A remoção é necessária para garantir a estanqueidade do dique e para permitir o alteamento para as cotas de segurança indicadas no estudo de Hidráulica Fluvial.

O deslocamento do eixo da avenida para a margem do rio Parnaíba exporia o aterro do dique a elevadas velocidades do escoamento das vazões de enchentes, implicaria em elevado consumo de material de empréstimo para a construção dos aterros e requereria a implantação de um oneroso sistema de drenagem para os paleocanais que ficariam estagnados entre a atual avenida e o novo dique.

Soluções de Engenharia Propostas para o Alteamento dos Diques

Considerando os problemas acima citados de deslocamento do eixo do dique para as margens do rio Parnaíba, a retirada das construções irregulares é inevitável e a discussão e análise concentram-se nas soluções de alteamento que deverão ser adotadas. No caso do Dique Boa



Esperança, a solução proposta para o alteamento confunde-se com o projeto de duplicação da avenida, que teria cotas compatíveis com o perfil de segurança requerido (perfil de escoamento da cheia de 1985 com borda livre de 1,00 m). Em alguns trechos da avenida, eventualmente os perfis deverão ser ligeiramente rebaixados, para permitir a concordância com as interseções das ruas que desembocam na avenida. Nesses trechos, poderão ser implantadas muretas de concreto no lado externo da pista, com alturas que assegurem a borda livre requerida.

O Dique Poti Velho não tem problemas com construções irregulares sobre o seu maciço, mas apresenta rebaixamentos nos perfis de sua crista no trecho em muro de concreto, na rua de acesso ao Restaurante Pesqueirinho e na área do Polo Cerâmico. As equipes técnicas da empresa projetista e da UGP Lagoas do Norte apresentaram soluções de engenharia para nivelar esses rebaixamentos, que se mostraram consistentes para os consultores do Painel de Segurança.

Comentários Gerais

Ficou patente para o Painel de Segurança que os Diques Boa Esperança e Mocambinho não se enquadram em critérios de segurança, criando assim um passivo para a Prefeitura Municipal de Teresina, quando se considera a expectativa da população que deve ser protegida. As alternativas propostas pelo MPE não apresentam viabilidades técnica e econômica e medidas de cautela devem ser adotadas para não perder a oportunidade do Programa em curso.

Na hipótese de ocorrer um evento do porte da cheia de 1985, enquanto se discutem as protelações introduzidas pelo MPE, pode-se arguir de quem seria a responsabilidade pela não adoção das medidas de segurança cabíveis. Recorda-se que a implantação das obras que darão a garantia de segurança está em atraso e a responsabilidade de um eventual rompimento dos diques recairá sobre o administrador público. A população que reivindica a manutenção do estado de ocupação irregular e o MPE não se apresentam como entes responsáveis pelo problema, neste caso.

Os consultores do Painel de Segurança não podem atestar a segurança do Programa Lagoas do Norte, nos preceitos de engenharia adotados pelo Banco Mundial, se forem mantidas as ocupações irregulares sobre os diques e não for providenciado o imediato alteamento dos trechos vulneráveis a sofrer galgamento.



1. INTRODUÇÃO

O presente documento consolida os trabalhos dos consultores do Painel de Segurança do Programa Lagoas do Norte, relativamente ao denominado **Produto 2**, que foi detalhado no Termo de Referência para a contratação dos serviços com o seguinte escopo;

- (i) Análise da alternativa de “não implementação” da duplicação da Avenida Boa Esperança, constante do Relatório do Produto 1;
- (ii) Análise dos cenários de alteamento dos diques;
- (iii) Análise das soluções urbanísticas e de engenharia propostas para o alteamento;
- (iv) Recomendações adicionais para a atualização do projeto executivo de duplicação da Avenida Boa Esperança e do projeto básico de complementação do Dique Poti;
- (v) Elaboração de sumário executivo, em linguagem coloquial, para divulgação pública.

Recorda-se que o **Produto 1** mencionado acima constou de um relatório específico de esclarecimentos às solicitações do Ministério Público Estadual, após o lançamento da Etapa II do Programa Lagoas do Norte, no ano de 2015, que tinha como componente principal a duplicação da Avenida Boa Esperança, com adequação do perfil do dique de proteção contra cheias e relocação de benfeitorias instaladas em áreas de risco.

Naquele momento, surgiram demandas sociais contra o projeto por parte da população a ser relocada e as ações foram acatadas pela 44ª Promotoria de Justiça do Ministério Público do Estado do Piauí (MPE). Através do Ofício 330/2016, após reunião realizada no Palácio Episcopal da Arquidiocese de Teresina, o MPE solicitou à Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação de Teresina que **“determine realização de novo Painel de Avaliação das Condições de Estabilidade e Segurança do Dique Parnaíba a fim de responder que obras e cuidados devem ser realizados/adotados a fim de assegurar a estabilidade daquele.”** Informou, adicionalmente que **“o novo Painel de Segurança deve levar em consideração a não realização da duplicação da Avenida Boa Esperança, mas ao contrário, a permanência das famílias com recuo das casas em ambos os lados.”**

Nas inspeções e análises executadas pelos consultores do Painel de Segurança, detalhadas no Capítulo 2, ficou patente as não conformidades na implantação dos diques atuais, principalmente no caso do **Dique Boa Esperança** (ao longo da margem direita do rio Parnaíba), devido às benfeitorias construídas ao longo dos paramentos da obra de proteção contra cheias. Apenas esta constatação, de cunho construtivo e de segurança geotécnica, seria suficiente para orientar um programa de retirada das benfeitorias e relocação das famílias envolvidas com o problema.



No início dos trabalhos dos consultores, em 2015, verificou-se que ainda persistiam algumas dúvidas a respeito da segurança hidráulica e hidrológica dos diques, devido a inconsistências nos levantamentos topográficos e batimétricos e às referências das cheias históricas de vestígio, principalmente a de 1985. Assim, foi solicitada à SEMPLAN a execução de serviços complementares de campo, que resultasse em um novo estudo de Hidráulica Fluvial, que pudesse servir como referência às análises da segurança dos diques quanto aos aspectos hidráulicos e hidrológicos. O trabalho resultante desses levantamentos foi apresentado em um relatório específico, constando-se no Capítulo 3 um resumo com os principais resultados obtidos, para orientar as análises quanto à segurança contra galgamento das estruturas.

Embora o **Dique Poti Velho** (ao longo da margem esquerda do rio Poti) não tenha tanto problema com a invasão de benfeitorias sobre as suas estruturas, constatou-se também a existência de não conformidades, relativas a erosões nas proximidades da foz com o rio Parnaíba, ao crescimento de árvores nos paramentos e a descontinuidades nas cotas de coroamento na área do Polo Cerâmico.

Na implantação da Etapa I do Programa Lagoas do Norte, a Unidade de Gerenciamento (UGP) já havia detectado o problema das benfeitorias irregulares, tanto nos paramentos dos diques, quanto nas áreas alagadiças das lagoas marginais e peleocanais da planície de inundação, iniciando-se um trabalho de relocação e urbanização das áreas das lagoas, inclusive para operação como pôlderes de amortecimento de águas pluviais. Visando dar sequência aos trabalhos de implantação do programa, iniciou-se o projeto da Etapa II que, aproveitando a imperiosa necessidade de relocação das benfeitorias irregulares e de adoção de medidas que impedissem reocupações futuras, teve como linha mestra a duplicação da Avenida Boa Esperança ao longo do dique.

Como conclusão geral dos consultores do Painel de Segurança, pode-se afirmar que os Diques Boa Esperança e Mocaminho não se encontram em condições adequadas de segurança, apresentando-se ao final, no Capítulo 6, as recomendações para o enquadramento das obras em critérios consistentes de obras de controle de cheias.

2. LAUDO DE INSPEÇÃO

Nos trabalhos desenvolvidos por este Painel de Segurança, no decorrer da Etapa II do Programa Lagoas do Norte, o diagnóstico das condições atuais da estabilidade dos diques de proteção da cidade de Teresina foi feito com base em análises das disciplinas de Hidrologia, Hidráulica Fluvial e Geotecnia, além das impressões e constatações em visitas de inspeção ao campo. Para tanto, foram solicitados levantamentos específicos do perfil longitudinal do dique, nivelamento de marcas de cheias históricas e execução de sondagens ao longo das estruturas.

