

ESTADO DO PIAUÍ
PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA
SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO
Departamento de Coordenação de Ações Integradas e Formulação Econômico-Social
Unidade de Gerenciamento do Programa Lagoas do Norte-UGP

PROGRAMA LAGOAS DO NORTE

Etapas: Preparação do Programa
Termos de Referência Nº22/2005

**Estudo de Avaliação das Condições de Estabilidade e Segurança do Dique dos Rios
Poti e Parnaíba – Relatório Final**

Rui Taiji Mori
Ronei Vieira de Carvalho
Mario Cicarelli Pinheiro(Pedro Agostinho Trindade?)

Contratos PMT/SEMPPLAN/UGP Lagoas do Norte- Nºs 2/2006, ../2006 e ../2006.

Abril/2006

APRESENTAÇÃO

Este documento constitui o Relatório Final dos Estudos de Avaliação das Condições de Estabilidade e Segurança do Dique dos Rios Poti e Parnaíba, em Teresina-PI (Termo de Ref 22/2005), abrangendo e consolidando as informações já apresentadas no Relatório Preliminar, de Fevereiro de 2006, e as que foram obtidas após sua emissão.

Devido à natural inter-relação dos aspectos hidrológicos, hidráulicos e geotécnicos inerentes à avaliação em questão e ao fato de que a visita de inspeção foi realizada em conjunto pelos três especialistas, no dia 27/01, julgou-se produtor que o mesmo, além de expressar as observações e opiniões individuais de cada consultor, reunisse em texto único aqueles aspectos e conclusões sobre os quais pode-se chegar a consenso no decorrer do trabalho.

Destaca-se que, embora tenha sido possível contar-se com alguma informação adicional, em relação às disponíveis para o Relatório Preliminar, as conclusões e recomendações então apresentadas permanecem válidas em essência.

Assim, devido a carência de dados, ainda existente e destacada no texto, não foi possível definir e quantificar com a precisão requerida todas as ações visualizadas e necessárias para garantir a segurança dos diques. Por essa razão, a estimativa de custos para as mesmas fica mantida ainda em termos globais.

1-OBJETIVOS

Os objetivos dos estudos compreendem avaliar, sob os pontos de vista hidrológico, hidráulico e geotécnico, as condições de estabilidade e segurança dos diques dos rios Poti e Parnaíba, estruturas de proteção contra inundações, por esses rios, de uma parte da região norte da cidade de Teresina, localizada nas proximidades de sua confluência, que abrange uma área de cerca de 13km² e é ocupada por uma população de quase 100 mil habitantes.

Em particular, esses estudos visam verificar a adequação das cotas de coroamento dos diques, a situação dos maciços de terra e sua resistência a eventual inundação, recomendar os procedimentos cabíveis em relação a locais considerados críticos (tanto para situações emergenciais quanto para a definitiva), fazer indicações relativas a manutenções preventivas e inspeções rotineiras, além de estimar custos para as ações e intervenções sugeridas.

2 – DADOS DISPONÍVEIS

Para a elaboração do Relatório Preliminar foram disponibilizados os seguintes documentos:

- I. Prefeitura Municipal de Teresina. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. Departamento de Coordenação de Ações Integradas e Formulação Econômico-Social. Unidade de Gerenciamento do Programa Lagoas do Norte – UGP, “Programa Lagoas do Norte. Estudo de Recuperação de Áreas Degradadas para a Região das Lagoas do Norte”, Setembro de 2005;
- II. Carlos E. M. Tucci, Marcus A. Cruz, “Estudo de Modelagem Hidráulica do Sistema de Drenagem para a Região do Programa Lagoas Norte. Relatório Final”, Setembro/2005;
- III. Carlos E. M. Tucci, Marcus A. Cruz, “Avaliação do Sistema de Drenagem Pluvial da Região do Mocambinho. Relatório Final”, Novembro de 2005;
- IV. Projeto Geométrico – Poty Velho – 2º BEC – Obras de Recuperação do Dique do Bairro Mocambinho

Os documentos II e III tratam especificamente do problema da drenagem da área interna aos diques, apresentando interesse limitado para o atendimento do escopo do presente trabalho. Por outro lado, o documento elaborado pela Prefeitura(doc.I) veicula informações concernentes às questões hidrológicas, importantes para o conhecimento do problema, especialmente no capítulo II (Caracterização da Área). O documento do item IV fornece elementos do projeto geométrico das obras de recuperação de trecho do referido dique, ora em execução.

Para a feitura deste Relatório Final pode-se contar ainda com dados hidrológicos coletados junto à Agência Nacional de Águas(ANA), descritos e comentados na Seção 4, e com um resumo de informações relacionadas à cheia de 1985 e ao projeto do dique, compiladas de Relatório da SEECLA, nº BH-029/85-00-A4-PE-03, de Outubro de 1985, intitulado “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”. Essas informações também são apresentadas e comentadas na Seção 4 deste informe.

3 – DESCRIÇÃO E ESTADO ATUAL DOS DIQUES

Os dois diques de proteção estão localizados ao longo da margem direita do rio Parnaíba e da margem esquerda do rio Poti e têm por objetivo evitar danos à propriedade e à vida dos moradores das áreas baixas na confluência desses rios. O do rio Parnaíba foi construído pelo DNOS no início dos anos 70, após fortes enchentes ocorridas no final dos anos 60, enquanto que o do Poti foi construído pela Prefeitura Municipal de Teresina, após novas enchentes significativas ocorridas na estação chuvosa de 1985.

Na estação úmida de 2004, novamente ocorreram enchentes na região, quando as águas do rio Poti sofreram elevação devido à coincidência de picos de uma cheia desse rio com a do Parnaíba, apesar de não ter havido ruptura dos diques. A invasão de águas superficiais nas casas mais baixas foi motivada por deficiência do sistema de drenagem interna, que coleta as águas de chuvas locais e as bombeia, através de duas estações elevatórias, para os dois rios. Na ocasião ocorreu também o colapso de algumas casas situadas muito próximas ao dique do rio Poti, imediatamente a montante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco.

Os diques são de solos e construídos sobre o aluvião silto-arenoso e silto argiloso das várzeas dos dois rios.

O dique mais antigo, construído pelo DNOS ao longo do rio Parnaíba, denominado atualmente de dique Boa Esperança, apresenta taludes muito suaves praticamente até o topo, típicos de aterro hidráulico. Este tipo de construção era comum nas obras do DNOS na década de 60. A cota de coroamento do dique Boa Esperança é variável sendo a máxima na El. 59,90 m. A variação na cota de crista do dique pode se dever aos assentamentos dos aluviões finos de fundação e do próprio corpo do dique, no caso de tratar-se de um aterro construído hidraulicamente.

O dique ao longo do rio Poti, denominado de dique Mocambinho, apresenta taludes mais íngremes, típicos de aterro compactado. Segundo informações coletadas durante a visita, o mesmo teria sido construído com coroamento na El 60,00 m, cerca de 1,50 m abaixo do que fora preconizado pela projetista, SEEBLA, para a região da foz. Essa diferença seria ainda maior em pontos mais afastados dessa região. Além, disso, existe um trecho com cota abaixo da El. 60,00 m, junto ao cruzamento das ruas Domingos Jorge Velho e Cedro, onde, segundo essas informações, o terreno estaria na El. 58,50 m, ou seja, cerca de 3,00m abaixo da cota de projeto.

