

Controle de Enchentes Urbanas O Caso da Baixada Fluminense

Jerson Kelman, Jonatas Costa Moreira, Paulo Canedo Magalhães¹

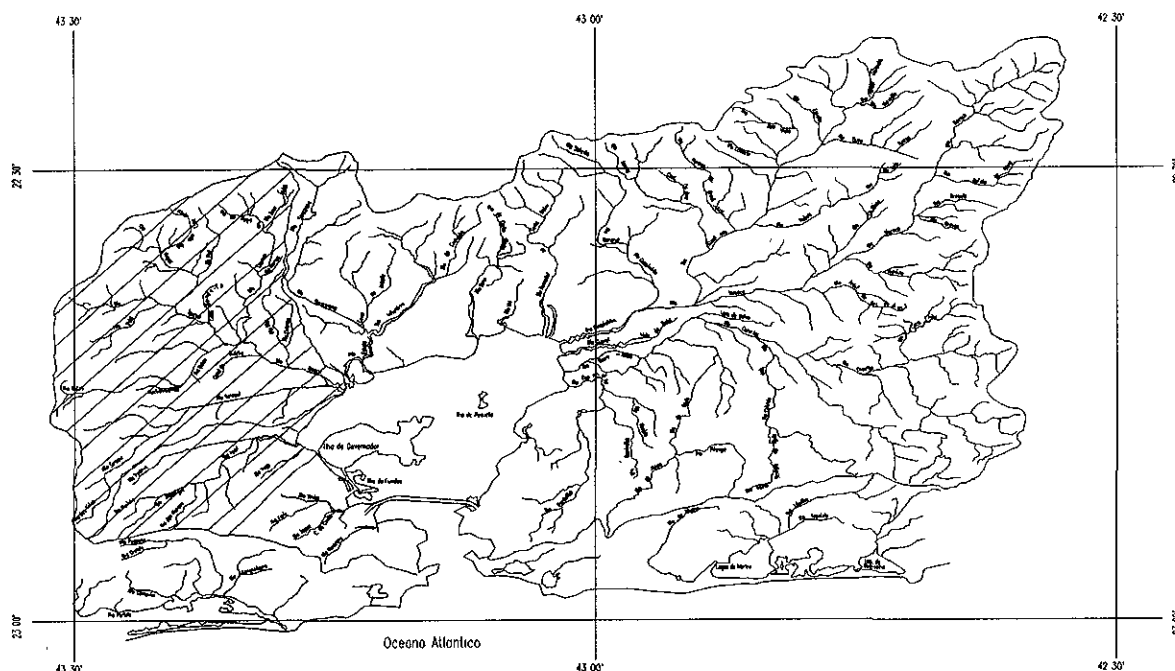
1) Introdução

Parte da Baixada Fluminense, localizada nas cercanias da cidade do Rio de Janeiro, e mostrada com hachuras na Figura 1, foi objeto de inúmeras intervenções patrocinadas pelo governo federal a partir da década de 30, para combate às enchentes. Entre estas, a construção de canais, diques, comportas e estações de bombeamento que visavam essencialmente o combate às endemias de veiculação hídrica e a recuperação de extensas áreas alagadiças. As estruturas hidráulicas foram projetadas para uso agrícola, e não urbano, já que os critérios de projeto então empregados admitiam a ocorrência de inundações de curta duração.

O processo migratório que se iniciou a partir da década de 50, e que se acelerou a partir da década de 70, fez com que as áreas fronteiriças à cidade do Rio de Janeiro fossem intensamente ocupadas por numerosos contingentes populacionais que lá foram edificar suas moradias, em geral de forma desordenada. Hoje, a Baixada Fluminense abriga mais de 3 milhões de habitantes, em 6 municípios. O caótico processo de urbanização acarretou as seguintes consequências:

- ocupação do leito maior dos rios e em muitos casos do leito menor, o que tem impossibilitado a construção de avenidas canais e a manutenção dos cursos d'água;
- acelerado processo de assoreamento, devido ao desmatamento das encostas e ao lixo não recolhido por administrações municipais bastante carentes;
- aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização da bacia hidrográfica;
- destruição das estruturas hidráulicas, particularmente comportas e bombas, para venda dos componentes como sucata, ou por puro vandalismo.

Figura 1- Mapa de localização



¹ Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA), Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

Não é surpresa, que, com o passar dos anos, diferentes tempestades de verão de intensidade semelhante, provoquem cheias cada vez mais devastadoras, formando contingentes de flagelados cada vez mais numerosos. O problema tem sido agravado pela política de saneamento, que apesar de levar água encanada à maior parte dos domicílios da Baixada, tem falhado no estabelecimento de uma estrutura de coleta e tratamento de esgotos. Hoje, toda a Baixada é entrecortada por uma rede de valas poluídas que transbordam por ocasião das chuvas, causando sérios problemas de saúde para a população.

Em fevereiro de 1988, uma cheia excepcional deixou um rastro de destruição, mortes e doenças. Este evento motivou o Governo do Estado do Rio de Janeiro a criar um programa emergencial de reestruturação da infraestrutura urbana das áreas afetadas, com ênfase em obras de macrodrenagem. O Programa Reconstrução-Rio obteve financiamento do Banco Mundial (BIRD) e da Caixa Econômica Federal (CEF). Por diversas razões de caráter político-administrativo, a parte principal das obras de macrodrenagem, no valor total de US\$ 130 milhões², e só começou a ser executada em 1994, com conclusão prevista para meados de 1995. Sabe-se que esta intervenção não será suficiente para sanar décadas de abandono e de urbanização caótica. Por exemplo, na bacia do rio Iguaçu-Sarapuí, que é a mais densamente ocupada da Baixada Fluminense, a mancha de inundação antes das obras atingia uma população de cerca de 300.000 pessoas. Depois das obras, a mancha remanescente ainda atinge uma população de 180.000 pessoas. Por esta razão, a SERLA, com o apoio do BIRD, da CEF, e do PNUD, elaborou o Plano Diretor Integrado de Controle de Inundações da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí. O Plano visa complementar o atual programa de obras, elencando as principais iniciativas de prevenção contra as inundações, principalmente nos domínios institucional, de uso do solo e de equipamento urbano (coleta de lixo, por exemplo). A metodologia empregada na Bacia do rio Iguaçu será replicada às demais bacias urbanas da Baixada Fluminense.

II) Obras do Reconstrução Rio

A intervenção constou de três tipos de obras:

- (i) aperfeiçoamento da capacidade de escoamento dos rios e canais;
- (ii) construção de duas barragens de contenção de cheias;
- (ii) remoção de obstáculos ao escoamento, principalmente pontes mal dimensionadas.