Nos campos das disciplinas de Hidrologia e Hidráulica Fluvial, os estudos e análises feitos pelos consultores, em 2015, levaram à conclusão de que a enchente de 1985 e seus respectivos perfis de escoamento ao longo dos rios Parnaíba e Poti, acrescidos de uma borda livre de 1,20 m, representariam o critério consistente para avaliação da segurança do Dique Parnaíba. A enchente de 1985 apresenta um período de retorno próximo de 100 anos e a



borda livre de 1,20 m, acima do valor mínimo recomendado de 1,00 m, estaria compatível com o fato de as áreas protegidas apresentarem uma alta densidade populacional e, principalmente, pelo fato de que ainda havia incertezas no levantamento das marcas de cheia ao longo do estirão fluvial do rio Parnaíba.

Entretanto, no decorrer do ano de 2017, seguindo recomendações dos consultores do Painel de Segurança, a SEMPLAN procedeu ao cadastramento das marcas da cheia de 1985 em uma ampla área, incluindo a margem esquerda do rio Parnaíba, no estado do Maranhão. Adicionalmente, foram levantadas novas seções batimétricas nos trechos fluviais de interesse, amarradas topograficamente ao perfil dos diques implantados. Os perfis de escoamento da cheia de 1985 foram reconstituídos a partir de marcas indicadas em locais específicos, como aquela marcada na calçada próxima ao Restaurante Pesqueirinho, procedendo-se aos ajustes necessários para o cálculo da declividade da linha de água. Esses ajustes foram feitos com base em estudos de Hidráulica Fluvial, desenvolvidos especificamente com as novas seções batimétricas, conforme síntese apresentada no próximo capítulo deste documento.

Quanto aos aspectos geotécnicos, na visita de inspeção ao campo não foram identificados indícios de instabilidade das estruturas, manifestados por trincas ou caminhos de percolação aparentes. Destaca-se que essas observações em campo são limitadas, pelo fato de grande parte da extensão do dique estar ocupada com benfeitorias, podendo encobrir eventuais indícios de instabilidade. Ademais, o dique opera somente durante a ocorrência de grandes cheias, não estando assim submetido a esforços constantes que pudessem evidenciar possíveis rotas de percolação.

Entretanto, mesmo com essas ressalvas de não se identificarem indícios de instabilidade dos maciços dos diques, pode-se constatar que a obra não se apresenta em conformidade com critérios de segurança, em razão das interferências existentes nos taludes, tais como construção de fundações para suporte a residências e estabelecimentos comerciais, perfuração de poços de abastecimento de água e fossas para águas servidas, além da existência de árvores com sistemas radiculares penetrantes e profundos. Todas essas interferências podem comprometer a estanqueidade do dique, a sua finalidade principal, que é a proteção das populações que habitam a área interna da parte seca. Essas obras incrustadas no corpo estrutural do dique representam intrusões que fragilizam a segurança do maciço quanto à estanqueidade, podendo facilitar a ocorrência de erosão interna e o colapso da estrutura.

Os Diques Boa Esperança e Mocambinho foram concebidos nos moldes mostrados na Figura 2.1, em termos de dimensionamento hidráulico e hidrológico, e na Figura 2.2, no que concerne à estanqueidade relativa ao controle da percolação das linhas de fluxo.

A tarefa dos consultores do Painel de Segurança consiste em verificar se as obras implantadas enquadram-se nesses critérios de projeto. Constatou-se que os diques não atendem a nenhum dos critérios de dimensionamento, devendo passar por adequações que observem:



- Alçamento com regularização da cota de coroamento, segundo os resultados dos estudos atuais de Hidráulica Fluvial (Capítulo 3), para atender ao critério de segurança para a cheia com período de retorno de 100 anos e respectiva borda livre mínima;
- Remoção de todas as intrusões do paramento de montante, com execução de aterro de reforço para regularizar o perfil de coroamento com a borda livre recomendada e garantir a devida condição de estanqueidade durante a ocorrência de grandes cheias. Com esse aterro de reforço, resolve-se o problema de estanqueidade, podendo-se manter as benfeitorias do lado interno de jusante, com proibição de novas construções e execução de escavações de quaisquer naturezas no maciço do dique. Ademais, o reforço por montante aumenta o caminho de percolação da água, agregando a segurança relativa à estanqueidade.



Figura 2.1 – Critério de dimensionamento hidráulico da estrutura de um dique de proteção contra cheias.

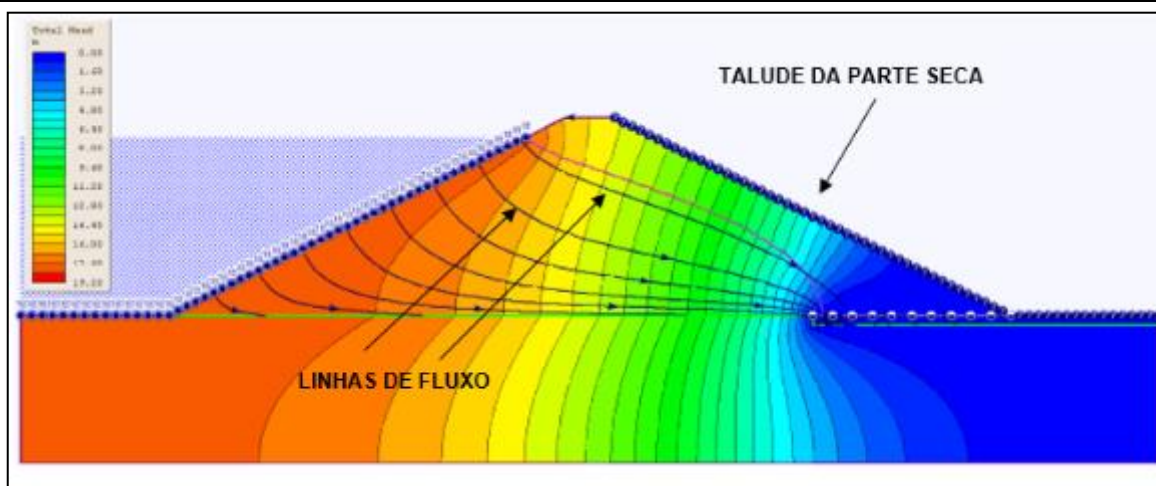


Figura 2.2 – Critério de segurança geotécnica de um dique quanto à estanqueidade.

3. ESTUDOS DE HIDRÁULICA FLUVIAL

A partir de levantamentos de campo executados em 2017, abrangendo o nivelamento de marcas de cheias e das cotas de coroamento dos diques, além do traçado de seções batimétricas nos trechos fluviais de interesse dos rios Parnaíba e Poti, foram atualizados os estudos de Hidráulica Fluvial, resultando nas informações básicas apresentadas a seguir.

3.1. Levantamentos Complementares de Campo

Precedendo os serviços de levantamentos de campo, os consultores do Painel de Segurança elaboraram especificações para a contratação de empresa especializada, discriminando:

- Procedimentos para nivelamento dos perfis a uma única referência de nível;
- Indicação das seções para levantamentos batimétricos;
- Recomendações para identificação de marcas da cheia de 1985, em ambas as margens dos rios Parnaíba e Poti;
- Trechos dos diques a serem nivelados.

A SEMPLAN contratou os serviços da empresa GeoLevel Engenharia, que executou os trabalhos em conformidade com as especificações dos consultores. A Figura 3.1 mostra a localização das seções e os locais de cadastro de marcas de cheias. Maiores detalhes da localização dos pontos de cadastramento das marcas de cheias podem ser vistos na Figura 3.2. As marcas foram identificadas nos seguintes locais: Restaurante Pesqueirinho (rio Poti, **El. 59,408 m**), casa na Barra das Pombas (rio Parnaíba a jusante da confluência, **El. 59,204 m**), casa junto ao Dique Boa Esperança (Rua Desembargador Flávio Furtado, **El. 59,691 m**) e casa em Timon (margem esquerda do rio Parnaíba, **El. 59,460 m**).

As seções batimétricas foram levantadas no perímetro molhado das calhas fluviais e ao longo das planícies de inundação adjacentes, conforme exemplo mostrado na Figura 3.3. Entre as



Seções 04 e 17, no estirão do rio Parnaíba, o levantamento das seções abrangeu até o limite das cotas de coroamento do Dique Boa Esperança.

Ao longo do Dique Poti Velho, foi feito o levantamento detalhado do muro de pedra construído nas proximidades do Polo Cerâmico (Figura 3.4), inclusive cadastrando o recorte existente no trecho da rua de acesso ao Restaurante Pesqueirinho.