Ainda segundo as mesmas fontes, o período de retorno correspondente aos diques nas cotas atualmente existentes seria da ordem de 100 anos porém, de acordo com os critérios do projeto da SEEBLA, em grande parte de suas extensões essa recorrência poderia ser inferior a 80 anos, como visto mais adiante, neste documento.

A inspeção realizada no dia 27 de janeiro de 2006 mostrou que os diques apresentam algumas deficiências técnicas, quais sejam:

- Cota de crista variável ao longo do mesmo rio,

- Ruptura de um muro protetor do dique do Poti, localizado proximamente à confluência e constituído de sacos de ráfia, preenchidos com cascalho e areia e revestidos com concreto.
- Erosão do pé de montante do dique, por socavação do rio Poti, a montante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco, onde se aliam, por ocasião de cheias, uma orientação mais frontal do fluxo e correntes secundárias de recirculação junto ao dique.

O Batalhão de Engenharia do Exército está realizando obras no trecho crítico, onde já ocorreu colapso de casas na cheia de janeiro de 2004. Recursos do Ministério da Integração Nacional estão sendo utilizados para fazer as obras de proteção do dique e margem do rio Poti, utilizando gabiões revestidos externamente com concreto, e apoiados em um enrocamento de grandes pedras lançado no pé abaixo do nível atual do rio. Informações colhidas durante a visita indicam que o trecho de talude em execução tem extensão prevista de 300 metros numa primeira fase (função dos recursos financeiros por ora liberados), e que é insuficiente para proteger todo o trecho onde o ataque do rio tende a ser mais intenso.

O talude do gabião é de 1V:3H nas cotas inferiores, seguida de uma berma intermediária e de 1V:1,5H nas cotas superiores. O gabião é feito de arame de 3mm revestido de PVC, e está sendo colocado sobre uma manta de geotextil que serve de filtro para o solo aluvionar subjacente não ser erodido. A face exposta do gabião será protegida contra vandalismo com revestimento delgado de concreto simples.

O trecho que sofreu maior dano, inclusive com colapso de casas vizinhas, já está construído com um muro de concreto projetado e malha de chumbadores com 8 m de comprimento preenchidos com nata de cimento. Os recursos para a execução desse muro, executado pelo mesmo Batalhão de Engenharia do Exército, vieram da primeira parcela da verba de emergência fornecida pelo Ministério da Integração Nacional. Este trecho está satisfatoriamente protegido

4 – ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

Da análise dos elementos disponibilizados para o Relatório Preliminar, listados na Seção 2 deste relatório, foi possível identificar as informações sobre os diques sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Cotas de coroamento dos diques e tempos de recorrência

Ref.	Dique	Rio	Cotas de coroamento (m)		Tempo de Recorrência (anos)
			Máxima	Mínima	
I	Boa Esperança	Parnaíba	60,1	59,3	80
	Mocambinho	Poti	ND	ND	ND
II e III	Boa Esperança	Parnaíba	59,9	ND	100
	Mocambinho	Poti	60,0	58,5	100

Já os Termos de Referência nº 22/2005 indicam as cotas 59,9 e 60,0 para os dois diques, respectivamente, e atribuem a ambas um tempo de recorrência de 100 anos. Além disso, veiculam a informação de que o dique Mocambinho teve sua crista implantada 1,5 m abaixo da respectiva cota de projeto, ou seja, da forma como está implantado, esse dique não estaria compatível com a ocorrência de um nível d'água centenário.

As informações compiladas do Relatório da SEEBLA, citado na Seção 2, e referentes ao projeto do dique, se resumem a:

- Cheias de projeto adotadas com TR=100 anos, correspondendo a vazões de pico de 4850m³/s no rio Poti e de 3800m³/s no rio Parnaíba. Notar que a vazão do rio Poti é maior que a do rio Parnaíba, possivelmente em função de seu regime mais torrencial e, também, de efeito residual do amortecimento do pico da cheia do Parnaíba pelo reservatório da UHE Boa Esperança(mais de 5000hm³ de capacidade), operado pela CHESF e localizado na parte alta da bacia;
- Condição de contorno do nível de água na confluência dos dois rios(nível de partida), para efeito do traçado das curvas de remanso: N.A.=60,00m;
- Borda Livre recomendada de 1,50m;
- Declividade dos perfis de escoamento ao longo do rio Poti: 0,0003 m/m entre 0 e 2000m da foz e 0,0002 m/m entre 2000m e 5500m da foz. Portanto, correspondendo a coroamento do dique(ou cotas de segurança mínimas) à El.61,50m na foz, El.62,10m a 2000m desta e EL.62,80m a 5500m da foz;
- Declividade do perfil de escoamento ao longo do rio Parnaíba: 0,0001m/m entre 0 e 9000m da confluência, ou seja, coroamento do respectivo dique(ou cotas mínimas de segurança) variando desde a El.61,50m na confluência com o Poti até aproximadamente a El.62,00m na altura da Alameda Parnaíba, por exemplo, localizada cerca de 5km a montante.

As informações acima e as da Tabela 1 por si só evidenciam a necessidade e a premência da realização de levantamento detalhado do perfil altimétrico longitudinal de ambos os diques, em toda a extensão, para dirimir as dúvidas geradas pelos diferentes valores de cotas constantes dos documentos consultados e, sobretudo, permitir quantificar as insuficiências efetivas de borda livre, trecho a trecho, e os volumes de obras complementação necessárias. Observar que, se determinadas cotas de coroamento constantes da Tabela 1 estiverem corretas, a área urbana objeto dessa avaliação estará vulnerável a inundação por cheias com períodos de recorrência inferiores a 80 anos, à luz dos critérios propostos no projeto SEEBLA.

Independentemente disso, devido ao tempo já transcorrido desde a elaboração do estudo da SEEBLA, para subsidiar o projeto dessas obras de complementação de coroamento, enfaticamente se recomenda a realização de estudos hidrológicos e de hidráulica fluvial

que permitam definir as cotas de coroamento dos diques para um mesmo tempo de recorrência, incluindo análises de sensibilidade quanto à simultaneidade da ocorrência de picos de cheias.

Os levantamentos de campo deverão contemplar a topobatimetria de seções transversais, com espaçamento médio de 300 m, no trecho do rio Parnaíba compreendido pelo posto Teresina e uma seção situada a jusante da ilha existente na confluência com o rio Poti. Neste afluente também deverá ser realizado o mesmo tipo de serviço, adotando-se, porém, um espaçamento médio de 200m entre seções transversais, desde a sua foz até o posto Fazenda Cantinho. Além disso, para apoiar os levantamentos topobatimétricos e permitir a calibragem do modelo de cálculo de remanso, deverão ser instalados três conjuntos de réguas hidrométricas. Dois no rio Parnaíba, sendo um deles na extremidade de jusante do estirão fluvial objeto dos levantamentos e um outro intermediário. O terceiro permitirá a medição de níveis d'água na região da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco, com os mesmos objetivos. Esses estudos e o levantamento altimétrico dos diques poderão subsidiar, dentre outras decisões, eventual reavaliação do tempo de recorrência de projeto, tendo em vista a expansão na ocupação da área protegida ocorrida nos últimos anos, além das cotas e localizações mais precisas dessas obras complementares. Informações sobre os dados de operação do reservatório da UHE Boa Esperança e o levantamento das cotas dos zeros das réguas limnimétricas da região de Teresina, inspecionadas durante a visita, são fundamentais para a garantia da consistência e da confiabilidade desses estudos.