Em termos globais, os dados do projeto são:

Tabela 1 - Síntese das Obras de Macrodrenagem

ITEM	UNIDADE	QUANTIDADE
EXTENSÃO CANAL EM SOLO	M	117.364
EXTENSÃO EM GALERIA	M	12.260
EXTENSÃO EM CANAL EM CONCRETO A CÉU ABERTO	M	6.965
VOLUME DE DRAGAGEM	M3	7.008.012
VOLUME DE CONCRETO	M3	53.013
VOLUME DE ESCAVAÇÃO	M3	1.933.606
PAVIMENTAÇÃO	M2	74.610
ESTACAS RAIZ E PRANCHA	M	16.648
PAREDE DIAFRAGMA	M2	751
PONTES	UN	3
REASSENTAMENTO	UN	2.200
MACIÇO COMPACTADO	M3	604.007
GABIÃO MANTA	M2	3.800
GABIÃO CAIXA	M3	1.800

² Somatório dos repasses feitos pela CEF, convertidos em dólar na data da transferência para o Estado do Rio de Janeiro.

III) Condicionantes do Projeto

Descreve-se na seqüência os critérios adotados, bem como alguns condicionantes que impuseram a escolha da solução do problema, e da sua correspondente modelagem hidráulica.

1) Campo de Gericinó

Existe na Baixada no Fluminense uma extensa área de propriedade do Exército, utilizada para exercícios militares. A SERLA e o Exército realizaram um convênio para permitir a construção de uma barragem de contenção de cheias transversal ao Rio Sarapuí, que corta o Campo de Gericinó. Posteriormente o convênio foi ampliado para permitir a construção de uma segunda barragem, transversal ao Rio Pavuna, que também corta o Campo de Gericinó, com alinhamento aproximadamente paralelo ao Sarapuí. Ambas as barragens têm as cristas interligadas na cota 23 m por uma pista com comprimento total de cerca de 3600 m e se localizam perto da extremidade de jusante do Campo de Gericinó, nas proximidades dos municípios de Nilópolis (Sarapuí e Pavuna) e do Rio de Janeiro (Pavuna). A área de drenagem conjunta das duas bacias, nas barragens, é de 73 Km².

As barragens podem ser visualizadas como uma extensa parede, com altura máxima de cerca de 10 m, perpendicular ao curso dos dois rios, com dois orifícios, um localizado no curso do Rio Sarapuí e o outro no curso do Rio Pavuna. Na situação normal, quando não estiver chovendo, ou estiver chovendo "pouco", os rios fluirão pelo respectivos orifícios, sem maiores alterações. Assim, quem visitar as barragens num dia normal poderá ficar desapontado por não encontrar o espelho d'água que a maior parte das pessoas associa à imagem de uma barragem. No entanto, sempre que chover intensamente, a vazão dos rios poderá ultrapassar a capacidade dos orifícios, formando-se uma retenção de água atrás das barragens, que irá inundar por algumas horas parte do Campo de Gericinó. Para que se tenha idéia deste efeito, para o evento com tempo de recorrência de 20 anos, o pico de vazões afuentes a Gericinó será de 171 m³/s, na barragem do Sarapuí, e de 51 m³/s na barragem do Pavuna. Já as vazões efluentes, isto é, as que passam pelos orifícios, serão respectivamente de 32 m³/s e 12 m³/s. Isto significa que os picos das descargas, para o mesmo evento meteorológico, serão respectivamente 19% e 24 % após construção das barragens, do que eram antes da construção. Por consequência, o nível d'água a jusante da barragem será bem mais baixo do que era antes da construção, para eventos meteorológicas de análoga intensidade. Este rebaixamento terá efeito não apenas nos cursos d'água principais, mas também em seus afluentes que drenam os municípios de Nilópolis, Rio de Janeiro, Belfort Roxo, São João de Meriti e Duque de Caxias. Tudo se passa como se as inundações fossem transferidas da região a jusante das barragens, onde a população mora, para montante das barragens, onde ninguém mora. Para o evento mencionado, com tempo de recorrência de 20 anos, o rebaixamento do nível d'água no Rio Sarapuí atingiria quase 3 metros, no município de Nilópolis e volume retido no reservatório seria de cerca de 1,5 milhão de metros cúbicos.

No reservatório temporário, o nível d'água ficaria abaixo da cota 19 m, que é o nível d'água a partir do qual ocorre vazão pelo vertedor em adição à vazão pelo orifício. Para a situação limite, em que o nível d'água alcança a cota 22 m, a apenas 1 metro da crista da barragem o lago terá o volume de 13,8 milhões de metros cúbicos.

A construção das barragens tornou dispensável a canalização do Rio Sarapuí a jusante da barragem, uma obra cujo custo havia sido estimado em mais de US\$ 30 milhões. Já para o Rio Pavuna, não foi possível evitar a canalização do trecho de cerca de 6,5 Km, que funciona como limite entre os municípios do Rio de Janeiro e Nilópolis (montante)-São João de Meriti (jusante). A barragem tornou possível a canalização, por diminuir as dimensões da seção transversal, o que resultou em substantiva diminuição da quantidade de reassentamentos.

2) Influência de maré

Como o próprio nome sugere, a Baixada Fluminense é uma extensa região com cotas muito baixas. Em certos cursos d'água, o remanso causado pela maré pode ser observado a 20 km da foz. Nestas

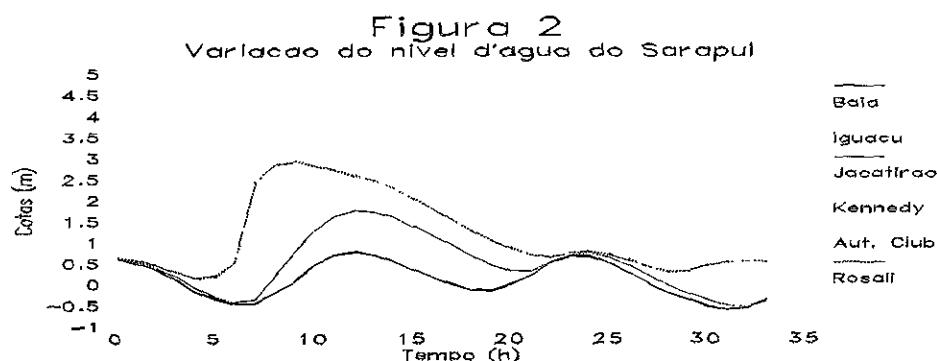
condições, o cálculo de capacidade de escoamento dos rios principais não pode ser baseado em escoamento uniforme, que supõe que a declividade da linha d'água seja a mesma que a do fundo, como por exemplo a Equação de Manning. Adotou-se a modelagem baseada em escoamento gradualmente variado. A rigor, seria necessário ainda um estudo da distribuição conjunta de probabilidades das variáveis aleatórias "precipitação intensa" e "nível d'água na Baía". No entanto, adotou-se a cota de 0,60 m (IBGE) para o nível d'água na Baía, que corresponde à média dos níveis máximos diários.