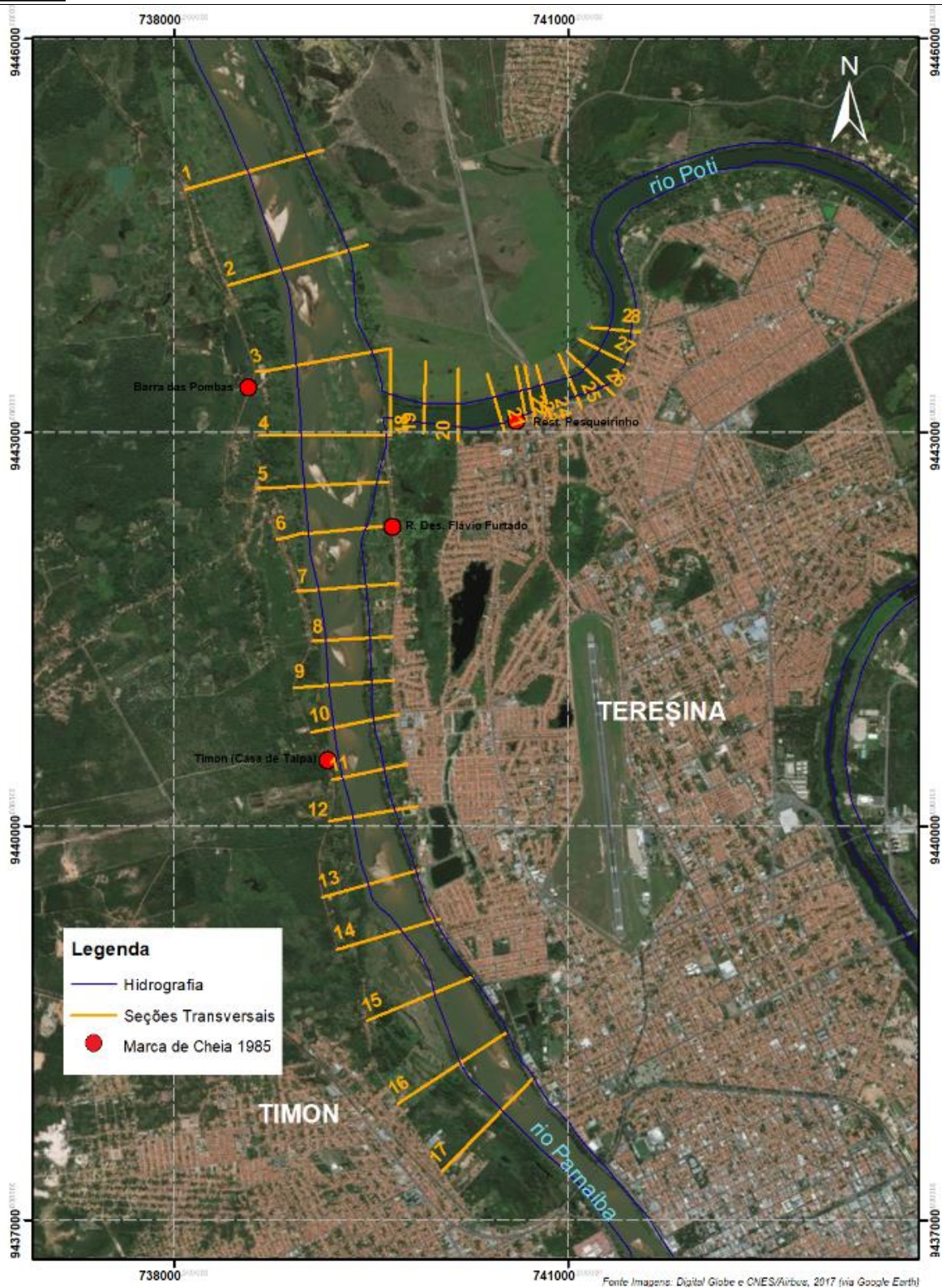


Figura 3.1 – Localização das seções batimétricas.

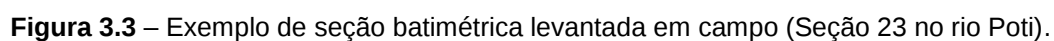
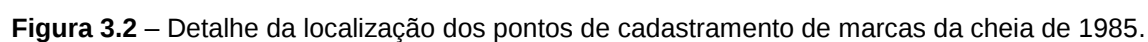




Figura 3.4 – Trecho de levantamento do muro de pedra implantado ao longo do Dique Poti Velho.

3.2. Metodologia

Os dados dos levantamentos batimétricos e as cotas das marcas da cheia de 1985 foram utilizados como base para os estudos de Hidráulica Fluvial, que tiveram como finalidade a determinação do perfil de escoamento que permitiria a avaliação da segurança dos diques contra galgamento.

Os estudos foram executados por meio de simulação com o modelo matemático HEC-RAS: *River Analysis System*, distribuído pelo US Army Corps of Engineers. O modelo foi utilizado na sua versão unidimensional, considerando o escoamento permanente e gradualmente variado. Para a calibração do modelo, foram utilizadas as marcas de cheia cadastradas e as vazões efetivamente verificadas no evento de 1985, quais sejam: 4261 m³/s escoando pelo rio Parnaíba, 3939 m³/s pelo rio Poti e vazão total de 8200 m³/s a jusante da confluência dos dois rios. Como condição de contorno de jusante, foi considerada a marca da cheia nivelada junto à Seção 03, no local denominado Barra das Pombas, correspondendo à El. 59,204 m. No processo de calibração, foram encontrados valores de coeficiente de rugosidade de Manning variando entre $n=0,020$ e $n=0,028$ para a calha principal dos rios.

Para a verificação da segurança dos diques, foi selecionada a cheia de 1985, que apresentou período de retorno da ordem de 100 anos. A frequência das cheias foi analisada na confluência dos rios Parnaíba e Poti, considerando a soma das vazões registradas simultaneamente nos dois cursos de água. No ano de 1985, houve uma condição extrema de criticidade, pois os picos dos hidrogramas de cheias dos rios ocorreram no mesmo dia, resultando em uma vazão de 8200 m³/s na confluência. A elevação do nível de água na confluência induz curvas de remanso para montante, através dos estirões dos rios Parnaíba e Poti, resultando em perfis de escoamento que servirão para balizar as cotas de segurança dos diques contra galgamento.



3.3. Resultados

A seguir são apresentados os resultados referentes aos perfis de escoamento da cheia de 1985, que representou o critério para análise da segurança dos diques. Inicialmente, com a calibração feita para as marcas de cheias cadastradas, foi estabelecida uma curva-chave para a Seção 03 no rio Parnaíba, que passou a nortear a condição de contorno de jusante para todas as configurações de traçados de perfis de escoamento que foram simuladas no modelo HEC-RAS. A curva-chave resultante pode ser vista na Figura 3.5.

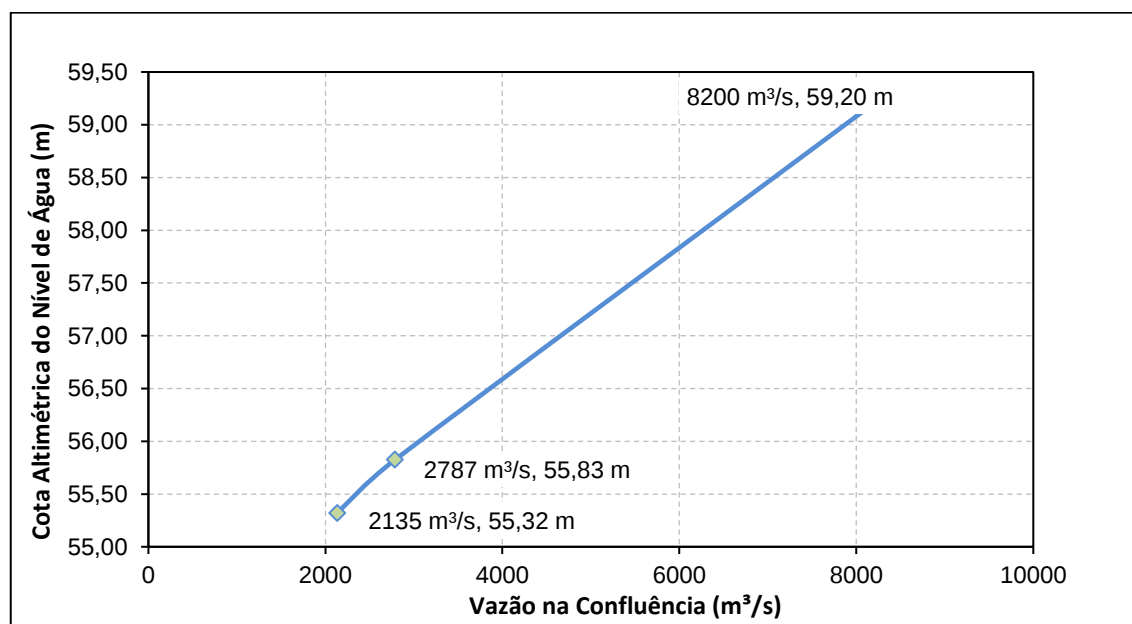


Figura 3.5 – Curva-chave na Seção 3 do rio Parnaíba a jusante da confluência.