Durante a visita aos diques observou-se que a capacidade de vazão dos rios Parnaíba e Poti em épocas de cheias já sofreu diminuição, em face da ocupação das margens, inclusive dos taludes dos diques, com habitações populares. No caso do rio Poti, o traçado do próprio dique, reduzindo parte de sua calha secundária pela margem esquerda, contribuiu para essa diminuição. A ponte Mariano Gayoso Castelo Branco, por meio de sua cabeceira da margem esquerda, também se constitui em obstáculo aos escoamentos do rio Poti, assim como o próprio dique que promove algum estrangulamento da calha fluvial na região dessa estrutura. As Figuras 1 a 4, ilustram esses fatos.



Figura 1 – Pista da Av. Boa Esperança, notando-se placa indicativa da evolução da ocupação da planície de inundação, ao fundo, do rio Parnaíba.



Figura 2 – Vista de montante para jusante do rio Poti, notando-se próximo à linha do horizonte a região que foi erodida na cheia de 2004, à esquerda, e a ponte Mariano Gayoso Castelo Branco, à direita.



Figura 3 – Local a montante da ponte supracitada, onde ocorre um estrangulamento da calha fluvial.



Figura 4 – Vista para jusante a partir da mesma ponte, notando-se a existência de construções na calha maior do rio Poti.

É necessário que se criem mecanismos para evitar a continuidade da implantação de estruturas que interfiram nos escoamentos fluviais. Preferencialmente, deveriam ser removidas as moradias que hoje se encontram instaladas no dique e entre ele e o curso d'água.

Também foi realizada vistoria dos postos fluviométricos locais, instalado na ponte Engenheiro Antônio Noronha, que liga Teresina a Timon, no estado do Maranhão, e na ponte da BR 343. Esses postos, que monitoram os rios Parnaíba e Poti, respectivamente, estão instalados em seções adequadas, mas os pilares das pontes foram utilizados como

escalas hidrométricas, o que pode resultar em distorções dos níveis d'água medidos durante cheias.

Com relação ao comportamento dos rios e sua inter-relação com os diques, tecem-se a seguir algumas considerações.

Em linhas gerais, o curso do rio Parnaíba na região de interesse é relativamente retilíneo, desenvolvendo-se aproximadamente no sentido norte, constituindo-se na fronteira oeste da cidade de Teresina em seus últimos 5 quilômetros aproximadamente, até a foz do rio Poti.

O dique desse rio, cujo traçado coincide com a avenida Boa Esperança, em sua maior parte mantém-se afastado da calha principal do Parnaíba em cerca de 200 metros. Desta forma, em condições normais o rio não tem como agredir a estrutura do dique. Em épocas de cheias, devido à maior concentração do fluxo na referida calha e à distância até o dique, as velocidades junto ao talude deste tendem a ser moderadas, portanto, sem condições de afetar sua integridade, como atesta o seu estado atual.

O rio Poti, que no trecho de interesse delimita a cidade de Teresina a leste e ao norte, tem forma meândrica, baixa declividade(ou seja, características típicas de trechos terminais dos cursos d'água naturais) e seus níveis são sensivelmente influenciados pelo remanso do rio Parnaíba, mesmo nas vazões baixas, como observado durante a visita de inspeção. É importante descrever com um pouco mais de detalhe a forma de seu desenvolvimento em planta e a posição relativa do dique correspondente, para melhor compreender as causas das erosões ocorridas tanto a montante quanto a jusante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco.

No trecho correspondente ao dique do bairro Mocambinho, o curso do rio Poti sofre duas inflexões – uma primeira, de 180 graus no sentido anti-horário, com raio de curvatura de cerca de 1km, seguida de uma segunda, cerca de 150 graus no sentido horário e de raio similar, terminando na própria confluência com o Parnaíba. A margem esquerda do rio Poti, a partir de seção em que ocorre a mudança de sentido das duas inflexões mencionadas(pouco a jusante da Lagoa do Mocambinho) fica sujeita à ação direta do fluxo do rio, seja em períodos de estiagem seja nas cheias. Ou seja, o lado externo da curva(lado de Teresina e do dique em questão) naturalmente tende a concentrar o fluxo e, portanto, a apresentar margens mais íngremes e profundidades maiores, ao passo que o lado oposto, com menores velocidades, tende a se tornar zona de deposição de sedimentos, com profundidades relativamente menores e margens mais suaves. Devido à natureza silto-arenosa e silto-argilosa dos solos constituintes dessas margens, sua vulnerabilidade à ação direta e contínua do fluxo, já nas águas baixas, resulta em taludes íngremes, de tênue estabilidade. Esta estabilidade pode ser facilmente comprometida por ações antrópicas, cujos resultados em geral se manifestam nas cheias menos freqüentes e com um pouco mais de energia que o usual.

Nos casos específicos das erosões ocorridas nos trechos a montante da ponte e das imediações da foz do rio Poti, as condições originais são as descritas, e as erosões(ou a ampliação de sua extensão) podem ser atribuídas às ações antrópicas ali ocorridas.

No primeiro caso, pelo estrangulamento da calha secundária representado pelas obras do encontro da ponte, do próprio dique e das casas e muros das vizinhanças que, em cheias mais significativas, ampliam o efeito de remanso ou sobre-elevação do nível d'água. Esse fato resulta em zonas de separação de escoamento, com a parte mais veloz se dirigindo em direção ao vão da ponte e correntes de recirculação junto à margem, de sentido anti-horário, turbulentas e intermitentes, capazes de socavar os taludes naturais ou artificiais que a elas se interponham, como comprovado pelos danos ocorridos em 2004.

No segundo caso, ou seja, na seção do muro de sacos de ráfia preenchidos com cascalho e areia e revestido com argamassa de cimento, que foi parcialmente destruído por socavação de sua fundação, o fenômeno aparentemente decorre de uma maior concentração do fluxo (parte externa da curva) agravada por deflexão gerada no encontro esquerdo da ponte, situada a montante. Evidentemente que a grande proximidade do muro em relação à calha e a pouca profundidade de sua fundação favoreceram aquela ocorrência. Os mesmos fatos conferem elevado risco de os trechos remanescentes daquele muro também virem a ser destruídos em cheias futuras, podendo eventualmente comprometer a estabilidade do próprio dique, praticamente contíguo ao muro no trecho em questão.

Posteriormente à emissão do Relatório Preliminar foram coletados junto à Agência Nacional de Águas – ANA os dados dos postos fluviométricos regionais identificados na Tabela 2, cuja localização é mostrada na Figura 5, incluída na página seguinte.

Tabela 2 – Dados fluviométricos de interesse

Código	Nome	Rio	Área de Drenagem (km ²)	Período de operação	
				Início	Fim
34600000	Francisco Ayres	Canindé	73.900	1983	1982
34610000	Outeiro	Canindé	76.970	1973	
34660000	Fazenda Veneza	Parnaíba	242.500	1955	
34690000	Teresina	Parnaíba	270.000	1963	
34789000	Faz. Cantinho II	Poti	50.000	1990	1991
34790000	Faz. Cantinho	Poti	50.000	1963	
34820000	Coelho Neto	Parnaíba		1999	
34879500	Luzilândia	Parnaíba	322.823	1982	

A análise preliminar desses dados indicou como de pouca utilidade para este documento os dados do posto Coelho Neto, face ao seu curto período de observação, e daqueles instalados no rio Canindé, devido às suas localizações.