3) "Polders"

Muitas áreas têm cotas abaixo do nível de inundação dos rios principais, Iguaçú e Sarapuí. Nestes casos, formam-se os "polders", que são áreas isoladas por diques. Como a drenagem interna na área do "polder" não pode ser encaminhada diretamente para o rio principal, devido à existência do dique, cria-se um canal auxiliar que corre paralelo ao rio principal e que em alguns locais se comunica com o rio principal, por sob o dique, através de dutos dotados de comportas "flap". Assim, o escoamento somente ocorre do canal auxiliar para o rio principal. Quando o nível d'água do rio principal se encontra mais elevado do que o do canal auxiliar, as comportas se fecham e o canal auxiliar acumula temporariamente toda a água proveniente da drenagem do "polder", possivelmente extravasando para uma área não habitada, chamada de "zona de inundação", até que o nível do rio principal baixe e que as comportas se abram. As variáveis de projeto neste caso são: a dimensão do canal auxiliar, a área não habitada a ser preservada como zona de inundação do canal auxiliar, bem como a localização e capacidade das comportas flap. O dimensionamento destas variáveis só pode ser feito levando-se em consideração a variação no tempo dos níveis, tanto do rio principal, quanto do canal auxiliar. Para isto, é preciso empregar uma modelagem hidrodinâmica do fenômeno.

Descartou-se no Reconstrução-Rio a alternativa de se utilizar bombas para garantir o escoamento do canal auxiliar para o rio principal, nas ocasiões em que as comportas "flap" estiverem fechadas. Esta alternativa é tecnicamente perfeita, tendo como principal vantagem a diminuição da zona de inundação. Foi empregada no passado na própria Baixada Fluminense e é atualmente adotada em muitos "polders", em todo o mundo. Entretanto, pressupõe uma eficaz manutenção, que é incompatível com a capacidade demonstrada pelo poder público, em todos os níveis, nos últimos 30 anos. Portanto, adotou-se a posição de descartar uma possibilidade tecnicamente aceitável, embora não necessariamente a melhor, pelo receio de que os pesados investimentos viessem a ser inutilizados, no futuro, por má manutenção. Um técnico não pode dimensionar uma estrutura hidráulica no Brasil da mesma forma que dimensionaria na Holanda, baseado apenas nos princípios da Hidráulica. É preciso levar também em conta as restrições institucionais.

Especificamente para o caso do Canal Auxiliar da margem direita do Rio Sarapuí, com extensão de cerca de 8 Km ao longo dos municípios de São João de Meriti (montante) e Duque de caxias (jusante), adotou-se a solução numérica das equações de Saint-Venant, utilizando como condições de fronteira: (i) ciclos periódicos de maré na Baía; (ii) variação de vazão com o tempo em diversos locais dos cursos d'água, obtidas pelo emprego de um modelo chuva-vazão, assumindo diversas hipóteses para a ocorrência simultânea de precipitação, tanto na bacia hidrográfica como um todo, como na área do polder. A Figura 2 mostra alguns resultados típicos de variação de nível d'água do Rio Sarapuí, com o tempo, ao longo da cheia, em alguns locais previamente selecionados. Deve-se ressaltar que o dimensionamento foi feito assumindo que a área presentemente não habitada, principalmente ao longo do Canal Auxiliar no município de Duque de Caxias, funcionará como zona de inundação. Portanto, qualquer transigência das autoridades municipais, no sentido de permitir a construção de edificações nesta área, anulará o sistema de controle de cheias em extensas áreas do próprio município de Duque de Caxias, bem como no de São João de Meriti.



4) Tempo de Recorrência

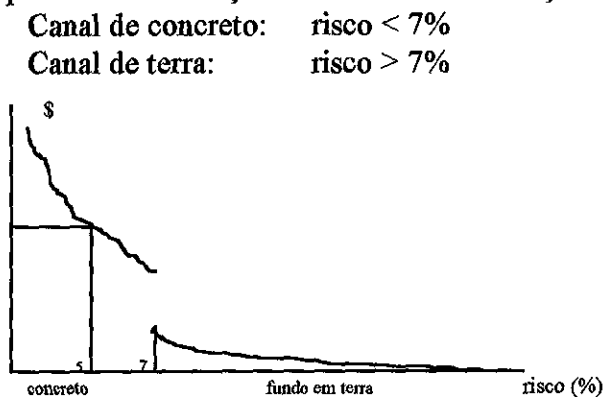
Sabe-se que obra alguma de controle de inundações, em lugar algum do mundo, garante proteção total. Na realidade, o risco de inundação, num ano qualquer, é um critério de dimensionamento. Quanto menor for o risco escolhido, mais cara será a obra de proteção de uma determinada localidade. Ou equivalentemente, para um dado orçamento global, quanto menor for o risco, menos localidades poderão ser contempladas com obras de proteção. No Reconstrução-Rio adotou-se, sempre que possível, o risco de 5%. Isto significa que o "tempo de recorrência" selecionado foi de $1 \div 0,05 = 20$ anos. Trata-se de um conceito estatístico que merece uma explicação. Quando se diz que o tempo de recorrência é de 20 anos, isto não significa que a próxima inundação ocorrerá daqui a 20 anos. Ao contrário, ela pode ocorrer a qualquer momento. 20 anos é o intervalo médio entre inundações.

Em muitos casos não foi possível adotar risco anual de 5% porque a correspondente solução envolveria gastos astronômicos. Este é o caso, por exemplo, da galeria sob a Rua Délio Guaraná, em São João do Meriti e do alargamento e aprofundamento do Rio Bota, em Belfort Roxo, em que se adotou riscos de extravasamento respectivamente iguais a 10% e 12%.

Em outros casos, a adoção do critério de risco anual de 5%, ainda que exequível, poderia conduzir a uma decisão insensata, por resultar em custo muito superior ao que seria associado a uma alternativa com risco ligeiramente superior a 5%. A Figura 3 ilustra o conceito com um exemplo hipotético. Para se atingir o risco de 5%, seria necessário realizar um canal em concreto, de construção bastante cara. Já se fosse admitido um risco de, digamos 7%, seria possível uma solução com seção em terra, a um custo bastante reduzido. Em situações como esta, teria sido escolhida a solução de canal em terra, privilegiando o bom senso.

