

METODOLOGIA DE CENÁRIOS COMBINADOS PARA CONTROLE DE CHEIAS
URBANAS COM APLICAÇÃO À BACIA DO RIO JOANA

Carlos Fabiano Vellozo D'Altério

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. Flávio Cesar Borba Mascarenhas, D.Sc.

Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc.

Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.

Prof. Theophilo Benedicto Ottoni Filho, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MAIO DE 2004

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

D'ALTÉRIO, CARLOS FABIANO VELLOZO

Metodologia de Cenários Combinados para
Controle de Cheias Urbanas com Aplicação à
Bacia do Rio Joana [Rio de Janeiro] 2004.

IX, 231p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Engenharia Civil, 2004)

Tese – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE.

1. Modelação Matemática, 2. Cheias Urbanas, 3.
Controle de Cheias.

1. COOPE/UFRJ II. TÍTULO (série)

Agradecimentos

É com imenso prazer que aproveito esta parte do trabalho para agradecer a todas pessoas que de alguma forma contribuíram para realização desta Tese. Cabe lembrar que esta tarefa apresenta-se muitas vezes difícil frente ao número grande de pessoas que nos envolvem em diversas etapas de nossas vidas. Umas mais próximas, outras mais distantes. Umas mais freqüentes e outras mais ausentes. Umas mais, outras menos. De uma forma ou de outra, o fato é que estas pessoas, cada uma do seu jeito e dentro de suas possibilidades, me ajudaram a alcançar mais esta etapa. Em primeiro lugar, eu gostaria de agradecer a Deus por estar presente em todos os momentos em que precisei e por me cercar de bons amigos e de uma família maravilhosa, dois dos maiores tesouros do mundo.

Por falar em amigo, dizem que uma boa Tese, começa com a escolha de um bom orientador. Um bom orientador não se limita apenas a sua tarefa de orientar. Deve também ser um exemplo de atitudes coerentes que levem o seu orientando a se espelhar nelas. Neste ponto tive sorte de ter dois bons orientadores – Marcelo Gomes Miguez e Flávio César B. Mascarenhas. Aos dois, meu muito obrigado, em especial ao Marcelo por ter apostado em mim e me motivado nos momentos mais difíceis quando nem mesmo bolsa eu tinha para custear minhas despesas. Mais que um mero orientador, tornou-se um grande amigo que sei posso contar quando precisar.

Outra pessoa que teve um papel fundamental nesta Tese foi o grande amigo Rodrigo Otavio Guedes Campos. Quando ainda apenas um colega de curso, me ensinou com bastante paciência e determinação sobre como operar o modelo matemático que utilizei na Tese. Isso sem contar na pessoa divertida e companheira que ele representava no Laboratório de Hidráulica até sua ida para Brasília a trabalho. Aliás, este Laboratório é repleto de pessoas assim como o Rodrigo. A todas essas pessoas, desde de funcionários até alunos e professores, meu muito obrigado, em particular aos amigos e companheiros de projetos G. Vanni, Igor, Jorge Prodanoff, Paulinho Canedo Magalhães, Rafael Duarte, Mariana Villas Boas, Viviane e Prof. José Paulo.

Muitas coisas se passaram paralelamente a realização desta Tese. Algumas delas tão ou mais importantes do que a mesma. Basta dizer que conheci, namorei e casei com a Aninha. Se não a principal, uma das pessoas que mais colaborou para o andamento e conclusão deste trabalho. Obrigado amor, pela paciência, dedicação e por me fazer muito feliz.

Por falar em paciência, obrigado à família e aos meus amigos pela compreensão das inúmeras vezes que tive que me ausentar do convívio de vocês em prol do presente trabalho. Obrigado também pelo apoio sentimental, espiritual e muitas vezes até material. Cabe aqui um agradecimento especial aos meus pais, Carlos e Lysis, pelo apoio fraternal e pela educação que me deram, assim como aos meus irmãos, Pedro e Xú e respectivas famílias pelo apoio espiritual. Agradecimentos especiais também às dindas Hilda e Denise; aos padrinhos Murillo e Jair, a Tia Sorys; aos pais da minha esposa José Marcos e Ana Maria; a vó Ida; aos genros Diego, Marcelinho e a genra Cláudia e sua mãe Alice; ao cunhado João e à cunhada Andréa; a todos os meus primos e respectivas esposas; a minha prima Tita; e a todos os meus sobrinhos.

Dentre os amigos, obrigado ao Alexandre Pitta e Márcia, Alexandre Rondon, aos blues brothers Robson e Vladimir Laprovitera, Bené e Gi, Cristiano e Érica, Flavio Ambrósio, Glauber e Alvinho (Apeferj), Gule e Cleo, Jorge e Mía, Leonardo e Andréia Ammirabile, Leonardo Freitas e Juliana, Luis Roberto, Marcus Vinícius, Maurício Salvador e Natália, Paula Valente, Ricardo Valcarcel (UFRRJ), Wagner Arthur e Maurício.

Aos amigos e colegas de trabalho no IEF (Instituto Estadual de Florestas), em especial a minha ex-Diretora Sabina pela oportunidade que me deu de ingressar, ao Alberico e Alberto Daniel por me manterem em suas respectivas administrações, e aos amigos mais próximos de trabalho na Diretoria de Desenvolvimento e Controle Florestal: Adilson, Alice, Ana Lúcia, Carlito, Carol, Falcão, Gilson, Luis Henrique, Marcia, Sergio, Shirley, Zé Augusto e Zuleica.

Enfim gostaria de agradecer também aquelas pessoas que por ventura esqueci, não que não sejam tão importantes quanto as que me lembrei, mas que realmente é uma tarefa difícil lembrar de cada ajuda separadamente em um intervalo de tempo tão grande.