Além disso, concluiu-se que os dados dos postos Fazenda Cantinho e Fazenda Cantinho II podem ser tratados como sendo de um único posto, devido à proximidade das suas instalações. Neste trabalho, para efeito de simplicidade, esses postos estão identificados com o nome do primeiro.

Verificou-se, também, que a pequena diferença entre as áreas de drenagem dos postos Fazenda Veneza e Teresina possibilita a transferência de dados de um para o outro sem grande margem de erro.

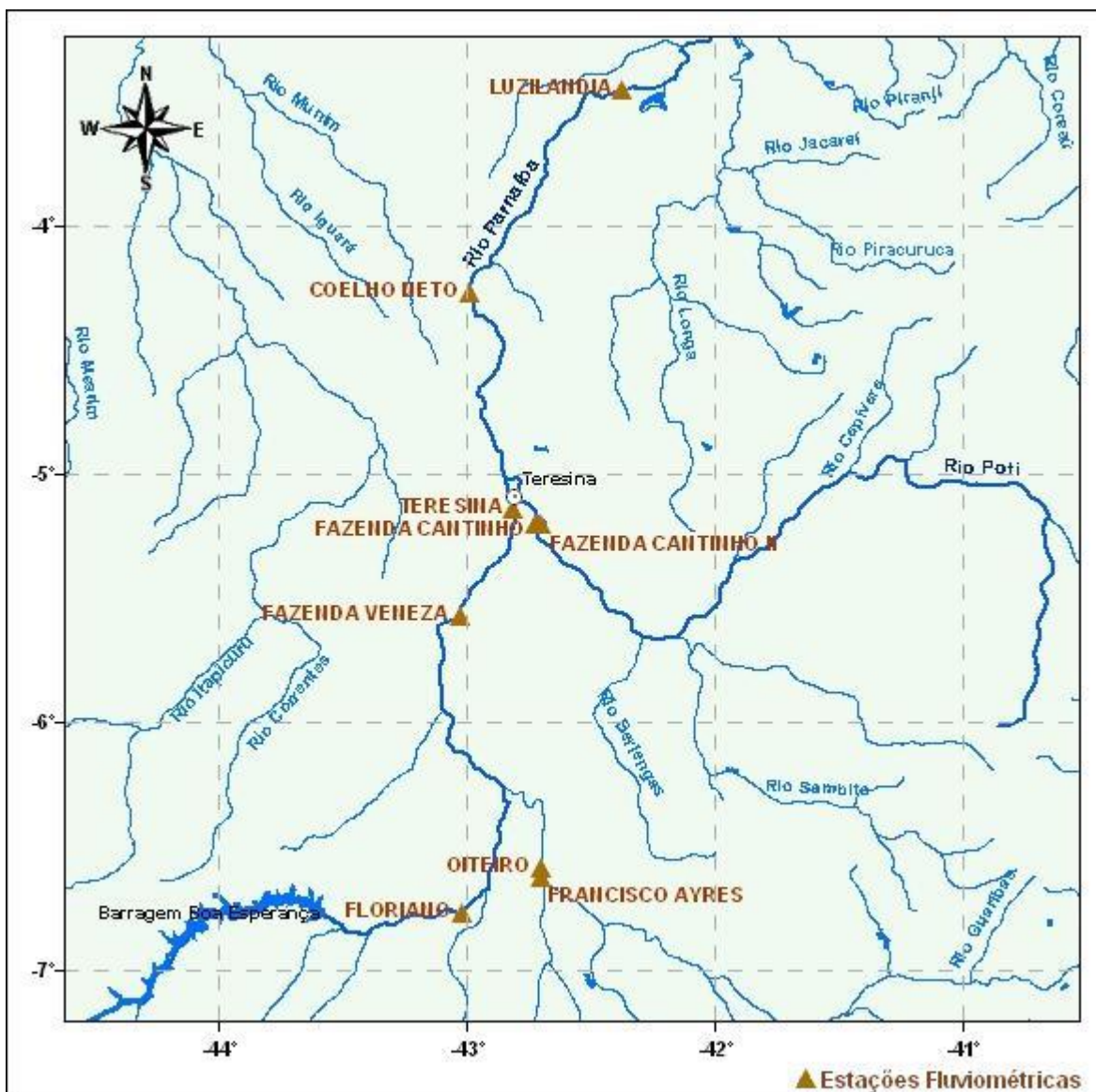


Figura 5 – Localização dos postos fluviométricos regionais

Hidrogramas de cheias

De acordo com entrevistas realizadas durante a visita de campo, as condições de cheias mais desfavoráveis correspondem àquelas em que há simultaneidade de altas vazões nos rios Parnaíba e Poti, conforme acontecido em 1985, 1995 e 2004. Dessa forma, dispendo-se desses novos dados(em relação ao que foi possível contar para o Relatório Preliminar) foram desenhados os fluviogramas relativos a esses eventos, utilizando as vazões

observadas nos postos Fazenda Veneza, Teresina, Luzilândia e Fazenda Cantinho, apresentados nas Figuras 6, 7 e 8.

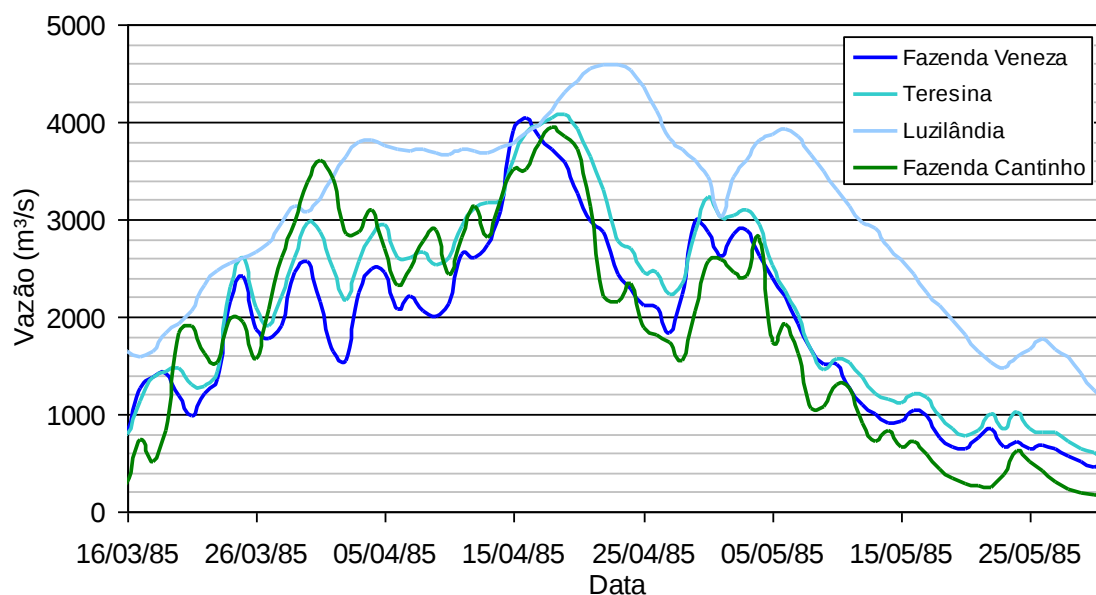


Figura 6 - Fluviogramas dos rios Parnaíba e Poti. Período 16/03/85 a 31/05/85

A inspeção do gráfico acima indica que os dados dos postos Fazenda Veneza e Teresina apresentam-se consistentes entre si. O posto Luzilândia, cuja bacia hidrográfica é cerca de 20 % maior que as áreas de drenagem dos primeiros, apresenta regime mais regular. A cheia que ocorreu no mês de abril e motivou a implantação do dique Mocambinho, foi a maior registrada tanto no posto Teresina ($Q_{\text{pico}} = 4.077 \text{ m}^3/\text{s}$, $TR = 20$ anos), como no posto Fazenda Cantinho ($Q_{\text{pico}} = 3.939 \text{ m}^3/\text{s}$, $TR = 40$ anos). Esses picos atingiram a cidade de Teresina quase que simultaneamente.