O ideal seria que não se adotasse um risco meta arbitrário e sim que cada alternativa de projeto, associada a um risco possivelmente diferente de 5%, fosse analisada procurando-se cotejar o custo de implantação com o valor esperado do benefício. Importante progresso nesta direção foi recentemente alcançado em tese de mestrado (COPPE-UFRJ) desenvolvida por João Salgado, com o apoio da SERLA, que apresenta uma aplicação à bacia do Rio Jacatirão, em Duque de Caxias.

Figura 3 - Caso Hipotético de Variação de Custo de Construção de Canal



5) Lixo nos Rios

Parte do lixo produzido na Baixada Fluminense termina nos rios e canais devido principalmente ao deficiente sistema de recolhimento e secundariamente à deficiente educação ambiental de parcela da população. Naturalmente, o fim deste grave problema, que em muito diminui a eficácia e vida útil das obras, passa pela solução das duas deficiências apontadas, que é trabalho para muitos anos. Emergencialmente, cogitou-se de construir "armadilhas", formadas por grades e/ou flutuantes, para reter o lixo nos rios e canais, em locais de fácil remoção, por equipamento apropriado. O objetivo da armadilha é o de permitir a periódica retirada do lixo. Por outro lado, se a limpeza não for feita, a armadilha pode se transformar numa indesejável barragem, capaz de causar inundações em locais não apropriados. No âmbito do Reconstrução-Rio decidiu-se construir apenas duas armadilhas, que servirão de experimentos para uso em futuros programas, como por exemplo, o de Despoluição da Baía de Guanabara.

Paralelamente, o Governo do Estado do Rio de Janeiro deverá propor ao Conselho do Meio Ambiente (CONAMA) que se obrigue aos fabricantes de refrigerantes e similares a recompra de vasilhames plásticos chamados de "descartáveis". Se aprovada, esta iniciativa deverá resultar numa drástica diminuição da quantidade de embalagens nos cursos d'água. O custo de tal iniciativa será inevitavelmente transferido para o consumidor. Entretanto, é preciso ter em mente que o contribuinte arca com um custo muito maior para manter os cursos d'água desimpedidos.

6) Reassentamentos

A principal dificuldade para a execução do plano de obras relaciona-se com o reassentamento da população ribeirinha, cujas habitações impedem a execução dos serviços. Quase sempre trata-se de população carente que invadiu as margens dos cursos d'água devido à falta de melhor alternativa. Historicamente, o poder público, incluindo o Judiciário, tem sido ágil em fazer respeitar o princípio da propriedade privada, impedindo a ocupação de terrenos particulares, ainda que desocupados, que não estejam em áreas de risco. Por outro lado, o poder público não tem demonstrado a mesma agilidade quando se trata de criar mecanismos que impeçam a especulação imobiliária com terrenos ociosos situados em locais apropriados para edificações, nem tampouco em impedir a ocupação de áreas públicas de risco, como são as margens dos rios. Agindo assim, o poder público desrespeita o interesse da maioria da população que irá sofrer as conseqüências das inundações devido ao efeito de "arrolhamento" causado pelas construções ribeirinhas. Em termos da Baixada Fluminense, em diversos trechos não foi possível encontrar uma solução exequível para o reassentamento, face a pouca disponibilidade de alternativas habitacionais capazes de satisfazer as condicionantes sociais e políticas. Nestes casos, foi necessário mudar o alinhamento do projeto inicial, piorando-o, seja através de pequenas mudanças de traçado, que procuravam minimizar a dificuldade de reassentamento, seja através da construção de galerias auxiliares, localizadas sob ruas aproximadamente paralelas ao talvegue. Observou-se que o emprego de restituições aerofotogramétricas, complementadas por levantamentos topográficos, foram insuficientes para se proceder às pequenas modificações de alinhamento porque não permitiam uma análise qualitativa dos imóveis a serem remanejados. Nestes casos foi bastante útil o emprego de fotografias aéreas, tiradas de helicóptero. Foi desenvolvido, no âmbito do Plano Diretor Integrado de Controle de Inundações da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí, um "software" para mapear os resultados de modelos matemáticos de escoamento nas fotografias. O "software" permite o fácil traçado dos cursos d'água em planta, bem como a delimitação das correspondentes faixas marginais de proteção, num contexto compatível com a utilização de um sistema geográfico de informações.

IV) O Plano para a Bacia do Iguaçu-Sarapuí

Tanto o Governo do Estado do Rio de Janeiro quanto os órgãos financiadores, BIRD e CEF, perceberam que o Programa Reconstrução-Rio, por ser concebido de forma emergencial, e

certamente insuficiente para a solução de todos os problemas, carecia de uma visão integrada da bacia. Esta visão é indispensável porque frequentemente as conseqüências de cada ação extrapolam os limites municipais. Por exemplo, a remoção de uma ponte, com vão insuficiente, pode amenizar as enchentes dos municípios situados a montante da ponte. Por outro lado, agrava as enchentes dos municípios situados a jusante. Ou ainda, o loteamento de uma zona de inundação por um município pode agravar as enchentes num outro município, conforme exemplificado anteriormente para os municípios de Duque de Caxias e São João de Meriti.

O Plano Diretor Integrado de Controle de Inundações da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí foi desenvolvido a partir de análises de mapas temáticos básicos e de estudos hidrológicos e hidráulicos, com o objetivo de explicitar as principais causas dos problemas de inundação, inclusive aquelas de origem institucional. O Plano elenca um conjunto de intervenções harmônicas, de caráter estrutural (obras) e não-estrutural (planejamento do uso do solo e proposta de nova arquitetura institucional), que irão consolidar as obras desenvolvidas no Programa Reconstrução-Rio. Adotou-se metodologias que não se restringem à bacia do Iguaçu-Sarapuí, prevendo ampliação de escopo em duas dimensões: (i) no plano geográfico, para aplicação às demais bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro; (ii) no plano da abrangência temática, para permitir o aprofundamento do trabalho em outros setores, além do controle de inundações (disponibilidade hídrica para abastecimento, irrigação e qualidade de água, por exemplo). Da mesma forma, a coleta de dados não se limitou aos aspectos ligados apenas a controle de inundações, mas abrangeu todo o escopo de interesse para gestão de recursos hídricos e ambientais. Na realidade, o objetivo de longo prazo foi de contribuir para o estabelecimento do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro.