Portanto, caso tenha cometido a injustiça de ter esquecido alguma pessoa, por favor relevem e sintam-se igualmente agradecidos. Obrigado,

Carlos Fabiano Vellozo D'Altério.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

METODOLOGIA DE CENÁRIOS COMBINADOS PARA CONTROLE DE CHEIAS
URBANAS COM APLICAÇÃO À BACIA DO RIO JOANA/RJ

Carlos Fabiano Vellozo D'Altério

Maio/2004

Orientador: Flávio Cesar Borba Mascarenhas

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho desenvolve, através da modelagem matemática, uma proposta de procedimentos para tratar de forma sistêmica a drenagem urbana e identificar o potencial de diferentes possíveis concepções de projeto para tratamento do problema de enchentes em bacias urbanas. O roteiro metodológico proposto consiste em verificar aplicabilidade, individual e em conjunto, de soluções potenciais para o controle da cheia urbana, definidas a priori pelo estudo sistêmico de uma dada bacia urbana. Nesse contexto, tendo como estudo de caso a bacia do rio Joana no município do Rio de Janeiro, simularam-se a aplicabilidade individual e em conjunto de soluções habitualmente propostas: reservatórios de amortecimento, armazenamento temporários em praças, detenção em lotes, obras de calha e reflorestamentos. Os resultados obtidos permitem concluir que aplicando-se a metodologia proposta chega-se a um conjunto ideal de intervenções para uma bacia urbana.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

METODOLOGY FOR JOINT SCENARIOS TO CONTROL URBANS FLOODING
APPLIED TO THE JOANA RIVER BASIN/RJ

Carlos Fabiano Vellozo D'Altério

May/2004

Advisor: Flávio Cesar Borba Mascarenhas

Department: Civil Engineering

This work develops, through mathematical modeling, a proposal of procedures to systemically treat urban drainage and to identify the potential of different possible design conceptions to treat the problem of flooding in urban basins. The proposed methodological script consists in verifying the applicability in a single or joint way of promising potential solutions for urban flood control, pre-defined through the systemic study of a given urban watershed. In this concern, in wich the case study is the basin of the Joana river in the city of Rio de Janeiro, were simulated single and joint applicability of usually proposed solutions: detention reservoirs, temporary storages in squares, river bed works and re-vegetation. The obtained results lead to the conclusion that by applying the proposed methodology, we can reach an ideal set of works for an urban basin.

Prefácio

ÁGUA

Pôr em suas mãos, no gesto, o copo agora ali sobre a cristaleira
guarda outros copos, porém vazios da contida água no primeiro copo;
nele deposita com o desejo de bebê-la a sede
senão de vinho, da vinha torrencial de continentes líquidos,
não os amarrados em formas de transparente solidão,
só aqueles solitários na opaca transparência de muros sem razão.

Água ausente, distante, mas inequívoca água
como bois ruma o tempo de estar ali parada
à espera que a mão, o movimento, a boca
deformem o conteúdo de sua estagnada e pronta chuva.

Água mais memória de ter sido água
água-boi, água-quase, quase-queda, queda-d'água
sem rochedos, pedras, precipícios,
água, talvez dissesse, ali encerrada como em pasto estreito,
ou melhor pensada no instantâneo de um princípio:
parte de alguma totalidade fluida cuja compreensão compreende
a suposição da parte;
totalidade embora, mesmo que em si mesma desconstruída em partes,
não leva já a parte alguma.

Água, como diria, condenada ao copo e destinada ao corpo,
água vista agora na transparência quieta da fusão de materiais estranhos,
água sendo copo, conforma o corpo do que não é mais água
e tem do boi o mesmo olhar de gelatina e opaco brilho;
água com sede do outro quer ser água e não recusa continuar ser vidro,
água imóvel como cristais correntes
copos vazios cheios de alusões aquáticas
água pois, ali parada, água-palavra a endurecer no copo,
copo de fala amolecido e pronto a derramar-se em cursos.

Carlos Vogt

INDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	JUSTIFICATIVA	3
3.	CHEIAS URBANAS - Base Conceitual e Revisão Bibliográfica	5
3.1.	Hidrologia	5
3.1.1.	Aplicações	6
3.1.2.	O Ciclo Hidrológico	6
3.1.3.	Bacias Hidrográficas	8
3.1.4.	Métodos de estudos hidrológicos	13
3.2.	Hidrologia de Bacias Urbanas	13
3.3.	Cheias Urbanas	17
3.3.1.	O problema das cheias urbanas	17
3.3.2.	Conseqüências das cheias urbanas	22
3.4.	Medidas de Controle	29
3.5.	Modelagem Matemática de Cheias	74
3.5.1.	Histórico	74
3.5.2.	Abordagens para a modelação de cheias urbanas	77
3.6.	Modelo de Células	82
3.6.1.	A Concepção do Modelo	82
3.6.2.	Hipóteses do Modelo de Células para Cheias Urbanas	83
3.6.3.	Representação de uma Bacia Urbana por Células de escoamento	84
3.6.4.	O Modelo Matemático	87
4.	METODOLOGIA	90
4.1.	Escolha do Modelo	91
4.2.	Modelação da Situação atual	92
4.3.	Escolha e Modelação das Medidas Estruturais	93
4.4.	Procedimento de Análise	102
5.	ESTUDO DE CASO: A BACIA DO RIO JOANA	104
5.1.	Caracterização da bacia	104
5.2.	Calibração	110
5.3.	Caracterização e Localização das Medidas Estruturais na Bacia	111
6.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	114
6.1.	Pontos de Controle	114
6.2.	Simulação de cenários de intervenções propostas individualmente	120
6.2.1.	Reservatórios de encosta	120
6.2.2.	Reflorestamento	127
6.2.3.	Reservatórios em praças	134
6.2.4.	Reservatórios de lote	141
6.2.5.	Intervenções tradicionais	148
6.2.6.	Análise comparativa das intervenções	154
6.2.7.	Discussão dos Resultados	161
6.3.	Cenários com 5 intervenções combinadas, duas a duas	163
6.3.1.	Reservatórios de encosta	163
6.3.2.	Reflorestamento	171
6.3.3.	Reservatórios em praças	178
6.3.4.	Reservatórios de lote	186
6.3.5.	Intervenções tradicionais	193
6.3.6.	Análise comparativa das intervenções	199
6.3.7.	Discussão dos Resultados	211
6.4.	Cenários com 4 intervenções combinadas, 3 a 3	212
6.4.1.	Discussão dos Resultados	217
7.	CONCLUSÕES	218
8.	RECOMENDAÇÕES	225
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	227

1. INTRODUÇÃO

O problema de enchentes urbanas vem se tornando, mais freqüentemente, um fato cotidiano e indesejável, fruto, na maioria das vezes, de problemas inerentes à ocupação desordenada do espaço urbano e ineficiência das redes de macro e micro-drenagem. As conseqüências das inundações podem gerar um conjunto de incidentes que vão desde um simples extravasamento, com alagamento temporário de pequenas proporções, passando pelo colapso dos serviços de infra-estrutura urbana, até a perda de vidas humanas, pela fatalidade de um acidente ou por doenças infecciosas que se seguem às inundações.