Na Figura 3.6 pode ser visualizada a congruência dos perfis simulados para a cheia de 1985 e as respectivas marcas que foram cadastradas no campo. Nota-se uma total aderência entre o modelo e as marcas, exceto para o caso da marca identificada na casa junto ao Dique Boa Esperança. A marca foi nivelada na El. 59,69 m, enquanto o modelo reproduziu uma cota de nível de água na El. 59,33 m. Para forçar o modelo a reproduzir a cota dessa marca de cheia, seria necessária a adoção de coeficientes de rugosidade de Manning pouco realísticos, além de que o perfil geral ficaria não compatível com a marca de montante, identificada em construção na margem esquerda do rio Parnaíba.

Considerando a maior confiabilidade dos dados dos levantamentos de campo de 2017 e da respectiva modelagem dos perfis de escoamento, considerou-se que a segurança dos diques contra galgamento poderia ser analisada com base na cheia de 1985, considerando uma borda livre de 1,00 m. O diagrama apresentado na Figura 3.7 sintetiza os resultados comparativos dos perfis de escoamento, dos perfis atuais de coroamento dos diques e do perfil recomendado com borda livre. Os resultados numéricos das comparações entre os perfis podem ser avaliados a partir dos dados das Tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente para o Dique Poti Velho e Dique Boa Esperança.

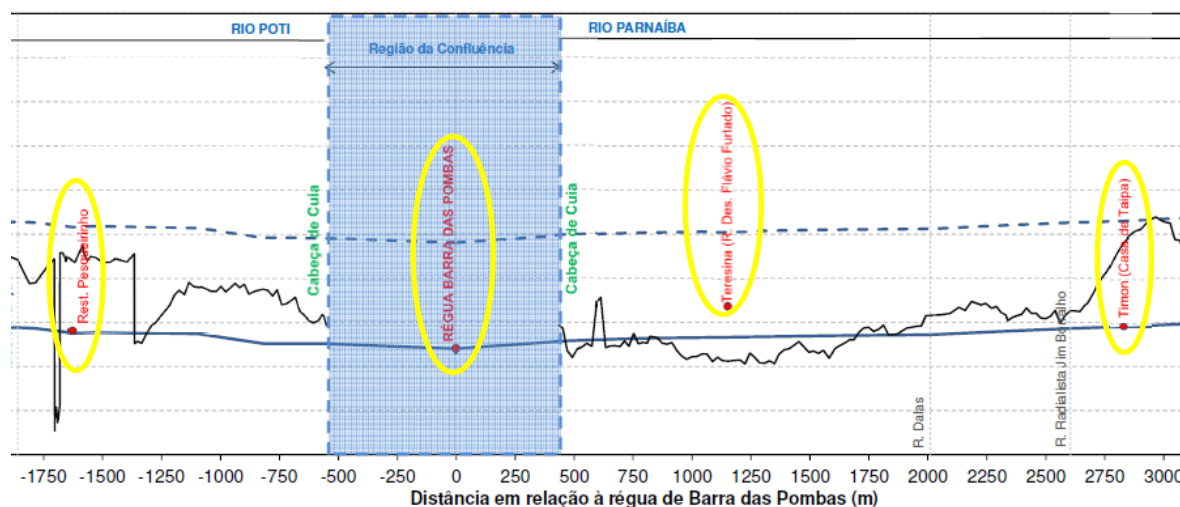


Figura 3.6 – Perfis de escoamento da cheia de 1985 e a congruência com as marcas cadastradas.

Tabela 3.1 – Dados comparativos do perfil de escoamento da cheia de 1985 com as cotas do Dique Poti Velho (rio Poti).

SEÇÃO	COTA DIQUE (m)	PERFIL CHEIA 1985 (m)	COTA COM BORDA LIVRE (m)	ALTEAMENTO NECESSÁRIO (m)
S1	-	59,00	-	-
S2	-	59,10	-	-
S3	-	59,20	-	-
FOZ	59,47	59,28	60,28	0,81
S18	59,59	59,28	60,28	0,69
S19	59,88	59,28	60,28	0,40
S20	59,90	59,38	60,38	0,48
S21	60,24	59,40	60,40	0,16
S22	59,95	59,44	60,44	0,49
S23	60,21	59,45	60,45	0,24
S24	60,24	59,47	60,47	0,23
S25	60,24	59,51	60,51	0,27
S26	60,54	59,60	60,60	0,06
S27	60,74	59,61	60,61	-
S28	60,73	59,61	60,61	-



Tabela 3.2 – Dados comparativos do perfil de escoamento da cheia de 1985 com as cotas do Dique Boa Esperança (rio Parnaíba).

SEÇÃO	COTA DIQUE (m)	PERFIL CHEIA 1985 (m)	COTA COM BORDA LIVRE (m)	ALTEAMENTO NECESSÁRIO (m)
S1	-	59,00	-	-
S2	-	59,10	-	-
S3	-	59,20	-	-
FOZ	59,47	59,28	60,28	0,81
S4	59,24	59,30	60,30	1,06
S5	59,34	59,34	60,34	1,00
S6	59,06	59,40	60,40	1,34
S7	59,18	59,42	60,42	1,24
S8	59,58	59,43	60,43	0,85
S9	59,52	59,47	60,47	0,95
S10	59,63	59,49	60,49	0,86
S11	60,66	59,53	60,53	-
S12	59,75	59,57	60,57	0,82
S13	60,39	59,66	60,66	0,27
S14	60,26	59,69	60,69	0,43
S15	59,98	59,77	60,77	0,79
S16	59,70	59,81	60,81	1,11
S17	59,55	59,86	60,86	1,31

Confirmando informações colhidas em campo com moradores locais, os perfis de escoamento indicam que houve galgamento dos diques em largas extensões de seu traçado, principalmente no trecho de jusante do Dique Boa Esperança, nos 1500 metros antes da confluência do rio Parnaíba com o rio Poti.

Também fica ressaltada a fragilidade do trecho em recorte do muro de pedra que compõe o Dique Poti Velho, na rua de acesso ao Restaurante Pesqueirinho.

Diante dos resultados obtidos com as simulações dos perfis de escoamento da cheia de 1985, o Painel de Segurança recomenda que os perfis dos diques sejam alteados para as cotas indicadas nas colunas 4 das Tabelas 3.1 e 3.2, independentemente da implantação da duplicação da Avenida Boa Esperança.

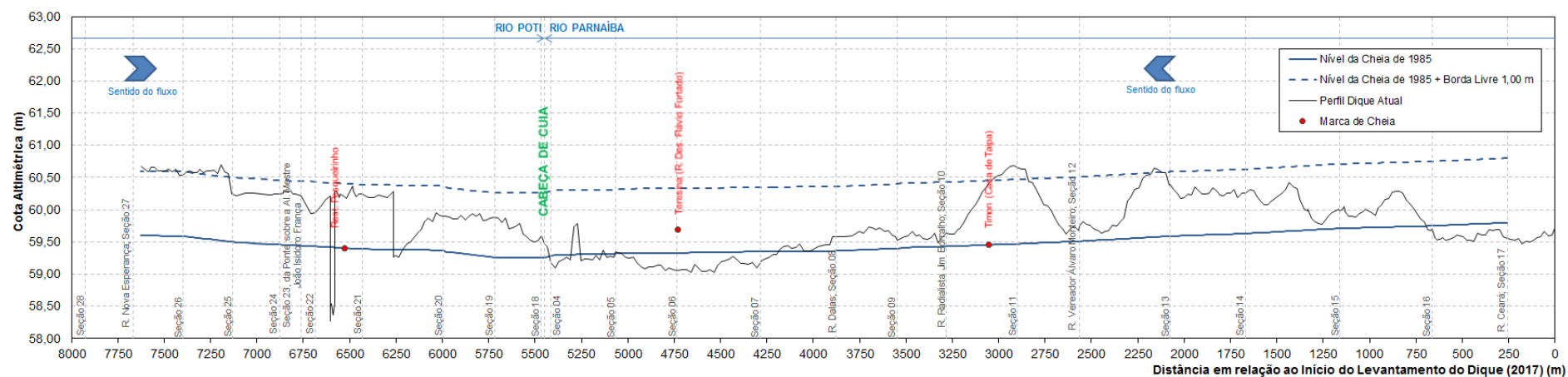


Figura 3.7 – Perfil do escoamento da cheia de 1985 ao longo dos Diques Boa Esperança e Poti Velho/Mocambinho.