Tradicionalmente, boas iniciativas na administração pública dão poucos resultados por falta de continuidade. Um antídoto para esta triste tradição consiste em envolver a sociedade civil em todo o processo de planejamento, desde o início, a fim de que ela, em função do interesse despertado, não apenas contribua para a realização das tarefas, mas também interfira diretamente na continuidade, exigindo conclusão. Deste modo, decidiu-se criar o Comitê de Acompanhamento do Plano, composto por representantes das prefeituras, das federações de associações de moradores dos municípios da bacia, bem como de diversos órgãos estaduais, como a FEEMA, CEDAE e IEF. O Comitê começou a atuar em setembro de 1994 e a partir daí reuniu-se uma vez por mês, em diferentes locais da Baixada. A freqüência aos encontros foi crescente ao longo do processo, tendo culminado com a participação de todo o público alvo. As discussões foram de ótima qualidade e em muitas ocasiões organizaram-se visitas conjuntas (membros da equipe de projeto + representantes das associações de moradores) para diagnosticar "in situ" problemas de drenagem, cujas soluções passaram a integrar o Plano. Como conseqüência desta influência da sociedade organizada, o eixo do planejamento, inicialmente centrado em poucas intervenções de macrodrenagem, se deslocou para muitas intervenções de mesodrenagem. O sucesso do funcionamento do Comitê deve ser creditado parcialmente à proximidade entre a equipe de planejamento, responsável pela elaboração do Plano, e a equipe executiva, responsável pela condução das obras do Programa Reconstrução Rio. Esta circunstância sinalizou para a Sociedade Civil que os temas debatidos no contexto do Plano não se tratavam de meros exercícios acadêmicos. Ao contrário, tinham possibilidade de se tornar realidade.

Conforme anteriormente mencionado, as obras do Programa Reconstrução Rio reduziram a população sujeita a inundações para cerca de 180 mil habitantes, principalmente devido à construção da barragem de Gericinó e às canalizações realizadas nos rios Sarapuí e afluentes, Botas e Machambomba. As intervenções propostas no Plano Diretor irão reduzir este número a pouco mais de 10 mil pessoas, que ocupam locais onde as obras de controle de inundações são inviáveis. Para estas pessoas, estão previstos programas de reassentamentos, conduzindo-as a locais mais seguros, ou de reformas nas habitações, adequando suas moradias às condições de nível d'água que irão ocorrer após a implementação do Plano.

Os trabalhos foram conduzidos em três grandes fases: (i) aquisição de dados e diagnóstico, com ênfase na avaliação dos benefícios vinculados ao controle de inundações; (ii) proposição de soluções de caráter estrutural (obras) e não-estrutural (disciplinamento do uso do solo); e (iii) hierarquização das intervenções.

1) Aquisição dos dados e diagnóstico

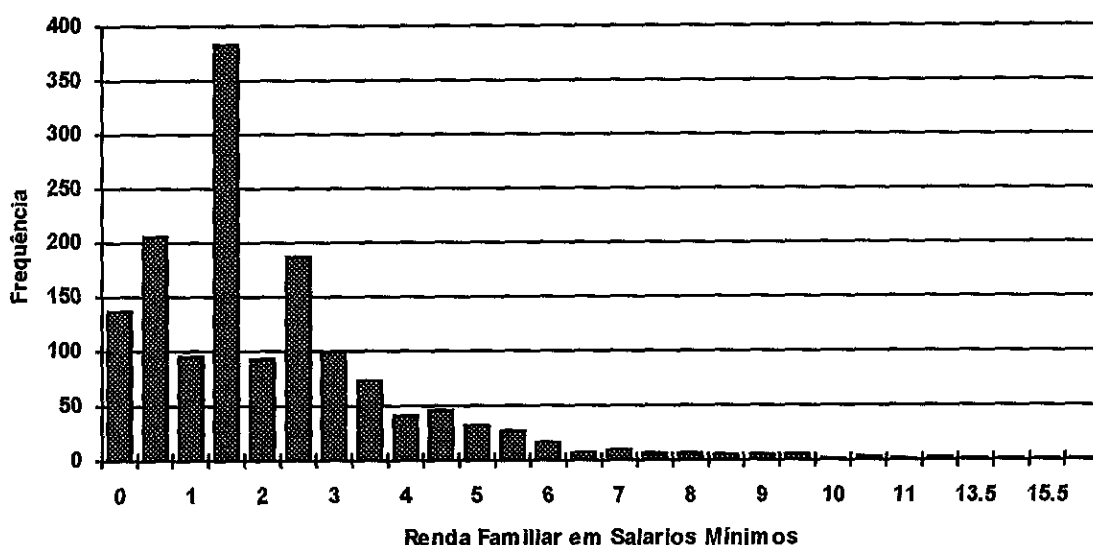
Inicialmente procedeu-se à aquisição dos dados bibliográficos disponíveis, inclusive imagens de satélite que permitiram o desenvolvimento de mapas temáticos em escala 1:50.000, devidamente implantados em Sistema Geográfico de Informações. Na seqüência, partiu-se para um levantamento de campo de informações hidrográficas, topobatimétricas e testemunhos de inundação (marcas d'água), que permitiram, com auxílio de modelos hidrológicos e hidráulicos, determinar a mancha de inundação correspondente ao evento com probabilidade de ocorrência num ano qualquer de 0,05 (tempo de recorrência de 20 anos). Os modelos empregados permitem a simulação da redução da mancha de inundação como decorrência de obras de engenharia, propostas a partir de inúmeras visitas ao campo realizadas por equipes especializadas.

Os benefícios associados a estas possíveis reduções da mancha de inundação foram avaliados cotejando-se as áreas beneficiadas com os dados sócio-econômicos levantados em pesquisa domiciliar. Essa pesquisa foi aplicada em 1.490 residências de toda a área potencialmente inundável da bacia, representando cerca de 3,5% da população afetada. Foram armazenados e analisados dados quanto ao perfil sócio-econômico e condições de saúde da população, infra-estrutura urbana existente, frequência e intensidade das inundações e avaliações diversas dos prejuízos materiais associados às grandes cheias.

Alguns resultados obtidos são particularmente interessantes para o conhecimento da área afetada pelo Plano. A Figura 4 apresenta um gráfico com a distribuição de renda familiar dos moradores das áreas inundáveis. Nota-se que o padrão de renda mensal é muito baixo, com média em torno de dois salários mínimos (R\$ 200,00). O grau de instrução dos moradores é também baixo, já que 71% não concluiu o primeiro grau (8 anos de escola), sendo que destes, 16% são totalmente analfabetos.