Existe, hoje em dia, uma gama de soluções de combate às enchentes urbanas, contudo, muitas vezes, combinações diversas destas soluções não são suficientes para resolver os problemas de alagamento, por não conceberem uma visão integrada do sistema de drenagem, acarretando apenas a transferência de alagamentos de um ponto para outro. A modelagem matemática, desde que bem compreendido o processo físico das enchentes, é capaz de simular cheias em bacias urbanas bem como a eficácia de projetos propostos para mitigar estas cheias. Entretanto, cabe ao engenheiro, como pesquisador e usuário do modelo matemático, definir um procedimento capaz de apresentar, ao final do processo, o melhor conjunto de obras e suas respectivas localizações de forma a potencializar o funcionamento das redes de drenagem, integrando soluções de diferentes concepções com a paisagem urbana.

É objetivo deste trabalho propor um conjunto de procedimentos, aliado ao uso da modelação matemática, a ser aplicado em bacias urbanas como roteiro para tratamento do problema de enchentes que propicie ao projetista chegar ao melhor conjunto de obras para uma dada bacia através de análises feitas a partir da simulação de cenários, potencializando os benefícios conjuntos e evitando a superposição de efeitos que não repercutiriam em melhoria real.

O presente trabalho encontra-se sistematicamente organizado, sendo constituído, em sua parte inicial, de uma revisão bibliográfica itemizada de forma a transmitir ao leitor uma base de conceitos através de um processo de conhecimento linear que tem por objetivo dar uma visão da hidrologia para aqueles que não são especialistas em hidráulica e hidrologia urbanas, partindo do geral para o específico, abordando temas relacionados

às causas e conseqüências das cheias em bacias urbanas, medidas de controle e modelação matemática de cheias em bacias urbanas.

Em seguida, apresenta-se o procedimento proposto para a escolha de medidas de controle estrutural potenciais para uma bacia urbana através da simulação computacional do funcionamento hidráulico das mesmas durante a passagem de uma cheia. Na seqüência aplica-se o roteiro proposto a uma bacia real urbana.

O estudo de caso para esta dissertação de mestrado refere-se à bacia do rio Joana - zona norte da cidade do Rio de Janeiro, onde, em função de suas características físicas e do uso atual do solo na mesma, foram escolhidas cinco medidas de controle: reservatórios de amortecimento em encostas, armazenamentos temporários em praças, detenção em lotes, obras tradicionais em calha e reflorestamento. Estas medidas são então analisadas, tendo seus desempenhos por fim diagnosticados de forma sistêmica na bacia do rio Joana.

2. JUSTIFICATIVA

O presente estudo trata de um assunto que acompanha a civilização humana desde os tempos mais remotos: as enchentes. O registro mais antigo e histórico, presente inclusive na Bíblia, trata da tormenta que teria atingido Noé e o obrigou a construir uma arca para abrigar um casal de cada espécie animal, tamanha sua preocupação quanto à permanência da vida na Terra face à magnitude da tempestade que caía do céu.

Embora seja um tema relativamente antigo, as inundações urbanas mostram-se extremamente atuais devido à recorrência das mesmas e dos conseqüentes problemas de enchentes enfrentados por nossas cidades, causando grandes perdas à população envolvida, tanto materiais quanto de vidas humanas. Os prejuízos sociais são intensos: desabamentos, soterramentos, perda de bens, proliferação de doenças, afogamentos, mortes, populações desabrigadas são algumas das conseqüências das enchentes.

A bacia do rio Joana, local escolhido para aplicação do estudo, por suas condicionantes climáticas, sofre a cada verão com problemas relacionados às enchentes, cujos efeitos são agravados pelas características do relevo: rios e córregos com forte declividade drenando bruscamente para as baixadas urbanizadas mais planas, quase ao nível do mar. Tudo isso contribui, por fim, para uma das regiões mais emblemáticas, em termos de alagamento, na cidade do Rio de Janeiro, que é a região da Praça da Bandeira, conhecida por seus vários registros de enchentes históricas. A primeira destas, que se tem registro, foi a de 17 de março de 1906, na qual a região se apresentava ainda em condições de pré-urbanização. Por volta da década de 40, à medida que a urbanização se consolidava, paralelamente, se agravam a magnitude e a freqüência destes eventos históricos, não pelo aumento significativo da precipitação mas sim pela menor capacidade da bacia em amortecer estas cheias. Só para se ter uma idéia da dimensão do problema, a desembocadura natural no local onde se construiu o canal do Mangue, segundo os cronistas da época, possuía mais ou menos 500m de largura e passou a ter menos de 30 metros nos dias atuais.

A relevância deste estudo reside no fato que as obras de drenagem urbana são caras, trazem transtorno para a população durante sua construção e muitas vezes se mostram ineficazes por atuar apenas localmente. Desta forma, torna-se importante desenvolver

uma metodologia, utilizando como ferramenta a modelação matemática, de modo a identificar as áreas de influência e a vocação de cada tipo de obra e seus impactos sistêmicos sobre a bacia, comparando diferentes tipos de cenários de forma a se ajustar o melhor conjunto de intervenções para solução de problemas inerentes a enchentes urbanas, em uma concepção integrada de projetos de drenagem em centros urbanos.

Este estudo propiciará, então, a confecção de uma compilação de procedimentos para projeto, utilizando a modelação matemática como ferramenta de apoio à decisão, que pode ser utilizada como referência no planejamento de soluções em cidades em que já ocorrem enchentes, bem como no planejamento urbano de cidades onde estes problemas ainda não existem. Sendo assim, teoricamente, reduzem-se os custos das obras propostas e os transtornos causados por elas ao cidadão comum, muitas vezes não mensuráveis, aumentando, a eficiência das mesmas e, paralelamente, melhorando a qualidade de vida da população.