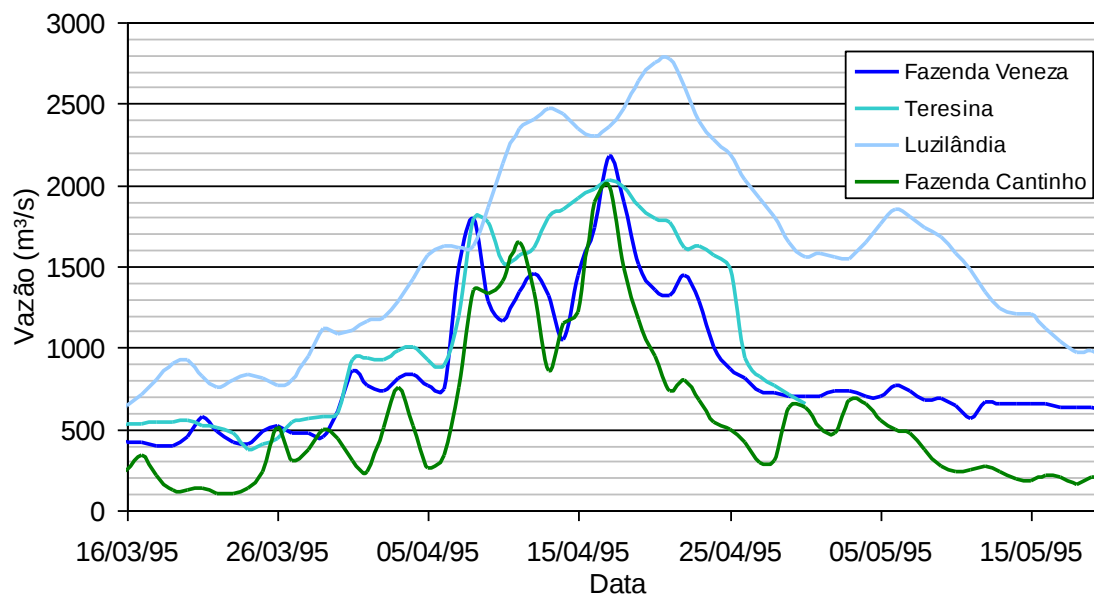


Figura 7 - Fluviogramas dos rios Parnaíba e Poti. Período 16/03/95 a 20/05/95

A inspeção do fluviograma da Figura 7 permite identificar um comportamento anômalo das vazões do posto Teresina, para a cheia ocorrida em abril/95. Nesse caso, conseqüentemente, as vazões em questão devem ser substituídas por dados transferidos do posto Fazenda Veneza, cuja área de drenagem é inferior em apenas 10% à área do posto Teresina.

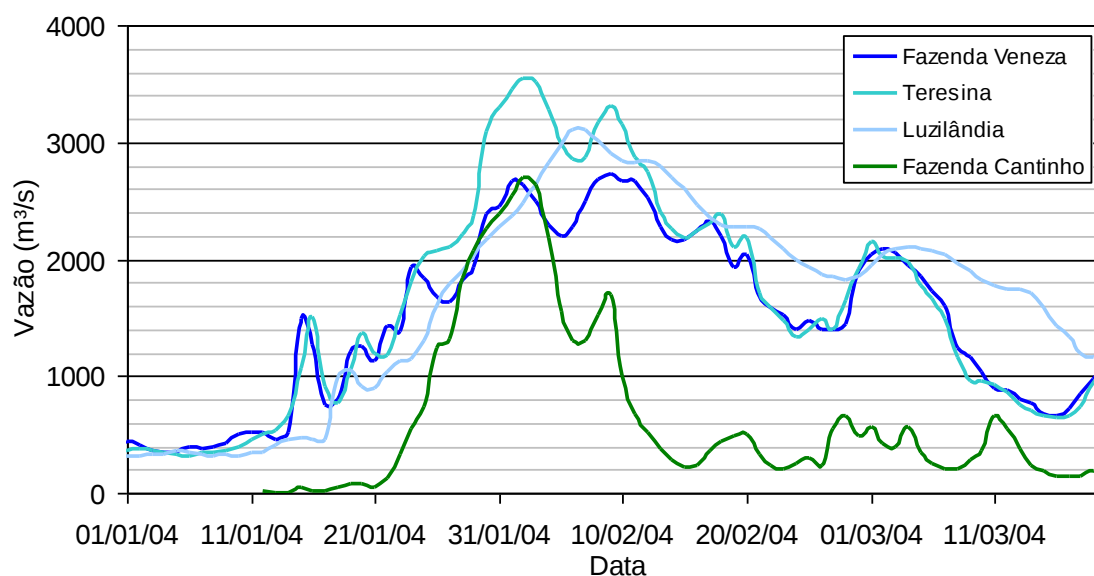


Figura 8 - Fluviogramas dos rios Parnaíba e Poti. Período 01/01/04 a 21/03/04

O fluviograma da Figura 8 também mostra inconsistência das vazões do posto Teresina, para a cheia ocorrida em janeiro-fevereiro/2004, com dados superiores até mesmo aos do

posto Luzilândia. Assim, as vazões do rio Parnaíba em Teresina também devem ser substituídas, conforme recomendado acima.

Em todos os eventos, a vazão máxima do rio Poti tendeu a se aproximar do pico ocorrido no rio Parnaíba, apesar da grande diferença entre as áreas das respectivas bacias hidrográficas. Isso pode ser explicado pela conjugação de dois fatores: a característica torrencial do rio Poti e o efeito de amortecimento das cheias do Parnaíba pelo reservatório da UHE Boa esperança.

Probabilidades de Ocorrências de Cheias na Cidade de Teresina

Para estimar essas probabilidades, foram selecionados os dados de vazões máximas anuais observadas nos postos Fazenda Veneza, Teresina e Fazenda Cantinho, relacionados na Tabela 3, da página seguinte.

Ressalta-se que, como o posto Teresina apresentava período de observação reduzido, falhas de observação e alguns valores inconsistentes, foi gerada uma série de vazões máximas anuais para o local, utilizando-se a correlação entre os dados referentes a eventos de cheia simultâneos nos postos Fazenda Veneza e Teresina, conforme ilustrado na Figura 9. Nos casos em que havia dados consistentes e superiores aos valores calculados pela equação de regressão apresentada na mesma figura, prevaleceram os primeiros.