4. QUESTIONAMENTOS DO MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL

Em função da imperiosa necessidade de remoção das benfeitorias que foram construídas irregularmente nos paramentos do Dique Boa Esperança, o que implica em relocação de pessoas, o MPE saiu em defesa da população envolvida e questionou a UGP Lagoas do Norte sobre a real necessidade de implantação do projeto de duplicação da Avenida Boa Esperança.

Na forma de condução do problema pelo MPE, com a convocação de audiências públicas nas quais a arguição de questões de segurança não foi relevada pela promotoria e pelo público, ficaram claros os conflitos entre os interesses individuais em detrimento de toda a população que está sendo beneficiada pelo projeto, entre a falta de assessoria técnica da promotoria e a pouca atenção dada aos aspectos cartesianos e de engenharia da questão. Atualmente, a população diretamente beneficiada pelo programa alcança cerca de 100.000 habitantes nas áreas de risco, além de todo o benefício indireto advindo das melhorias urbanísticas e sanitárias da região.

A seguir são apresentadas algumas considerações do Painel de Segurança sobre os questionamentos do MPE, contextualizando-se o problema e estabelecendo um cenário de referência relativo à condição atual dos diques, proposto pelo próprio MPE, que seria a condição inercial de não implantar o projeto de duplicação da avenida, naturalmente cancelando as ocupações existentes e abrindo espaço para o avanço de novas construções nas áreas de risco. Também se analisa uma proposta do MPE de alterar o traçado da Avenida Boa Esperança, aproximando a pista da margem direita do rio Parnaíba e assim desativando a função do dique atual.

4.1. Contextualização do Problema

A área de abrangência do Projeto Lagoas do Norte compreende uma baixada alagadiça junto à confluência do rio Poti com o rio Parnaíba. Em termos de morfologia fluvial, nota-se que a área das ipueiras foi formada em paleocanais do rio Parnaíba, indicando os testemunhos de migrações sucessivas do canal fluvial, geralmente ocorridas dentro do Período Quaternário nos últimos 1,50 milhões de anos da idade geológica do planeta. Essas áreas encontram-se incorporadas ao leito fluvial maior, ou planície de inundação, sendo alcançadas pelas cheias de maior porte.

Em uma das audiências públicas de contestação da obra de duplicação da Avenida Boa Esperança, argumentou-se a respeito de não se optar por outros métodos de controle de cheias que pudessem ser aplicados para a planície de inundação do rio Parnaíba, junto à foz do rio Poti, que atualmente está ocupada por uma população de cerca de 100.000 habitantes e é objeto das ações do Programa Lagoas do Norte.

Modernamente, a melhor solução para evitar os problemas das enchentes nessas áreas é evitar a sua ocupação, ou retirar a população das faixas de risco, dentro do alcance das cheias centenárias. Em áreas de ocupação consolidada, como no caso dos bairros em torno das



lagoas dos Oleiros e Mocambinho, a relocação de toda a população pode ser inviável, em razão de impactos sociais e econômicos. Assim, aceitam-se a sistematização da área e a implantação de obras de proteção para cheias de grande magnitude, sendo comum a proteção para a cheia centenária (período de retorno de 100 anos).

As obras implantadas na área, no âmbito do Programa Lagoas do Norte, são as mais indicadas para solucionar o problema, quais sejam: construção de diques que isolam as áreas de risco ocupadas das enchentes e a abertura de pôlderes, aproveitando a morfologia das lagoas marginais ou ipueiras.

Outros tipos de medidas de controle de cheias, como desvios dos canais fluviais, corte de meandros, dragagens e aberturas com revestimento dos leitos fluviais não se aplicam para o caso, por não haver a morfologia adequada para esse tipo de intervenção. A implantação de barragens com bacias de retenção nas cabeceiras das bacias dos rios Parnaíba e Poti dependeriam de amplos programas governamentais, com elevados custos de implantação. Ressalta-se que o rio Parnaíba já tem o seu regime de cheias atenuado pelos volumes de espera alocados no reservatório da UHE Boa Esperança, implantado a montante de Teresina. Entretanto, os reservatórios das usinas hidrelétricas operam com volumes de amortecimento de cheias para períodos de retorno entre 25 e 50 anos, significando que a ocorrência de uma cheia centenária leva ao esgotamento da capacidade de regularização e à consequente liberação dos picos das cheias.

O Dique Boa Esperança foi construído na década de 1970 para proteger a área de risco, mas ainda assim a cheia de 1985 galgou a estrutura em vários trechos, além de mostrar a falta de proteção ao longo da orla do rio Poti. Após esse evento, foi implantado o Dique Mocambinho e montadas estações de bombeamento nas lagoas internas isoladas pelos diques, que passaram a operar como pôlderes. O Programa Lagoas do Norte, em sua Etapa I, sistematizou a orla de algumas lagoas com planos viários e urbanísticos, saneou as áreas com coleta de esgoto e resíduos, relocou as benfeitorias mais vulneráveis às inundações e aumentou a capacidade de recalque das estações de bombeamento dos pôlderes.

Ao analisar os critérios do projeto da Etapa I do Programa Lagoas do Norte, o Painel de Segurança indicou algumas ações prioritárias para execução, como forma de garantir a segurança do empreendimento, destacando-se:

- Evitar a expansão das ocupações irregulares que estavam ocorrendo nos paramentos dos diques;
- Proceder ao nivelamento dos diques implantados;
- Executar levantamentos de seções batimétricas e elaborar estudos hidrológicos e de hidráulica fluvial para avaliar a segurança dos diques em relação à cheia de projeto, adequando a terraplenagem da cota de coroamento, considerando as indicações de que os diques haviam sido galgados na enchente de 1985.

Para a Etapa II do Programa Lagoas do Norte, foi prevista a ampliação das ações de saneamento e urbanismo, com a duplicação da Avenida Boa Esperança, que seria feita a partir



de um perfil que garantisse a segurança do dique para a cheia com 100 anos de período de retorno. Logicamente, para a duplicação da avenida seria necessária a retirada das benfeitorias irregulares. Diante da reação da população a ser relocada, o MPE solicitou que a UGP Lagoas do Norte considerasse a implantação do programa, sem a implantação da obra de duplicação da avenida. Essa possibilidade formata um quadro de condicionantes, que pode ser denominado de Cenário de Referência.

4.2. Cenário de Referência

O Cenário de Referência refere-se à condição atual de manutenção das benfeitorias construídas no paramento do Dique Boa Esperança, pressupondo-se também que o quadro de permissão estaria liberando toda extensão da estrutura para futuras ocupações.

A partir das inspeções de campo efetuadas pelo Painel de Segurança, ficou registrado que os diques não estavam seguros quanto à estanqueidade e à estabilidade geotécnica, devido às diversas incrustações das fundações das benfeitorias, à perfuração de fossas sépticas e ao crescimento de árvores com a respectiva penetração de raízes no maciço (Capítulo 2). Em adição, os estudos recentes de Hidráulica Fluvial (Capítulo 3), elaborados sobre uma base de levantamentos batimétricos e cadastramento de marcas de cheias, indicaram que os diques não se enquadram em critérios de projeto recomendáveis.

Portanto, para a garantia de segurança de toda a população protegida pelos diques e continuidade do Programa Lagoas do Norte, nos moldes dos critérios de projeto admitidos pelo Banco Mundial, é necessária a garantia de estanqueidade dos maciços (com a retirada das benfeitorias pelo menos do paramento de montante) e de borda livre contra galgamento (com o nivelamento do greide em conformidade com o perfil indicado na Figura 3.7).