3. CHEIAS URBANAS - Base Conceitual e Revisão Bibliográfica

Este item tem por objetivo dar uma visão da hidrologia para aqueles que não são especialistas em hidráulica e hidrologia urbanas, partindo do geral para o específico, abordando temas relacionados às cheias em bacias urbanas. Dividido em cinco sub-itens, este item começa pela definição de hidrologia, perpassando pelo estudo do ciclo hidrológico, o conceito de bacias hidrográficas e os métodos de estudos hidrológicos. O segundo sub-item descreve como se comporta o ciclo hidrológico em uma área urbana através do estudo da hidrologia de bacias urbanas. O sub-item seguinte discute os problemas relacionados às cheias urbanas. O quarto tratará das medidas de controle e o seguinte as abordagens de modelação disponíveis para a simulação de eventos hidrológicos. O sexto e último descreverá o modelo de células como ferramenta útil à modelação de enchentes urbanas, bem como sua potencialidade e suas limitações.

3.1. Hidrologia

A hidrologia é a ciência da Terra que estuda a ocorrência, circulação e distribuição das águas, bem como as suas propriedades físicas e químicas e suas relações com os seres vivos. Divide-se em dois grandes grupos: a hidrologia das águas superficiais e a hidrologia subterrânea.

A Engenharia Hidrológica e de Recursos Hídricos, por sua vez, é uma ciência aplicada da Terra, uma vez que utilizam princípios hidrológicos na solução de problemas de engenharia, decorrentes da necessidade de exploração dos recursos hídricos terrestres. Em outras palavras, a engenharia hidrológica visa estabelecer relações, definindo a variabilidade espaço-temporal da água, com vistas à avaliação dos riscos envolvidos nas atividades de dimensionamento e operação de sistemas de aproveitamento e controle das águas naturais.

3.1.1. Aplicações

Dentre as aplicações mais comuns da hidrologia temos:

- a. Escolha de fontes de abastecimento.
- b. Projeto e construção de obras hidráulicas, citando-se, por exemplo:
 - Fixação das dimensões de obras de arte, como: pontes, bueiros, outros.
 - Projeto de barragens: dimensionamento do extravasor; capacidade do reservatório.
- c. Irrigação: escolha do manancial, evaporação e transpiração.
- d. Drenagem superficial e subterrânea.
- e. Regularização de cursos d'água e controle de inundações.
- f. Controle de poluição.
- g. Controle de erosão.
- h. Navegação.
- i. Aproveitamento hidrelétrico: previsões de vazões máximas, médias e mínimas para estudo econômico e o dimensionamento das instalações das estruturas, volume armazenado, perdas por evaporação e infiltração, entre outros.
- j. Operação de sistemas hidráulicos complexos, tal como uma barragem de múltiplos usos.
- k. Recreação e preservação do meio-ambiente.
- l. Preservação e desenvolvimento da vida aquática.

3.1.2. O Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico é o processo cíclico e contínuo de transporte das águas da Terra, interligando atmosfera, continentes e oceanos. Trata-se de um processo complexo, que tem como fonte de energia o Sol, contendo muitos sub ciclos. Como praticamente todo o abastecimento de água doce é resultante da precipitação proveniente da evaporação das águas marítimas, o ciclo hidrológico pode ser entendido basicamente como o processo de transferência da água dos mares para os continentes e seu retorno aos mares, conforme indicações da figura 3.1. A força resultante da aceleração da gravidade provoca precipitação (P) de água sobre o solo e o oceano, dos quais a água retorna à atmosfera através da evaporação (E). Da água que atinge o solo, uma parte é armazenada em depressões transformando-se em infiltração, alimentando o escoamento subterrâneo (ES). Outra parte transforma-se em escoamento superficial (S). Também sobre o subsolo age a evaporação, além da água ali retirada pelas plantas e que retorna à atmosfera, através da transpiração (T).

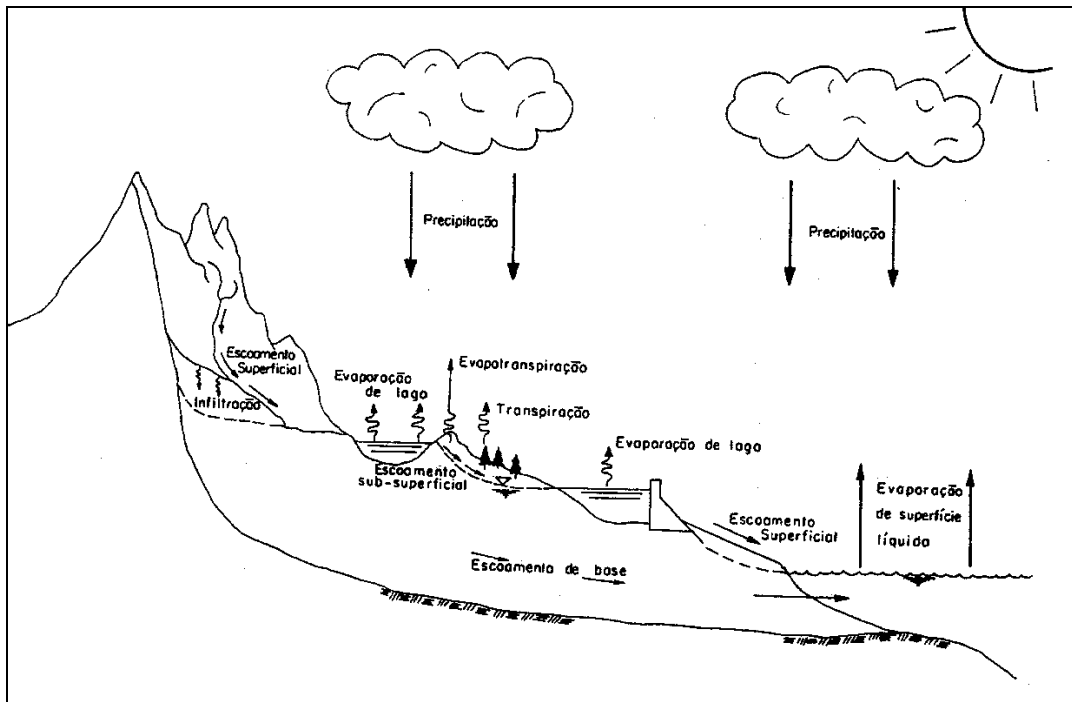


Figura 3.1 - Ciclo Hidrológico (Fonte: CEHPAR - Curso de Drenagem Urbana)

Entende-se por precipitação a água proveniente do vapor d'água da atmosfera depositada na superfície terrestre de qualquer forma, como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. A quantidade de chuva precipitada é expressa em termos de altura de água acumulada. A formação das massas de ar que provocam a precipitação está relacionada com a convecção térmica, o relevo e a ação frontal de massas. Dentre os tipos de precipitação, tem-se:

- Frontais: aquelas que ocorrem ao longo da linha de discontinuidade, separando duas massas de ar de características diferentes.
- Orográficas: uma causa mecânica é atribuível às montanhas que constituem barreiras ao escoamento horizontal do ar, forçando-o a subir e descer nas suas encostas.
- Convectivas: nas regiões tropicais e equatoriais ou no seio das massas de ar quente, a radiação solar aquece o solo, e o ar, em contato com este, se aquece pela base tornando-se instável e elevando-se. São conhecidas como tempestades ou temporais, que têm curta duração e são independentes das “frentes” e caracterizadas por fenômenos elétricos, rajadas de vento e forte precipitação.