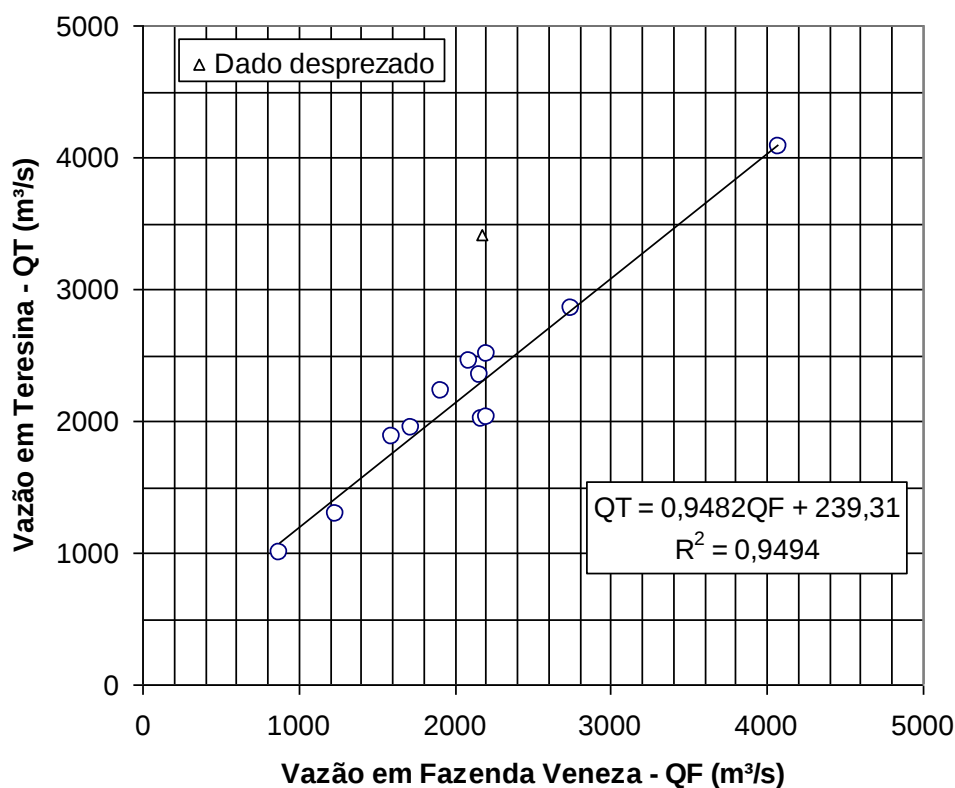


Figura 9 - Correlação de vazões máximas anuais do rio Parnaíba

Tabela 3 – Vazões máximas anuais (m³/s)

Ano hidrológico	Rio Parnaíba em Teresina			Rio Parnaíba em Fazenda Veneza		Rio Poti em Faz. Cantinho I e II	
	Dia/Mês	Vazão observada	Vazão gerada	Dia/Mês	Vazão observada	Dia/Mês	Vazão observada
63-64						15/abr	2780
64-65						22/abr	2610
65-66						10/fev	1610
66-67						09/abr	2760
67-68			2951	07/mar	2860	23/mar	2660
68-69			2240	18/mar	2110	16/mar	2070
69-70			1500	04/mar	1330	04/mar	784
70-71			2591	28/abr	2480	10/abr	1890
71-72			1358	24/abr	1180	03/abr	928
72-73			1931	28/mar	1784	14/abr	2972
73-74			3676	08/abr	3624	18/abr	3838
74-75			1603	19/mar	1438	10/mar	1791
75-76			1760	26/fev	1604	14/fev	1067
76-77			1828	30/abr	1676	07/abr	1882
77-78			2762	05/mar	2660	10/mai	1698
78-79			2553	22/fev	2440	26/fev	1122
79-80			4495	29/02	4488	08/mar	2465
81-82			3403	05/abr	3336	30/mar	1402
81-82	10/mar	1515	1735	19/jan	1577	25/abr	970
82-83	18/fev	2456	2456	14/fev	2090	10/fev	922
83-84	21/abr	2226	2226	21/abr	1920	16/abr	2234
84-85	19/abr	4077	4104	16/abr	4075	18/abr	3939
85-86	13/mar	2474	2365	03/abr	2242	06/mar	2837
86-87	10/mar	1948	1948	10/mar	1718	02/abr	1611
87-88	24/abr	2291	2136	25/mar	2001	24/abr	2465
88-89		Falha	2207	30/mar	2075	09/abr	2331
89-90		Falha	2402	24/dez	2281	22/dez	1367
90-91	07/abr	1773	1810	20/jan	1657	16/mar	984
91-92	13/fev	2017	2300	13/fev	2173	03/abr	1412
92-93	17/dez	1289	1418	17/dez	1243	03/mar	296
93-94	16/mar	1542	1712	14/abr	1553	09/mar	790
94-95	17/abr	2025	2337	17/abr	2212	17/abr	1991
95-96	17/abr	1483	1262	17/mar	1078	27/abr	1442
96-97	29/mar	3415	2299	28/mar	2172	28/mar	1728
97-98	22/jan	994	1074	21/jan	880	23/jan	225
98-99		Falha	1360	21/mar	1182	21/mar	1011
99-00	15/mar	2345	2345	15/mar	2157	17/abr	1334
00-01	04/abr	1186	1158	30/mar	969	15/mar	827
01*02	19/jan	2505	2337	19/jan	2212	07/abr	1255
02*03	22/jan	1527	1545	30/mar	1377	24/mar	1308
03*04	02/abr	3550	2849	09/fev	2752	02/fev	2730
04*05	21/mar	1878	1878	21/mar	1604	05/mar	714

Os dados do posto Fazenda Cantinho, foram, então, submetidos a análises estatísticas, resultando no gráfico da Figura 10.

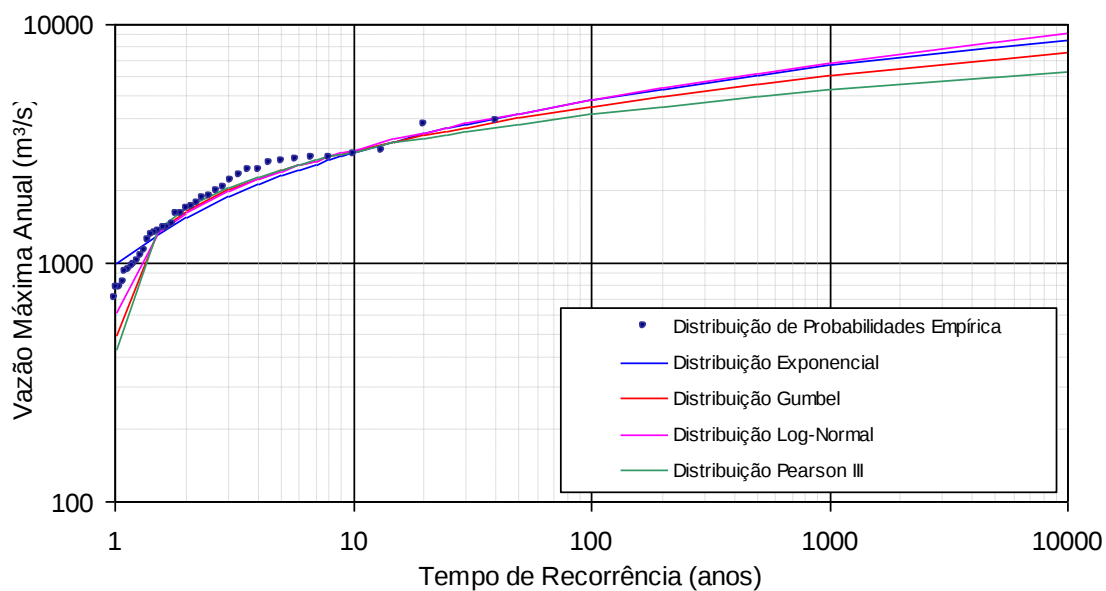


Figura 10 - Ajustamento de distribuições de probabilidades às vazões máximas anuais do rio Poti em Fazenda Cantinho

Estudo similar foi realizado, considerando os dados gerados para o posto Teresina, conforme ilustrado pela Figura 11, apresentada na página seguinte.