O problema da segurança hidráulica dos diques pode ser mais bem explicado com base na mencionada Figura 3.7, na Figura 3.5 (curva-chave na seção Barra das Pombas) e na Figura 4.1 a seguir, que ilustra o gráfico da curva de frequência das cheias a jusante da confluência dos dois rios, no local da régua linimétrica Barra das Pombas, já considerando a soma das vazões dos rios Parnaíba e Poti.

A vazão que escoaria pela confluência na condição limiar de transbordamento dos diques, sem considerar borda livre, seria 7300 m³/s, que corresponde ao nível de água na El. 58,70 m (ver curva-chave na Figura 3.5). Essa vazão corresponde a um período de retorno de 50 anos (Figura 4.1), que não é aceitável como critério de projeto para uma obra de proteção contra cheias desse porte.

Ademais, caso se considere uma borda livre mínima de 1,00 m para o enquadramento em critérios de segurança, o nível de água de segurança se posicionaria na El. 57,70 m, correspondente a uma vazão de 5700 m³/s. Como esta vazão apresenta um período de retorno de apenas 10 anos, pode-se afirmar que esta é a condição de segurança atual dos diques, totalmente inaceitável como critério de projeto.



Portanto, pode-se concluir que o perfil do greide dos diques deve ser alteado para as cotas indicadas na Figura 3.7, obra que somente pode ser feita com a remoção das benfeitorias de pelo menos um dos paramentos do Dique Boa Esperança. Em suma, a condição existente no Cenário de Referência não pode ser aceita pelos responsáveis técnicos em avaliar a segurança dos diques.

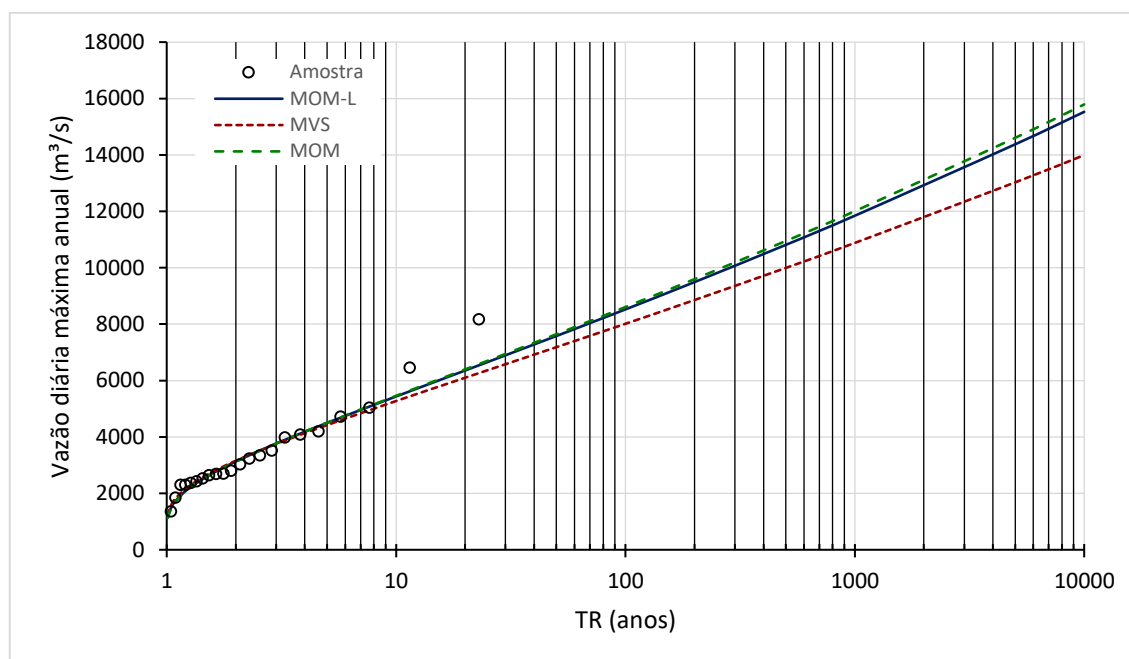


Figura 4.1 – Curva de frequência de cheias do rio Parnaíba a jusante da confluência.

No caso do Dique Poti Velho/Mocambinho, não ocorre o problema de construção irregular de benfeitorias, embora existam alguns pontos de atenção. A Figura 4.2 mostra dois pontos de descontinuidade no desenvolvimento do perfil longitudinal do greide, respectivamente **(i)** no recorte do muro de pedra da rua de acesso ao Restaurante Pesqueirinho e **(ii)** na interrupção brusca do muro de pedra, mas proximidades do Polo Cerâmico.

Para o caso do trecho vulnerável no acesso ao Restaurante Pesqueirinho, já foi desenvolvida uma concepção de projeto, baseada no alteamento da pista da rua, mantendo-se a condição de trafegabilidade de veículos.

Para o caso da descontinuidade do muro de pedra no trecho do Polo Cerâmico, pode-se projetar um dique externo às construções, mantendo-se a área de manobra de carga e descarga nos fundos das lojas. Esse dique não interferiria no escoamento das vazões de cheias do rio Poti, por estar localizado a uma distância relativamente afastada da margem da calha menor e em trecho isolado com velocidades de escoamento praticamente nulas.

No trecho final do Dique Poti Velho, nas proximidades do encontro dos rios, houve o crescimento de algumas árvores no paramento de montante, que deverão ser removidas para não comprometer a estanqueidade do maciço. Atenta-se também ao problema de erosões no paramento de montante do dique, causado pelas velocidades de escoamento mais elevadas na parte externa da curva que compõe a morfologia fluvial do rio Poti junto à confluência.

Esse problema fica mais relevante em condições de cheias com vazões mais elevadas no rio Poti, em relação ao rio Parnaíba. Nos estudos de Hidráulica Fluvial, foi feita uma simulação dos perfis de escoamento com vazão de 3000 m³/s afluindo pelo rio Poti, combinada com vazão de 1000 m³/s no rio Parnaíba. Verificou-se que as velocidades médias do escoamento pelo rio Poti aumentavam em até 25% em relação à condição de ocorrência de vazões elevadas simultâneas nos dois rios.

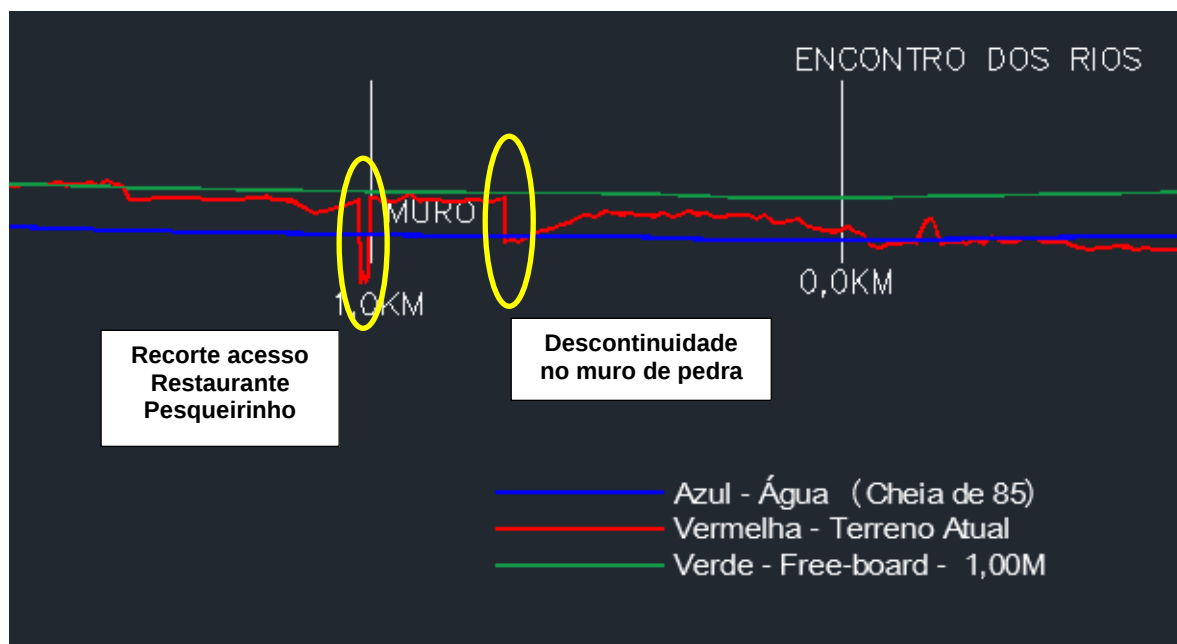


Figura 4.2 – Trechos vulneráveis do Dique Poti Velho.