Conforme foi visto anteriormente no ciclo hidrológico, parte da chuva infiltra, movendo-se lentamente pelo subsolo, parte evapora, outra parte atinge diretamente a calha do rio e uma outra parcela move-se pela superfície mais rapidamente. Esta parcela que escoar pela superfície é aquela que compreende o escoamento superficial. As trajetórias do escoamento superficial são determinadas em geral pelas linhas de maior declive.

A infiltração compreende a passagem da água da superfície terrestre para o subsolo, movendo-se através dos vazios presentes sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte que impede o seu movimento, alimentando o escoamento subterrâneo e formando os lençóis d'água. Depende fundamentalmente da água disponível no solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes no solo.

A evaporação é o conjunto dos fenômenos de natureza física que transformam em vapor a água da superfície do solo, do curso d'água, dos lagos, reservatórios de acumulação e mares. A transpiração compreende à evaporação provocada pela ação fisiológica dos vegetais. A união da evaporação com a transpiração forma a evapotranspiração.

A unidade que é utilizada para quantificar estes componentes do ciclo hidrológico na grande maioria das vezes é o milímetro (mm), sendo que quando queremos expressar a intensidade destes fenômenos, acrescentamos a variável tempo na expressão. Desta forma temos para precipitação, por exemplo, milímetros por hora (mm/h), por minuto (mm/min) ou por segundo (mm/s).

3.1.3. Bacias Hidrográficas

A bacia hidrográfica é a área de drenagem ou de contribuição através de um ponto de descarga de um curso d'água, também denominado exutório, do qual ela é tributária. Delimitada com base na topografia, é representada pela área delimitada pela linha de cumeada (linha de pontos mais altos) que a separa das bacias vizinhas, coletando a água de chuva que escoar superficialmente e atinge a seção de escoamento. O termo bacia hidrográfica é usado indistintamente para pequenas ou grandes áreas de drenagem, ao tratarem-se de áreas de drenagem de córregos ou grandes rios, respectivamente (figura 3.2).

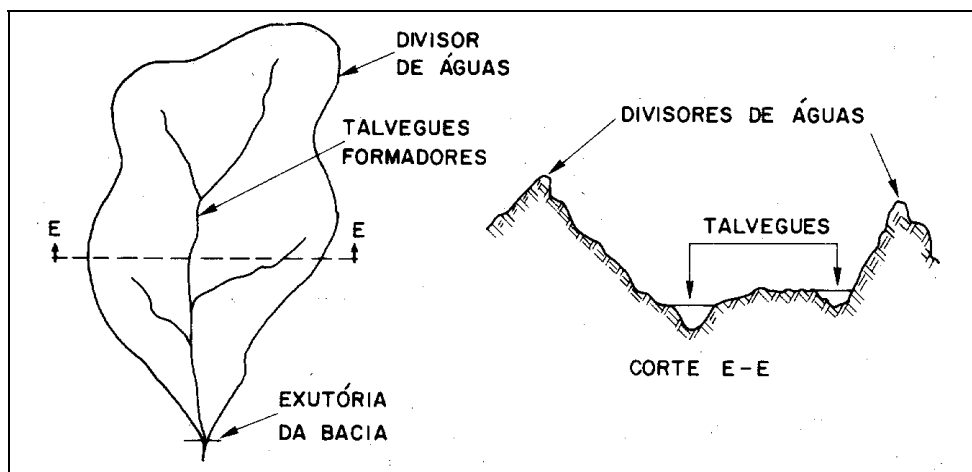


Figura 3.2 - Ciclo Hidrológico (Fonte: CEHPAR - Curso de Drenagem Urbana)

As bacias hidrográficas constituem contornos territoriais adequados aos estudos hidrológicos, em particular de balanço hídrico, pois sobre tais áreas é possível um maior controle sobre os componentes do ciclo hidrológico, como o escoamento superficial, muito embora o escoamento subterrâneo possa promover transferências hídricas entre bacias vizinhas. Tais componentes devem ser levados em consideração no planejamento das formas de intervenção humana, mesmo que o interesse do planejador recaia sobre uma área restrita da bacia de drenagem. Sem dúvida alguma, a bacia de drenagem revela-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações espaciais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o planejamento regional (NETTO, 1994).

Logo para atingir o objetivo maior que é a ponderação do meio ambiente nas decisões e implantações das diversas atividades humanas, há necessidade de se adotar uma unidade de gestão ambiental que seja compatível com todos os parâmetros a serem analisados, tal como a bacia hidrográfica.

Grandezas e Parâmetros de Bacias Hidrográficas

A magnitude dos valores de cada componente do ciclo hidrológico, para uma dada precipitação, varia de bacia para bacia em função de suas características geoambientais: relevo, cobertura e tipo de solo. Estas, por sua vez, influenciam em outras características da bacia tais como tempo de concentração, geometria e declividade que, por sua vez, produzirão diferentes hidrogramas de cheias. Estes hidrogramas são uma das ferramentas mais utilizadas pelos hidrólogos na interpretação e análise de um evento

hidrológico. A seguir são apresentadas estas características mais comuns de uma bacia hidrográfica.

Tempo de Concentração

O tempo de concentração (t_c) é definido como o intervalo de tempo necessário para que as águas precipitadas sobre toda a bacia estejam contribuindo para a seção limite de saída da bacia, atendidas as necessidades de infiltração, de retenção da vegetação e depressões do terreno. Em outras palavras, é o tempo necessário para que uma partícula, com as características de um pingo de chuva, se desloque, do ponto mais longínquo da bacia, não em distância mas em termos de tempo de viagem, e alcance a seção limite (figura 3.3).