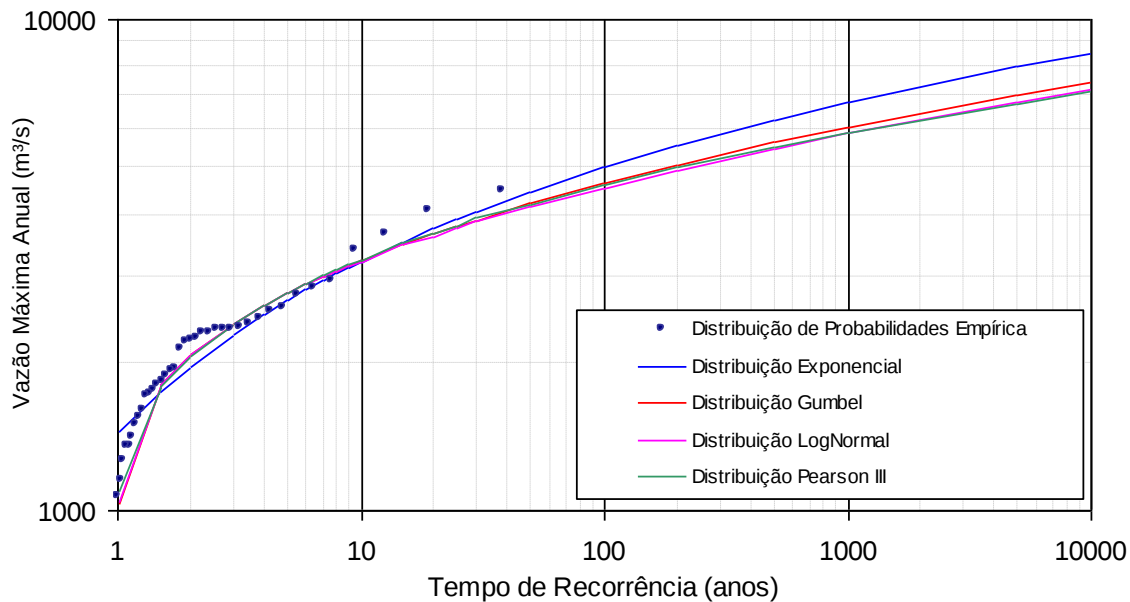


Figura 11 - Ajustamento de distribuições de probabilidades às vazões máximas anuais do rio Parnaíba em Teresina

A análise desse gráfico permite concluir que foi introduzida uma distorção nos dados de vazão do rio Parnaíba, principalmente para vazões na faixa de 2.100 a 2.400 m³/s, em decorrência, possivelmente, da regra de operação da Barragem Boa Esperança. Essa distorção provoca o descolamento das curvas representativas das distribuições de probabilidades correspondentes, conduzindo a uma sub-estimativa das vazões para tempos de recorrência superiores a cerca de 10 anos.

Para contornar essa dificuldade, foi realizado um ajustamento da distribuição de Gumbel apenas para as dez maiores vazões observadas em Teresina. A Tabela 4 fornece os valores de cheias estimados para vários tempos de recorrência pelo citado método, que apresentou o melhor resultado dentre as cinco distribuições de probabilidades ajustadas, de acordo com o teste de Filliben.

Tabela 4 - Tempos de recorrência e vazões de cheia estimadas para a cidade de Teresina

TR (anos)	10	25	50	100	200
Local					
Rio Parnaíba em Teresina	3366	4220	4853	5482	6109
Rio Poti em Fazenda Cantinho	2946	3587	4063	4536	5007

Como pelo critério atual de segurança as cotas das cristas dos diques devem estar associadas a tempos de recorrência de cerca de 100 anos, suas estruturas devem ter capacidade para conter as vazões de 5.482 m³/s e de 5.536 m³/s, ocorrendo simultaneamente nos rios Parnaíba e Poti, respectivamente. Alternativamente, os níveis

máximos com o mesmo tempo de recorrência não poderão trazer prejuízos, ou seja, devem situar-se no limite inferior das bordas livres dos diques.

Conclusões

Do ponto de vista hidrológico-hidráulico, a questão fundamental refere-se às cotas de coroamento dos diques, sobre as quais há divergências, além da informação de que o dique Mocambinho foi implantado com crista 1,5 m abaixo da projetada.

A análise preliminar das cheias, acima apresentada, possibilitou identificar as probabilidades de ocorrência de vazões máximas anuais nos rios Parnaíba e Poti. A conclusão dessa análise depende, no entanto, da determinação das cotas dos zeros das escalas fluviométricas locais. Além disso, visando um diagnóstico preciso, recomenda-se a realização dos levantamentos topobatimétricos e estudos hidráulico-hidrológicos já comentados.

Para os estudos recomendados, deve-se alertar que os dados de vazão do posto Teresina apresentam-se, freqüentemente, inconsistentes. Assim, sua utilização deverá ser procedida das devidas correções e preenchimentos de lacunas, sendo de utilidade nessa tarefa o uso de correlações com os dados do Posto Fazenda Veneza, conforme exemplificado neste documento.

5 – ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Situação do Maciço de Terra e sua resistência a uma eventual inundação de projeto.

A inspeção realizada permitiu visualizar as condições atuais dos diques de terra, relativamente à estabilidade e segurança dos mesmos como elementos estruturais de proteção da área ribeirinha interna.

Os problemas geotécnicos que podem ocorrer com esse tipo de obra são basicamente a sua estabilidade contra ruptura de taludes, recalques sofridos, que podem provocar trincamento do maciço e perda de altura, e erosão por solapamento do talude pelo fluxo de água do rio.

Estabilidade dos Taludes dos Diques e Recalques dos Maciços.

Os diques foram construídos há mais de 30 anos no caso do Dique Boa Esperança e 20 anos no caso do dique Mocambinho. Os taludes estão atualmente estáveis, na condição de longo prazo quando as pressões internas de água e sub-pressão, e recalques já estão estabilizados. Os esforços adicionais de represamento de água do lado externo são de curta duração, tempo de passagem da cheia do rio que é de no máximo um par de meses, insuficiente para criar uma rede de fluxo desfavorável no interior do maciço. Além disso, o desnível máximo entre o rio e o nível d'água interno do “polder”, nessas ocasiões, é de poucos metros. Durante a visita de inspeção foi possível observar o estado atual e inclinações dos taludes interno e externo, e pode-se afirmar, portanto, que relativamente à estabilidade do taludes dos diques, os riscos de ruptura são inexistentes.

Segurança contra Erosão e Socavação do Dique nas Cheias dos Rios.