Esse problema de erosão no paramento do Dique Poti Velho somente pode ser resolvido com obras de reforço no talude. Enquanto não forem implantadas obras de proteção no trecho, deve-se manter um acompanhamento em tempo real das condições estruturais do dique, durante a ocorrência de cheias, principalmente se as vazões maiores estiverem entrando pelo rio Poti.

4.3. Alteração do Traçado da Avenida

Além da proposição de não implantar o projeto de duplicação da Avenida Boa Esperança, o MPE apresentou uma alternativa para a solução projetada pela UGP Lagoas do Norte: deslocar o eixo de implantação da via para a direção da margem da calha menor do rio Parnaíba, conforme esquematizado na Figura 4.3. Pretendia-se, com esta alternativa, manter a população em suas ocupações sobre o dique atual e, ao mesmo tempo, dar continuidade ao conceito de urbanismo previsto na Etapa II do programa. Obviamente, esperava-se que as questões de segurança também fossem resolvidas com essa solução.

Esta proposta apresenta uma série de problemas que inviabilizam a sua implantação, começando pela morfologia fluvial da planície de inundação, que pode ser explicada pelo esquema da Figura 4.4.



Figura 4.3 – Traçado alternativo para a duplicação da Avenida Boa Esperança.

Conforme já mencionado, a área de abrangência do Programa Lagoas do Norte é dominada pelos paleocanais do rio Parnaíba, que tornam os terrenos alagadiços e sujeitos a inundações periódicas. Nos locais que já foram ocupados com calhas fluviais pretéritas formam-se lagoas (ipueiras), entremeadas com faixas de terras mais elevadas, vestígios de antigas margens, onde estão os traçados da urbanização. Entre a Avenida Boa Esperança e a calha atual do rio Parnaíba existem traços de paleocanais, que formam faixas longitudinais em cotas mais baixas que os terrenos adjacentes (Figura 4.4).



Figura 4.4 – Testemunhos de paleocanais na margem direita do rio Parnaíba, em Teresina.



Deslocar o traçado da Avenida Boa Esperança em direção à margem do rio Parnaíba significa projetar um traçado que percorra os terrenos mais elevados do dique marginal natural, evitando-se passar por dentro das ipueiras, pelas seguintes razões:

- As ipueiras localizam-se em terrenos baixos em relação às áreas adjacentes, com cotas oscilando entre a El. 55,00 m e El. 56,00 m, indicando que o aterro para a implantação de um novo dique deveria ter alturas médias de 5,00 m a 6,00 m, com alto consumo de material de empréstimo;
- Os fundos das ipueiras são ocupados com solo mole, de natureza argilosa, que deveriam ser removidos para a implantação dos aterros, gerando grandes volumes de bota-fora;
- Os terrenos próximos ao rio, junto ao dique marginal, são mais resistentes, formados por depósitos de areia e cascalho, e assim mais adequados para receber esforços de aterros.

Além disso, um eventual novo traçado para o dique deveria ser distante dos quintais das casas irregulares, para preservar um espaço tido pela população como importante para a manutenção de animais de criação e plantações diversas.

Entretanto, ao se aproximar do leito do rio Parnaíba, surgem problemas que onerariam a implantação de um novo dique, tais como grande consumo de material de empréstimo e necessidade de proteção do paramento de montante contra possíveis erosões, causadas pelas maiores velocidades de escoamento das vazões de cheias, já evidentes nas inspeções a alguns locais. Também se deve considerar a instalação de pôlderes com estações de bombeamento em todas as ipueiras, que não mais teriam conexão com a calha menor do rio Parnaíba.

Relevando-se a discussão de alternativas para o projeto de duplicação da Avenida Boa Esperança, tem-se como prioridade o problema de segurança de toda a população ser protegida contra cheias pelas obras do Programa Lagoas do Norte. Manter as ocupações irregulares no paramento de montante do dique implica, necessariamente, na construção de outro sistema de proteção contra cheias. Deve ser levado em conta o compromisso do problema: discute-se a conveniência de uma minoria contra o benefício da proteção de cerca de 100.000 habitantes das áreas inundáveis.

Durante as discussões havidas nas audiências públicas, em nenhum momento foi levantada a questão de que as ocupações ao longo do dique possam estar em terrenos da União, dentro da faixa da LMEO – Linha Média das Enchentes Ordinárias. Se for esta a questão, têm-se dois problemas relacionados às ocupações irregulares: (i) o comprometimento da segurança do dique e (ii) a construção em área *non aedificandi*, pois os terrenos ocupados seriam de propriedade da União.



5. SOLUÇÕES DE ENGENHARIA PROPOSTAS PARA O ALTEAMENTO DOS DIQUES

Excetuando o problema de estanqueidade que pode advir das ocupações irregulares no paramento de montante do Dique Boa Esperança, a aparência das estruturas, verificada nas inspeções de campo, não apresenta indícios de comprometimento estrutural e geotécnico. Entretanto, em largas extensões do perfil longitudinal dos diques, o greide apresenta cotas de coroamento abaixo do valor de segurança recomendável, para o critério de cheia de projeto com 100 anos de período de retorno e borda livre mínima de 1,00 m.

Aliando a necessária segurança com a composição urbanística e viária, projetou-se a duplicação da Avenida Boa Esperança, conforme detalhe mostrado na Figura 5.1.

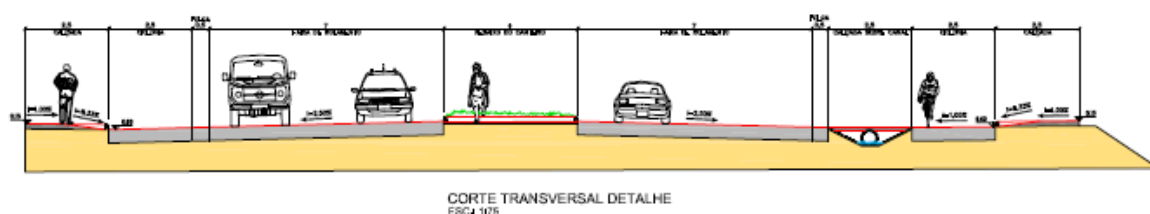


Figura 5.1 – Seção transversal típica do projeto de duplicação da Avenida Boa Esperança.

Este projeto apresenta-se adequado como solução de engenharia para garantir a segurança do dique, considerando que haverá remoção das benfeitorias construídas no paramento de montante e elevação do perfil do greide para os valores que preservem a borda livre mínima de 1,00 m, seguindo o critério indicado na Figura 5.2.

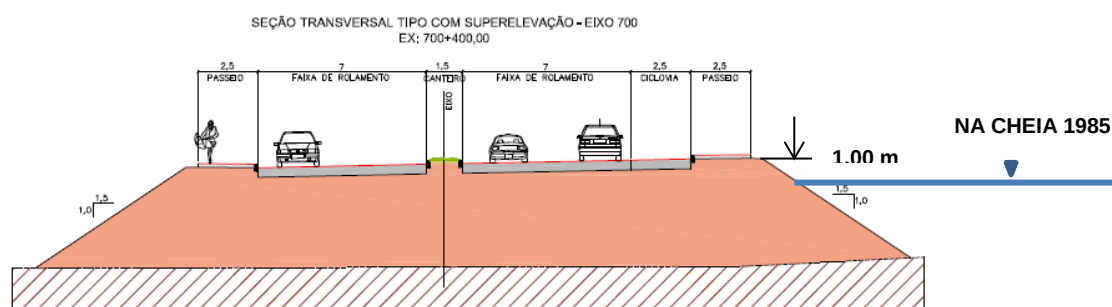


Figura 5.2 – Projeto de duplicação da Avenida Boa Esperança com greide acima do perfil da cheia de 1985.

Eventualmente, as elevações das cotas dos greides precisarão ser adequadas em algumas interseções, com perfis mais baixos que se compatibilizem com as ruas que fazem esquina com a Avenida Boa Esperança. Para que essas adequações não comprometam a segurança hidráulica do dique, os trechos com cotas inferiores poderão ser protegidos com muros de concreto, implantados junto à calçada da pista externa da avenida, conforme mostrado na Figura 5.3.