Figura 3.3 - Tempo de concentração

Atingindo o t_c , supõe-se que a contribuição das águas de chuva seja total junto à seção considerada. Essa contribuição pode ultrapassar a capacidade do leito menor e extravasar para o leito maior, ou mesmo, dependendo da intensidade e duração e outros fatores físicos, podem ocupar a planície de inundação (figura 3.4).

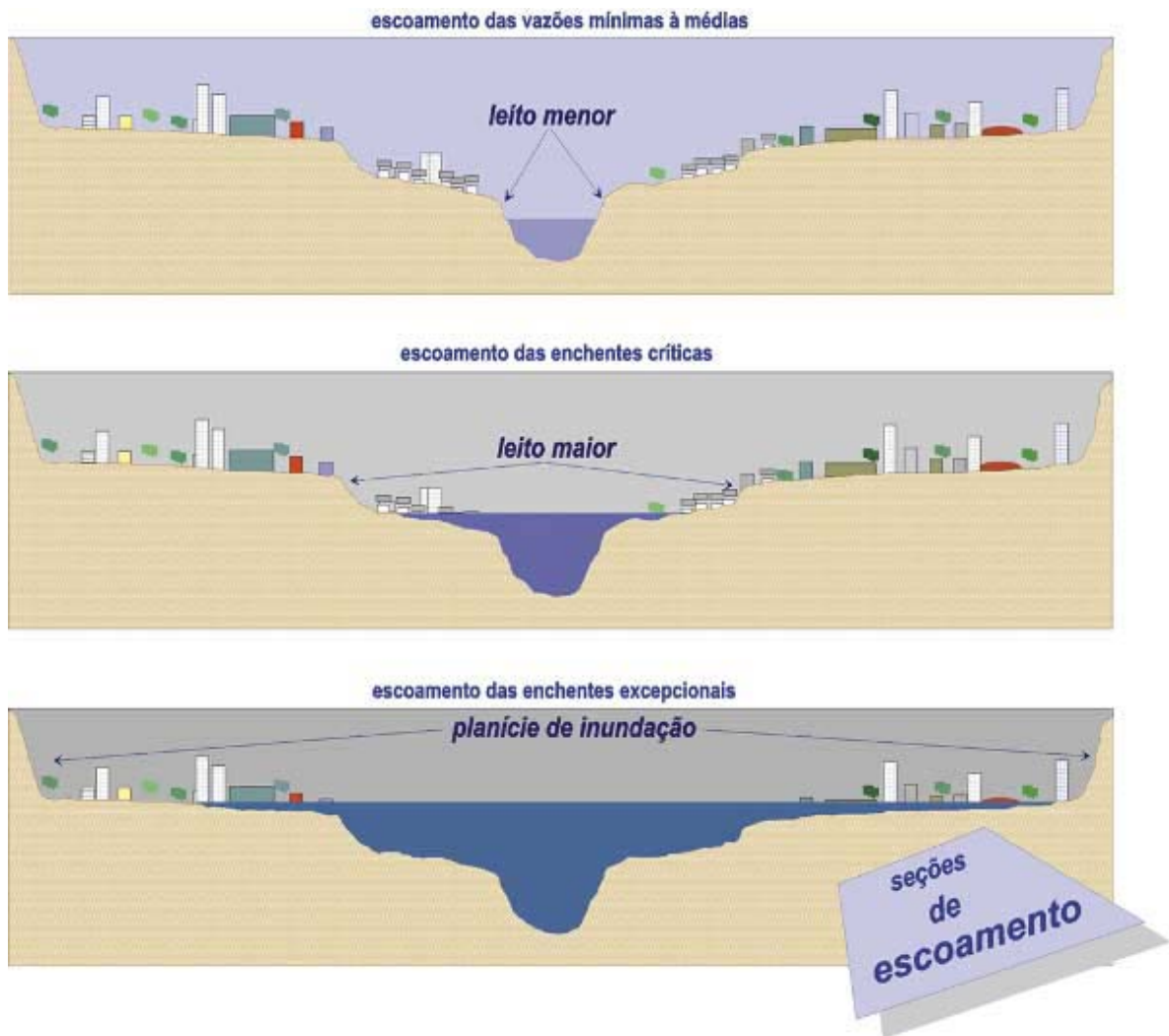


Figura 3.4 - Seções de escoamento (SEMADS, 2001).

Tipo de Solo e Cobertura Vegetal

Chuvas de pouca intensidade, após um período de estiagem, podem ser interceptadas e/ou absorvidas, integralmente ou em grande parte, pela cobertura vegetal, retenção natural ou artificial e pela infiltração no solo para suprir as necessidades de umidade.

A vegetação retarda e, eventualmente, impede a chegada das águas da chuva sobre o terreno. Além disso, devido à decomposição da matéria orgânica depositada por ela durante seu ciclo de vida, forma uma camada conhecida como serrapilheira, a qual reage com o solo, formando agregados ou partículas de diâmetros bem maiores que na situação sem vegetação, propicia maior facilidade de infiltração, reduzindo o volume do escoamento superficial.

O desmatamento expõe o solo à precipitação direta na superfície do terreno, promovendo a quebra dos agregados do solo que, por sua vez, entupirão os poros do solo com estas partículas, agora, de menor tamanho, levando ao selamento da superfície do mesmo, trazendo como consequência o aumento do escoamento superficial e a potencialização da enchente e dos processos erosivos. Da mesma forma, a impermeabilização do solo, devido ao processo de urbanização da bacia hidrográfica nos centros urbanos, diminui a capacidade de infiltração e aumenta o volume dos escoamentos superficiais, que atuarão diretamente no formato dos hidrogramas de enchente.