Pelas características peculiares do dique Boa Esperança, incluindo sua localização relativamente à calha do rio, a probabilidade de ocorrência de problemas de erosão por solapamento da superfície do talude externo é menor do que para o dique Mocambinho.

O cenário crítico para produzir esse tipo de problema no dique Mocambinho é a ocorrência combinada de picos de cheias nos dois rios, crítica para a formação de inundações do recinto interno e, logo após, a descida do nível do rio Parnaíba quando a cheia do rio Poti ainda estiver alta.

A ação do ataque frontal das águas do rio Poti no talude do dique depende do ângulo de ataque e da velocidade de escoamento junto ao dique. Foram observados problemas de socavação, conforme descrito acima, em dois trechos do dique Mocambinho: a montante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco e próximo à confluência com o rio Parnaíba.

Área a montante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco

A solução em execução pelo Batalhão de Engenharia do Exército - gabiões revestidos com concreto, sobre manta filtrante de geotextil, é satisfatória. O único detalhe questionável nessa solução é o enrocamento de pé de apoio dos gabiões. Esse detalhe necessita ser bem ancorado no fundo do rio para que seja estável nas cheias. Pela inspeção realizada, o

enrocamento estava sendo satisfatoriamente executado. Na continuação da obra, cuidados devem ser mantidos para a boa execução desse detalhe. Deve-se evitar o uso de blocos de rocha de pequenas dimensões e o talude final do enrocamento submerso deve ser o mais suave possível.

O trecho que deve ser protegido com solução similar se estende até a inflexão do rio Poti para a direita(ponto de união dos dois meandros mencionados na seção 4 deste relatório), onde se observa taludes mais íngremes e em terra exposta, sinal de erosão recente, provavelmente de 2004. O comprimento total é de aproximadamente 1300m.

Área próxima à confluência do rio Parnaíba

O trecho onde o talude com proteção de muro em sacos de areia e cascalho sofreu ruptura, com aproximadamente 50 m de extensão, deve ser refeito. A solução a ser utilizada pode ser a mesma, porém com sacos de solo-cimento, em talude de 2V:1H, com concordância geométrica com o remanescente.

Recomenda-se também fazer nesse trecho uma proteção com enrocamento no pé, similar à que está sendo feita a montante da ponte, ao pé do revestimento de gabiões.

Coroamento dos diques

Caso as avaliações recomendadas na Seção 4 deste relatório conduzam à conclusão de que as cotas de coroamento do projeto SEEBLA permanecem válidas, deverá ser feita uma regularização ao longo de todo o dique, com sacos de solo-cimento revestidos com uma camada de argamassa ou concreto simples, onde o nivelamento de rua for inferior a 1,0metro. Onde a altura do dique necessite ser aumentada em mais de 1,0metro, impõe-se a execução de muros de concreto ou alvenaria armada. Essas considerações em princípio são válidas para os locais das aberturas existentes.

6 – CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E PROVISIONAMENTO DE RECURSOS

- Para a avaliação definitiva da adequabilidade das cotas de coroamento dos diques é fundamental a realização, a curto prazo, de nivelamento topográfico do perfil longitudinal dos mesmos, em toda sua extensão. Contudo, as informações e as análises constantes das seções precedentes já permitem concluir que, pelo menos em grande parte e levando em conta o critério de segurança atual, essa adequabilidade não está atendida;
- Igualmente é necessário o levantamento dos zeros das réguas limnimétricas visitadas, localizadas nos estirões de rio de interesse;
- Também devem ser providenciados o cadastro físico e a avaliação de custos para a desapropriação e relocação de moradias situadas junto aos diques, externamente a estes;
- Um estudo hidrológico atualizado de cheias, que leve em conta todos os dados disponíveis após o estudo da SEEBLA, incluindo os referentes às laminações das cheias do Parnaíba pelo reservatório da UHE Boa Esperança, deve ser realizado, seguindo a linha da análise preliminar apresentada na Seção 4 deste relatório;
- Associada ao estudo de cheias, a análise hidráulico-fluvial dos estirões dos rios Poti e Parnaíba, com a determinação dos perfis de remanso, para diversos cenários de simultaneidade de eventos hidrológicos, é condição essencial para decisões tecnicamente bem fundamentadas, em termos de garantia da segurança desejada;
- Para subsidiar tal análise devem ser feitos os levantamentos de seções topobatimétricas, a instalação de réguas limnimétricas e a obtenção dos perfis de nível de água descritos na Seção 4. Como suporte aos projetos das obras de recuperação, tanto a montante da ponte Mariano Gayoso Castelo Branco quanto nas imediações da confluência, recomenda-se ainda o levantamento de seções transversais topobatimétricas específicas, abrangendo a faixa de terreno marginal e calha do rio, neste caso até cerca de 20,0 metros em seu interior, pelo menos. Evidentemente, na fase de projeto dessas obras, e mesmo nas de alteamento dos diques, investigações geotécnicas específicas deverão ser programadas pelos respectivos projetistas, onde se mostrar necessário;
- Caso já não tenha sido providenciado, recomenda-se adequar a lei de zoneamento urbano do município, onde pertinente, de modo a proibir a ocupação da faixa marginal referente a esses diques com construções ou benfeitorias que representem obstáculo ao livre fluir das águas dos rios nas épocas de cheias.

- Da mesma forma, recomenda-se a criação nessas áreas de espaços públicos de esporte, cultura e lazer que inibam a transgressão à legislação acima e ao mesmo tempo também não representem restrição ao fluxo das águas;
- Recomenda-se o estabelecimento de uma rotina de fiscalização mensal para coibir tentativas de transgressão à legislação nas mesmas;
- Também se recomenda o estabelecimento de uma rotina de monitoramento do estado de funcionamento e de manutenção para as instalações das estações de bombeamento e comportas de controle, de modo que o mal funcionamento ou a má conservação de seus componentes não comprometam a eficácia do sistema de proteção da população interna e, no caso dos diques, sua integridade física. Relativamente a este último aspecto, vazamentos nas tubulações de recalque(embutidas nos aterros dos diques) ou erosões localizadas nos contatos das estruturas de concreto com o maciço dos aterros, podem evoluir rapidamente e, se não detectados e reparados no devido tempo, se tornarem pontos críticos para a estrutura dos diques por ocasião de cheias significativas. Nesse caso se considera que uma inspeção a cada dois ou três meses pode ser suficiente, desde que detectado qualquer problema mais relevante o mesmo seja sanado em tempo hábil;
- Quanto à estimativa de custos para as intervenções e levantamentos sugeridos ao longo do texto deste relatório, considera-se impraticável, nas circunstâncias atuais, apresentar-se valores com alguma consistência para cada item abordado. Assim, recomenda-se em primeira aproximação um provisionamento da ordem de R\$ 8,0 milhões de Reais para custear a realização das ações que venham a se mostrar efetivamente necessárias em consequência dos estudos e levantamentos recomendados. Naturalmente, a UGP poderá assumir alguma variação em torno do valor sugerido, em função do seu melhor conhecimento dos custos locais para os tipos diversos tipos de serviços mencionados;
- Por último, recomenda-se como de grande utilidade para a Prefeitura de Teresina(caso já não exista) uma interação estreita com a CHESF no sentido de, no futuro, poder conhecer com antecipação a ocorrência de cheias no rio Parnaíba e suas magnitudes, o que otimizaria a operação do “polder”.