Figura 4

Histograma de Renda Familiar

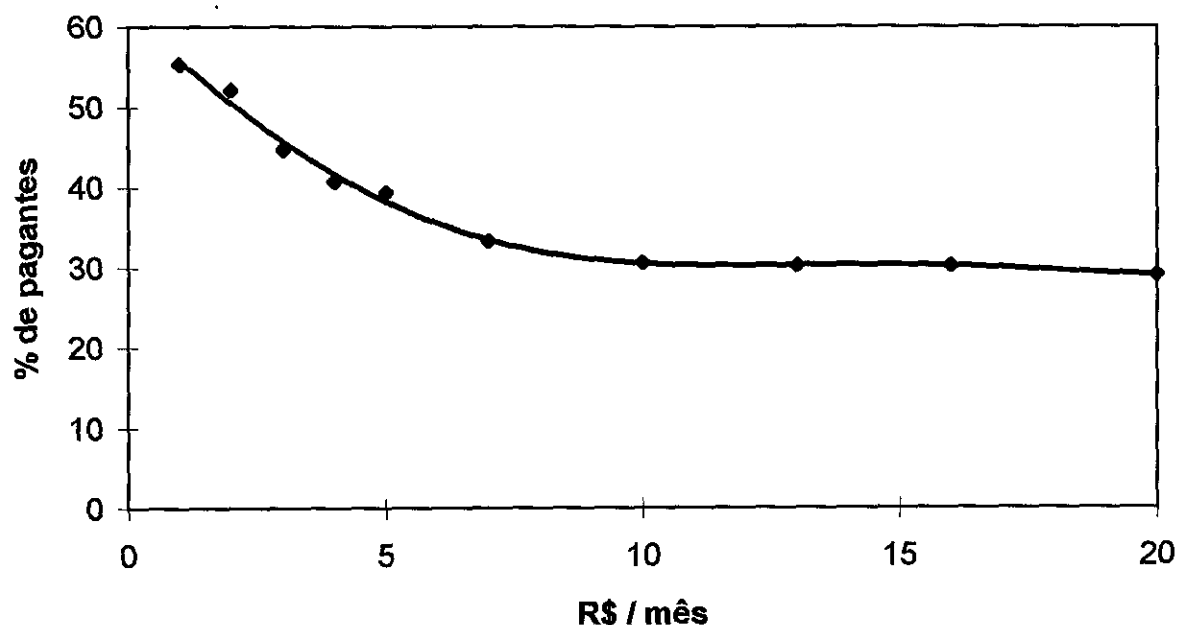


O benefício econômico de uma intervenção é medido pelo decréscimo do valor esperado do custo de inundação. Para avaliar esta grandeza, adotaram-se na pesquisa domiciliar três metodologias: (i) estimativa dos custos anuais evitados, com base em inventário de bens; (ii) depreciação de valor

patrimonial dos imóveis por efeito de localização dentro da mancha de inundação; e (iii) disposição a pagar pela implementação de um plano de controle de enchentes. Esta última foi a que apresentou os resultados mais interessantes.

Os pesquisadores de campo abordavam cada família pesquisada descrevendo os benefícios da implantação do Plano e, na seqüência, indagava se a família estaria disposta a pagar uma taxa de melhoria de R\$ x,00 / mês durante 20 anos. O valor x era sorteado aleatoriamente, variando entre R\$ 1,00 / mês e R\$ 20,00 / mês. Como se observa na Figura 5, os resultados foram extremados: de um lado, 45% dos entrevistados recusaram-se a pagar qualquer quantia e, de outro lado, 30% dispuseram-se a pagar pelo menos R\$ 20,00 / mês. O valor esperado de X é de difícil estimação, visto que a pesquisa não alcançou valores superiores a R\$ 20,00 / mês. Pode-se afirmar, no entanto, que o valor esperado de X situa-se entre R\$ 7,00 / mês e R\$ 30,00 / mês. Um enfoque Bayesiano indica R\$ 13,00 como sendo o valor mais provável. É interessante observar que o valor médio de diferença de aluguéis mensais entre imóveis de igual categoria situados fora e dentro da mancha de inundação (metodologia (ii)) foi da ordem de R\$ 20,00 / mês.

Figura 6: Disposição a Pagar



A alta percentagem de famílias que se recusam a pagar qualquer quantia reflete o descrédito do Poder Público junto à população mais carente. Esta parcela da população entende que a cobrança de uma taxa não resultará nas benfeitorias apregoadas, percepção esta que decorre de práticas equivocadas da Administração Pública, como de cobrar por serviços, por exemplo esgotamento sanitário, que não são de fato prestados.

Focando na outra parcela da população, que acredita na lisura da intenção governamental em resolver o problema das inundações, percebe-se que mais da metade estaria disposta a comprometer parcela significativa da renda familiar, superior em média a 10%, para tornar o Plano realidade. Esta constatação reflete o sofrimento destas famílias com as freqüentes enchentes.

Quando perguntados a respeito da altura da inundação a resposta foi a seguinte:

Tabela 2: Altura de Inundação

Altura	Número de casos	%
Até perto da casa	268	23,6
Até a porta	301	26,5
Até os joelhos	404	35,6
Até as janelas	128	11,3
Acima das janelas	34	2,7
Total	1.135	100,0

Apenas metade das famílias indica ter sofrido "água dentro de casa". Isto porque a mancha de inundação foi delimitada para uma probabilidade de ocorrência, num ano qualquer, de 0,05 (tempo de recorrência de 20 anos). A percepção dos moradores antigos é dificultada pela baixa frequência do fenômeno em tela, e os moradores recentes podem não ter vivenciado ainda a aflição de uma inundação.

A falta de saneamento básico, a presença de agentes etiológicos e de organismos vetores e a ocorrência de inundações são fatores determinantes na configuração do quadro de saúde apresentado pelas comunidades que residem nessa área. O contato das populações humanas com o meio hídrico contaminado possibilita, por um lado, a contaminação direta por determinadas enfermidades e, por outro, o risco de contrair doenças transmitidas por organismos vetores que se desenvolvem nesses ambientes.

A infra-estrutura de saneamento básico na área objeto da pesquisa é extremamente deficiente, excetuando-se o sistema de abastecimento d'água, que teve uma melhora significativa no nível de atendimento domiciliar em relação à década passada. A Tabela 3 apresenta a distribuição percentual do tipo de sistema de abastecimento de água e de escoadouro de efluentes domésticos presentes na área amostral.