Relevo e Declividades

O relevo depende das mutações geológicas e morfológicas ao longo dos anos e define o caminho natural do escoamento das águas de chuva e geometria das bacias. É o agente fundamental na concentração e na velocidade de propagação dos hidrogramas de enchente que se formam em cada curso d'água existente. Quanto maiores as diferenças de altitude entre as cabeceiras e a seção de desembocadura de um curso d'água, mais intenso será o regime de escoamentos das águas da chuva e maior o risco da formação rápida de hidrogramas de enchente de curta duração. Um curso d'água apresenta, em geral, três trechos distintos ao longo de seu desenvolvimento até a sua foz:

- Trecho superior - caracteriza-se por fortes declividades longitudinais, acidentes naturais, como corredeiras e quedas d'água, instabilidade de margens, grande capacidade erosiva e de transporte de sedimentos de maior granulometria. Em geral as águas são transparentes e despoluídas.
- Trecho médio - apresenta declividades menores e um certo equilíbrio morfológico e sedimentológico. No extremo superior deste trecho, forma-se uma região de deposição de sedimentos oriundos do trecho superior, com a redução da declividade e da velocidade de escoamento. As vazões são mais uniformes no tempo e as calhas mais estáveis e permanentes com águas mais turvas pelo transporte de sedimentos mais finos.
- Trecho inferior – as declividades são ainda menores, as águas mais turvas e as velocidades mais reduzidas, promovendo a sedimentação dos sólidos em suspensão, elevando ao longo dos anos o nível inferior da calha de escoamento. A qualidade das águas e a estética do curso d'água neste trecho vão depender dos diferentes usos do solo na área da bacia, podendo apresentar elevados índices de poluição.

3.1.4. Métodos de estudos hidrológicos

A hidrologia baseia-se, essencialmente, em elementos observados e medidos no campo; o que mostra a importância da fase correspondente à coleta de dados. De um modo geral os estudos hidrológicos baseiam-se no estudo dos regimes de precipitação e de escoamento dos rios supondo que estes regimes se repetem ao longo do tempo. Isto é, ainda que uma sucessão histórica de eventos (vazão ou precipitação), encontrada no passado, não se repita exatamente no futuro, algumas tendências observadas mantêm-se aproximadamente as mesmas. Em suma, os projetos de obras futuras são elaborados com base em elementos do passado, considerando-se ou não a probabilidade de se verificarem alterações com relação ao passado.

Historicamente, vêm se utilizando dois métodos de estudo, de acordo com os processos analíticos utilizados:

- a. Hidrologia Paramétrica ou Determinística
 - Usos de dados climáticos e parâmetros físicos das bacias hidrográficas.
- b. Hidrologia Estocástica
 - Manipulação de características estatísticas das variáveis hidrológicas e ajuste das séries históricas à distribuições teóricas.

3.2. Hidrologia de Bacias Urbanas

Hidrologia Urbana é o ramo da hidrologia que estuda as áreas urbanas e metropolitanas onde o relevo é modificado pelas construções e a maior parte do solo acha-se coberto por revestimento artificial, tornando-o impermeável por largas extensões.

A cobertura florestal desempenha um papel fundamental no amortecimento das cheias na medida em que cria condições para redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, do pico de cheia, através da interceptação pela copa das árvores da água precipitada, ocorrendo perdas por evaporação ainda durante a precipitação. Outro efeito benéfico é a formação de uma manta orgânica sobre a superfície do solo, mantendo-o bem estruturado e permitindo condições favoráveis à infiltração d'água para camadas mais profundas do solo, alimentando o escoamento de base. Outro papel reside na prevenção do assoreamento do curso d'água quer pela ancoragem formada pelas raízes das árvores nas margens do rio, quer pela redução do escoamento superficial. A vegetação pode reter até cerca de 25% do volume total precipitado.

O processo de urbanização de áreas rurais modifica as parcelas do ciclo hidrológico. A tendência do homem é a ocupação a partir das áreas mais planas e baixas da bacia, mais acessíveis, navegáveis e com solos mais férteis para permitir a instalações de comunidades e das atividades produtivas. Na medida em que a área urbana se expande para a parte superior da bacia, em direção às encostas, começam a ocorrer aterros de áreas alagáveis, redução da área verde, impermeabilização do solo, alteração da drenagem natural com a implantação de canais artificiais. Com a retirada da vegetação alteram-se as parcelas do ciclo hidrológico como a evapotranspiração, a infiltração, o escoamento de base e o escoamento superficial. Com a ocupação das margens por casas e edifícios, praticamente toda a água precipitada é transformada em escoamento superficial, visto que ocorre a impermeabilização da superfície do solo, havendo redução do processo de infiltração (figura 3.5).