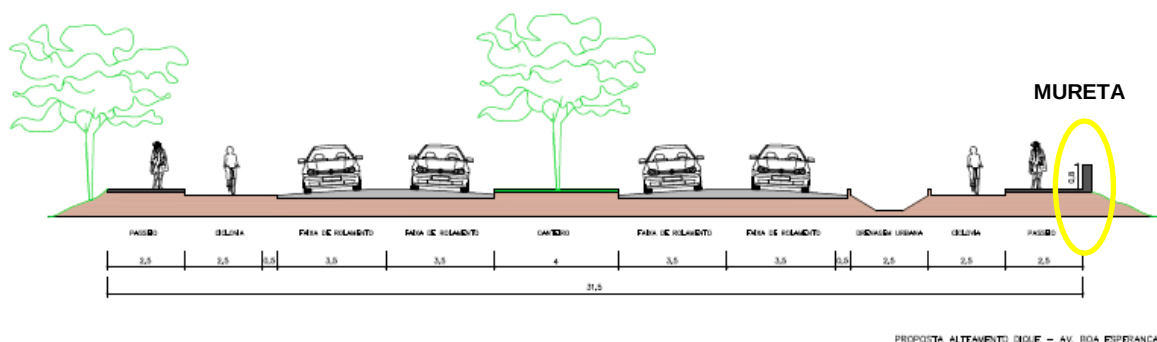


Figura 5.3 – Projeto de mureta de concreto para adequação do nível de segurança hidráulica do projeto de duplicação da Avenida Boa Esperança.

Como não está prevista a retirada das benfeitorias no paramento de jusante do dique, provavelmente a pista externa da duplicação (lado de montante do dique) ficará suportada sobre aterros em áreas das ipueiras, em alguns trechos, requerendo um tratamento especial de fundação.

Para o caso do Dique Poti Velho, os trechos vulneráveis a inundações estão localizados no recorte do muro de pedra na rua de acesso ao Restaurante Pesqueirinho e na descontinuidade do muro de pedra nas proximidades do Polo Cerâmico.

No primeiro caso, foi desenvolvida uma solução de engenharia para altear a rampa de acesso, conforme mostrado na maquete da Figura 5.4. Como alternativa a essa solução, pode-se também projetar uma comporta tipo stop-log, que seria colocada no vão tão logo as previsões indiquem a subida das vazões no rio Poti. Para o caso da área do Polo Cerâmico, pode-se idealizar uma solução conforme o croqui da Figura 5.5. O dique proposto pode ser em terra compactada ou em muro de concreto, caso se busque uma solução mais esbelta.

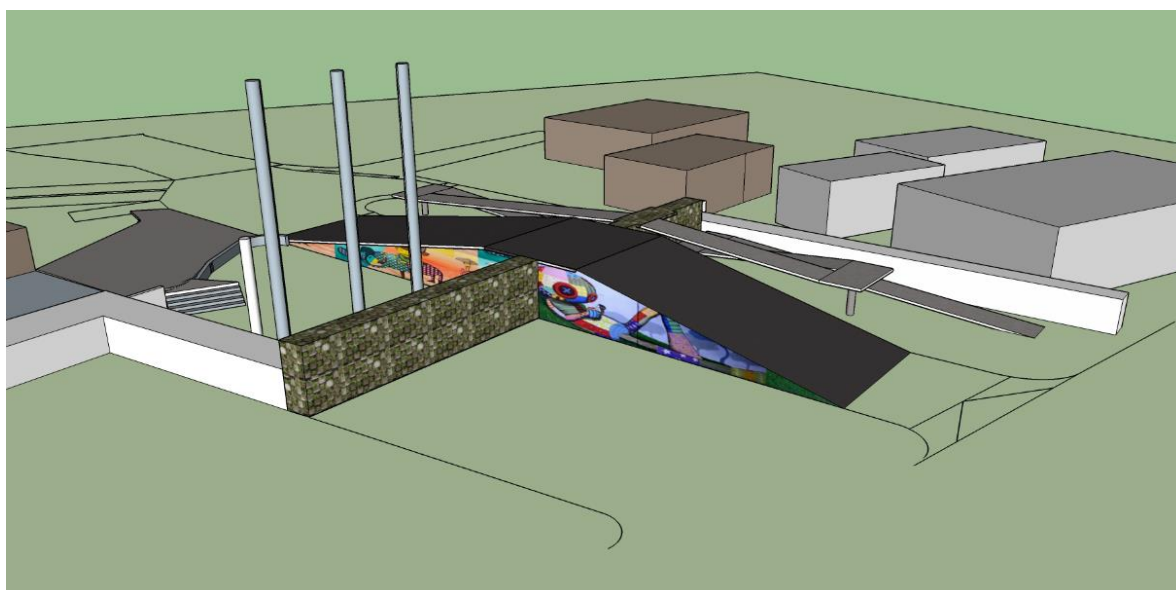


Figura 5.4 – Maquete da solução de engenharia proposta para o recorte no muro de pedra na rua de acesso ao Restaurante Pesqueirinho.



Figura 5.5 - Solução de engenharia para proteger a área do Polo Cerâmico.

Na margem esquerda do rio Poti, no trecho imediatamente a montante da confluência com o rio Parnaíba (Encontro dos Rios), tem ocorrido erosões nos taludes do dique, principalmente em eventos de cheias nos quais as vazões do afluente são maiores que as do rio principal (Figura 5.6). Para conter as erosões hoje existentes, foi prevista uma cobertura do talude do Dique Poti Velho com geomanta e tela de aço. Analisando-se essa solução proposta para a área do Encontro dos Rios, o Pannel de Segurança concluiu que a proteção da margem do rio Poti está adequada para garantir a estabilidade e a segurança do dique.

O projeto urbanístico para a região (Polo Cultural) prevê o deslocamento da Avenida Boa Esperança conforme mostrado na figura 5.6, mantendo os diques nas posições atuais com perspectiva de tráfego menos intenso na pista sobre sua crista.

Neste trecho dos diques Parnaíba e Poti (Encontro dos Rios), como não se verifica a borda livre mínima de 1,00 m (Figuras 3.7 e 4.2), recomenda-se adotar a mesma solução indicada na Figura 5.3, construindo-se uma mureta na calçada do dique/pista hoje existente, no paramento de jusante dos diques (face interna dos diques), adequando-as ao projeto urbanístico para a região.



Adicionalmente, considerando a Figura 4.2, verifica-se que o trecho inicial do Dique Mocambinho, imediatamente a montante do Restaurante Pesqueirinho, também não apresenta a recomendação de borda livre mínima. Para este trecho, que está construído como um muro de concreto, pode-se também implantar uma mureta, com cerca de 0,25 m de altura, conforme indicado no trecho entre as seções S24 e S25 da Tabela 3.1.



Figura 5.6 – Posição do eixo do projeto de duplicação da avenida em relação aos eixos dos Diques Boa Esperança e Poti Velho, na área do Encontro dos Rios.

Finalmente, deverá ser analisado o projeto viário em torno da rotatória, no trecho entre a interseção com a Rua Manuel Aguiar Filho e até a esquina com a Rua Desembargador Flávio Furtado, procedendo-se às adequações necessárias para o nível de proteção na El. 60,40 m, como forma de se concordar com a elevação de segurança proposta para o Dique Poti Velho. Para entendimento dessa recomendação, reporte-se à Figura 4.2 no trecho que indica a “descontinuidade do muro de pedra”, mostrando a vulnerabilidade local para o nível da cheia de projeto.



6. COMENTÁRIOS ADICIONAIS

Os levantamentos complementares de campo e os estudos de Hidráulica Fluvial elaborados em 2017 promoveram a consolidação de uma base técnica de dados bastante confiável para a verificação da segurança dos diques contra galgamento. Os estudos minimizaram as incertezas dos levantamentos anteriores, permitindo a adoção de uma borda livre de 1,00 m ao invés de 1,20 m como anteriormente recomendado.

A adoção da borda livre é fundamental para conferir a segurança hidráulica necessária, em razão de os perfis de escoamento terem sido determinados para a condição de regime permanente, esperando-se que ocorram pequenos desvios nos níveis máximos para a situação real de regime transiente.

As ocupações irregulares sobre o paramento de montante do Dique Boa Esperança devem ser sumariamente removidas, independentemente da duplicação da avenida. Também devem ser adotadas medidas para impedir a expansão das construções no paramento de jusante, as quais, mesmo trazendo menos problemas para a segurança do aterro, representam não conformidade em projetos de proteção contra cheias.