Tabela 3: Níveis de atendimento do sistema de abastecimento de água e de escoadouro de efluentes domésticos

Abastecimento de água	% em relação a amostra	Instalação sanitária	% em relação a amostra
Rede pública	86	Rede pública	31,5
Poço	8,1	Fossa séptica	4,7
Nascente	0,5	Fossa rudimentar	5,4
Córrego	0,1	Direto em Rio	51,5
Outro	5,2	Não tem esgoto	6,8
Não preenchido	0,1	Não preenchido	0,1

Os resíduos sólidos não recolhidos adequadamente constituem-se como um dos fatores mais críticos na conformação do quadro de saúde da área. De um modo geral, os níveis de atendimento dos serviços de coleta domiciliar e pública nos municípios da bacia são extremamente precários e assumem proporções ainda mais críticas nas áreas objeto da pesquisa. Como são áreas, em sua maior parte, de baixa renda, com uma precária infra-estrutura urbana, os serviços de coleta convencional adotados pelos municípios não atendem boa parte da população que vive nesses locais.

A tabela abaixo apresenta a distribuição percentual por tipo de destinação do lixo domiciliar na área amostral. Somente 20,9% dos domicílios amostrados são atendidos satisfatoriamente pelo serviço de coleta e 18,8% o são de forma insatisfatória. Os outros 60% não são atendidos pelo sistema de coleta, dando outra destinação para seus resíduos.

Tabela 4: Tipo de destinação dos resíduos sólidos na área amostral.

Destinação do lixo	% em relação a amostra
Recolhido com boa frequência	20,9
Recolhido com frequência insatisfatória	18,8
Enterrado	1,5
Queimado	36,2
Curso d'água	7,6
Vazadouro	6,6
Outro local	8,1
Não Preenchido	0,3

Desse percentual não coletado, 36% dos domicílios pesquisados informaram que utilizam a queima do lixo como alternativa a falta de recolhimento. Esse percentual está seguramente superestimado. Por constrangimento uma boa parte dos entrevistados omitem o tipo de destino que dão para o lixo, optando por informar que utilizam a queima. Não obstante, ressalta-se que esse processo, da maneira como é utilizado pela população, não elimina grande parte dos resíduos orgânicos e inorgânicos, sendo de pouca utilidade sanitária. A queima também gera cinzas, que carregadas nas chuvas para os cursos d'água contribuirão para o crescimento de vegetação aquática, que obstrui o curso d'água e serve de criador para larvas de mosquito e outros vetores de doenças.

Somente 7,6% dos entrevistados admitiram que dispõem seus resíduos diretamente no curso d'água. Nas observações de campo constatou-se que essa conduta é muito mais freqüente.

A Tabela 5 demonstra a distribuição percentual da freqüência do atendimento dos serviços de coleta para os domicílios onde ela ocorre:

Tabela 5: Freqüência na coleta de resíduos sólidos.

Freqüência de coleta	% em relação a freqüência do atendimento
Uma vez por semana	26,2
Duas vezes por semana	34,2
Mais de duas vezes por semana	33,7
Menos de uma vez por semana	5,8

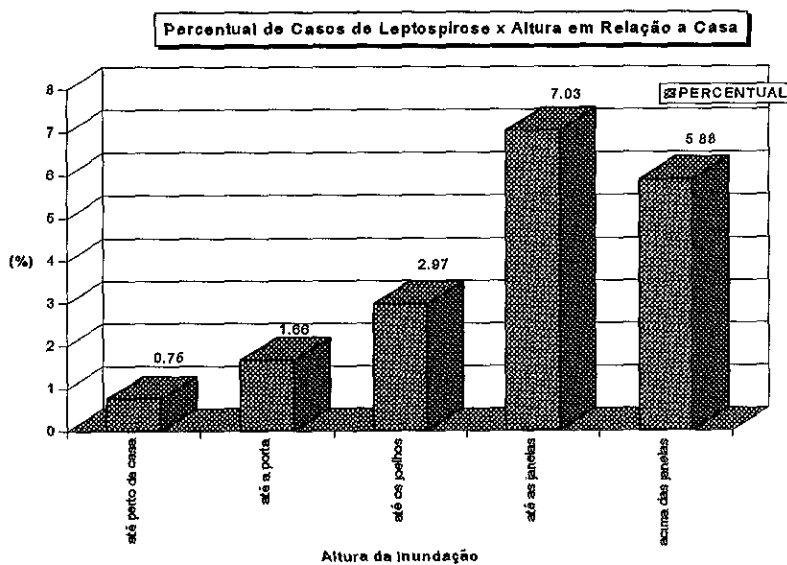
A freqüência e regularidade são dois fatores de grande importância na coleta de resíduos sólidos urbanos. Uma coleta com freqüência inferior a três vezes por semana seguramente gera um excedente não coletado, que será descartado em local inadequado pela população. Da mesma forma, um sistema que não tenha regularidade no recolhimento não consegue condicionar as pessoas a reter seu lixo até a passagem do serviço de recolhimento. Essa irregularidade no serviço de recolhimento é comum nessa área.

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa só 33,7% do serviço de coleta tem uma freqüência de atendimento em níveis satisfatórios. Os demais domicílios (66%) são atendidos com uma freqüência insuficiente para recolher todo o lixo produzido pela comunidade. A grande quantidade de

lixo depositado nos logradouros e nos rios e canais, fato comum em toda a área, confirmam esses dados.

Dentre os muitos problemas acarretados pelo acúmulo e disposição inadequada do lixo, cita-se a proliferação de organismos vetores de doenças graves, como a leptospirose. As populações que residem nessas áreas vivem um ciclo perverso de incidência de leptospirose: proliferam-se roedores pela grande quantidade de substrato disponível; esses roedores são portadores de bactérias que causam a doença e que são eliminadas pela urina, contaminando o ambiente; a água, nas inundações, entra em contato com a urina desses roedores, diluindo e dispersando essas bactérias. É dessa forma que a população entra em contato com esses agentes etiológicos. O ciclo se repete a cada ano, agravando-se em forma de surtos quando ocorrem inundações de maior magnitude. A Figura 6 relaciona a frequência de ocorrência de leptospirose com a altura de inundação onde se percebe a alta probabilidade de contaminação. É interessante se observar que esta probabilidade não é desprezível, mesmo nos casos em que a inundação não chega a invadir a residência.

Figura 6



2) Proposição de soluções

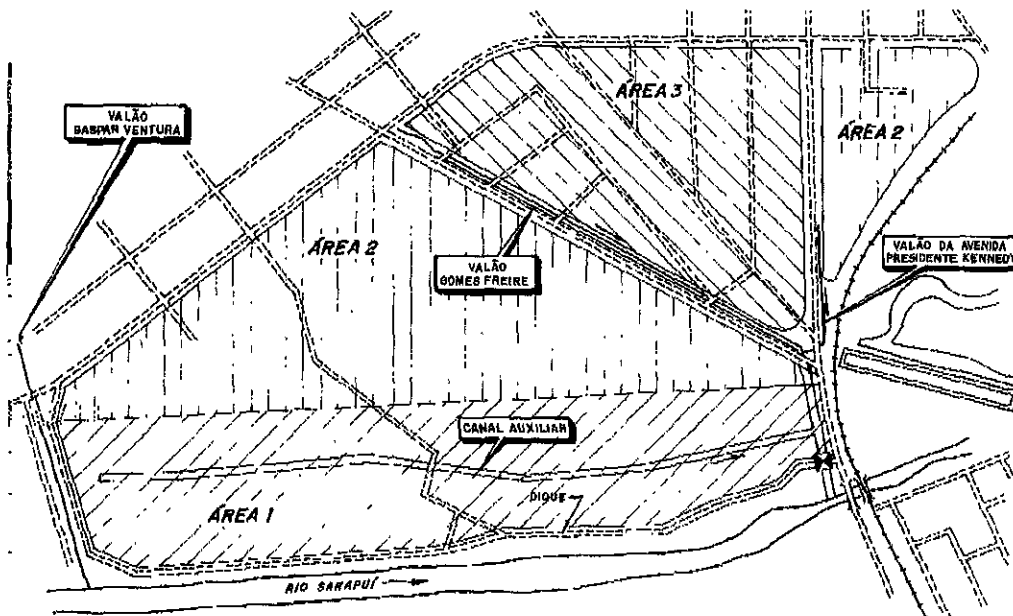
O Plano de Controle de Inundações envolve diversos programas de ações (obras de canalização, diques, estações de bombeamento, reassentamento de moradias, educação sanitária e ambiental, recuperação ambiental, legislação de uso do solo, etc.) a serem realizadas a curto, médio e longo prazo. Para se conseguir uma perfeita articulação entre os vários programas, as obras de engenharia previstas (da ordem de 100) foram detalhadas a nível de anteprojeto, fato que permitiu não apenas uma estimativa segura dos custos reais e benefícios, mas também uma definição bem clara de todas as articulações de caráter inter-institucional que se farão necessárias. Assim, cada obra programada envolve um conjunto de ações de implementação (legislação de apoio, desapropriação, relocação de moradias, etc.) que devem ser programadas e realizadas com a devida antecedência. O financiamento destas ações de implementação está considerado como parte do custo de investimento das obras que delas dependem, assumindo-se uma taxa de retorno de 10% aa. O custo total de implementação do Plano é de cerca de R\$ 200 milhões.

É interessante examinar-se um caso típico de intervenção para se avaliar o grau de integração entre soluções estruturais e não-estruturais propostas. O curso baixo do rio Sarapuí encontra-se totalmente retificado e confinado por diques que impedem o extravasamento para as áreas contíguas. Apesar disto, estas áreas não apresentam condições satisfatórias de habitabilidade porque quando ocorrem grandes tempestades locais coincidentes com altos níveis do rio Sarapuí, a inundação é inevitável.

Esta é a situação do Valão Gomes Freire, situado dentro de um polder à margem esquerda do Sarapuí, município de Duque de Caxias. Existem mais de dez casos semelhantes.

As obras de controle de inundação da bacia do Valão Gomes Freire são compostas de cerca de 2400 m de canal em solo, 50 m de galeria em concreto, e exige o reassentamento de 60 famílias. A parte mais baixa do polder deve funcionar como uma zona não edificante, para que possa armazenar temporariamente o excesso de água. A drenagem dessa área até a futura estrutura de ligação com o Sarapuí (comportas unidirecionais automáticas) é feita por um canal auxiliar. O orçamento da obra é de R\$ 1552 mil. Como a zona de inundação é bastante extensa e pouco habitada, o Plano propõe dividi-la em três áreas, conforme Figura 7.

Figura 7: Intervenções no Polder do Valão Gomes Freire



A faixa de 300 metros mais próxima ao rio Sarapuí (área 1) será o reservatório, devendo ser desapropriada. A faixa contígua, até o Valão Gomes Freire (área 2), ainda pouco ocupada, será aterrada para a cota de segurança contra inundação, sendo utilizada para alojar as famílias reassentadas desta obra e de outras mais. A faixa baixa situada à margem esquerda do Valão (área 3), já com ocupação consolidada em cotas inferiores à de segurança, terá sua pavimentação, microdrenagem e rede de esgotos alteadas, com o objetivo de induzir os moradores a também altearem suas residências, alvo de incentivos à ação de alteamento das residências por iniciativa dos próprios moradores.

O Plano apresenta propostas de legislação, principalmente para o município, no sentido de viabilizar as ações propostas no campo institucional (regulamentação do uso do solo).

3) Hierarquização das intervenções

Conhecidos os custos e benefícios das diversas intervenções, determinou-se um conjunto ótimo de intervenções, no sentido de maximizar o valor presente do benefício líquido, para cada possível cenário de investimento. Isto foi feito com auxílio de um modelo de programação inteira, tomando em consideração que: (i) existem intervenções mutuamente excludentes (alternativas); (ii) existem intervenções que só podem ser realizadas após a conclusão de outra intervenções; (iii) podem existir restrições políticas que impeçam um grande desequilíbrio entre investimentos alocados aos municípios da bacia.

V) Conclusão

As obras do Programa Reconstrução Rio, apesar de terem sido concebidas num quadro emergencial, lograram reduzir significativamente os malefícios das inundações na Baixada Fluminense. Apenas na bacia do Iguaçu-Sarapuí, contabilizou-se 120 mil pessoas que, antes das obras tinham suas casas invadidas pelas águas, e que agora se encontram numa situação mais segura. São de difícil quantificação os benefícios indiretos, tais como a redução da incidência de doenças de veiculação hídrica, a diminuição dos contingentes populacionais cujo deslocamento ficava impedido pela inundação do sistema viário, e a valorização imobiliária das regiões beneficiadas.

Um dos principais méritos do Programa foi o de restabelecer a capacidade de planejamento que outrora existia no Estado do Rio de Janeiro, ao menos no domínio dos recursos hídricos. Efetivamente, o Plano Diretor Integrado de Controle de Inundações cria condições para ações futuras concebidas com maior reflexão técnica e participação comunitária, o que garante resultados mais eficazes para eliminar os sintomas de inundação que ainda afetam diretamente um contingente populacional de 180 mil pessoas, apenas na bacia do Iguaçu-Sarapuí.