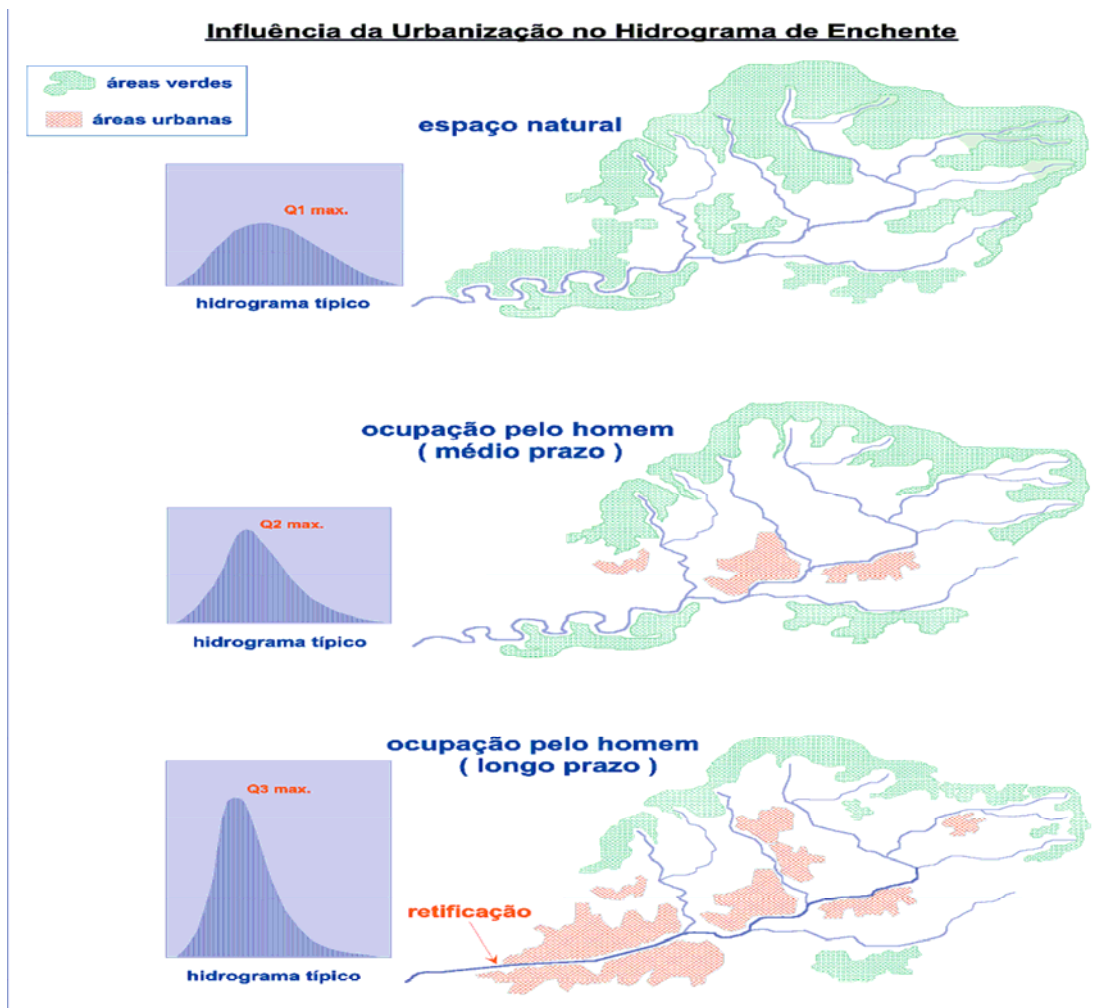


Figura 3.5 - Influência da urbanização no hidrograma de enchentes (SEMADS, 2001).

Com o crescimento da ocupação, a calha secundária do rio acaba recebendo obras de urbanização, com ruas e até quadras inteiras tomando o seu espaço, o que agrava ainda

mais o processo de cheias, já comprometido pela disponibilização mais rápida de um volume maior de água. Uma vez eliminado o espaço que deveria ser deixado livre para acomodação das grandes enchentes, as águas procuram outros caminhos, se espalhando e atingindo regiões antes não alagáveis naturalmente.

Como visto, o escoamento superficial, via de regra, é o grande responsável pelas enchentes, especialmente em bacias de menor porte, visto que a água passando a escoar superficialmente adquire energia cinética que, dependendo da declividade do terreno e da intensidade da precipitação, esta parcela da chuva, que outrora infiltrava no solo e abastecia o escoamento de base, pode atingir velocidade suficiente para carregar tudo que obstruir seu caminho. Além de prejuízos econômicos, este escoamento promove o assoreamento e poluição do curso d'água e, também, o aumento da área inundada, devido à redução da capacidade de retenção natural promovida pela urbanização. De forma geral, observa-se como resultado que o pico de uma cheia tende a aumentar e acelerar-se (figura 3.6).

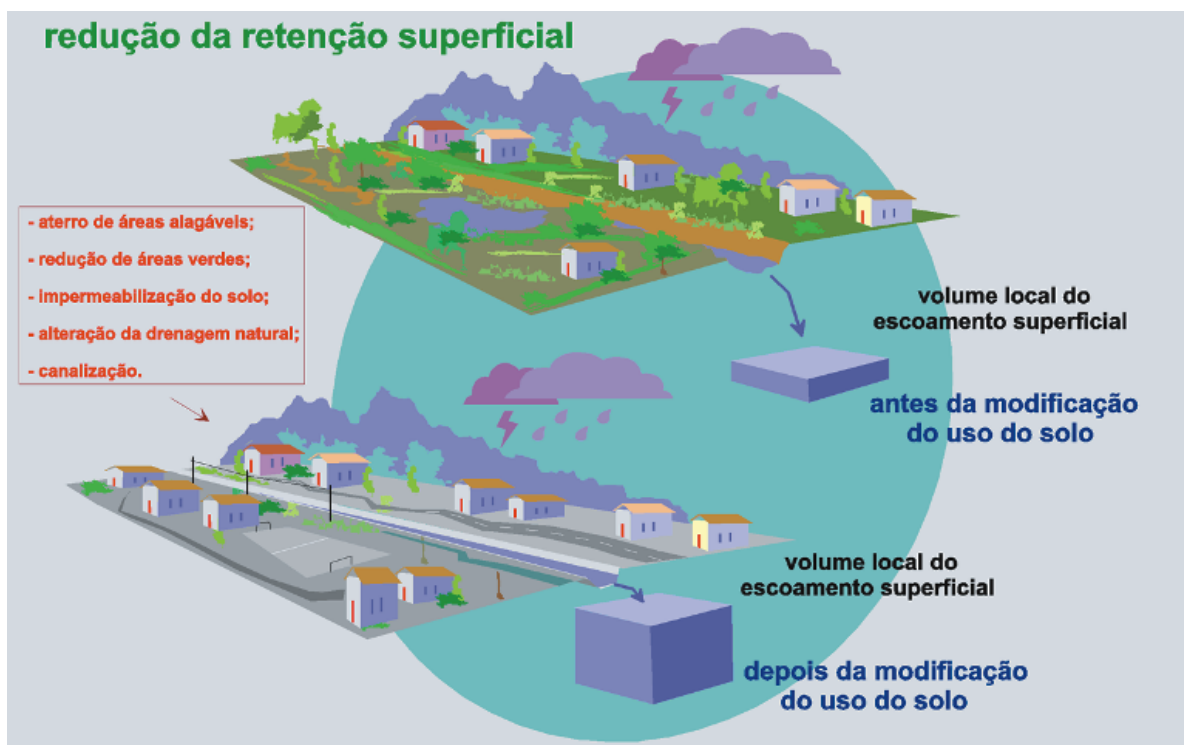


Figura 3.6 - Redução da retenção superficial (SEMADS, 2001).

Como consequência da diminuição do escoamento de base, a vazão do curso d'água passa a ser menor, aumentando a concentração de poluentes no rio, provocando aumentos nos custos de tratamento no caso dos mesmos abastecerem centros urbanos.

Em relação à parcela da transpiração e interceptação vegetal, a mesmas são diminuídas pelo corte das árvores dando lugar às construções, trazendo como consequência a diminuição da retenção superficial e aumento do escoamento superficial. As árvores que permanecem são influenciadas pela diminuição da infiltração e pela impermeabilização do terreno (figura 3.7). Passa a haver não mais retenções pelas copas das árvores e sim por estruturas da paisagem urbana, como, por exemplo, em telhados e canteiros, trazendo como consequência, embora em geral em proporções menores que a interceptação vegetal original, um aumento da evaporação.

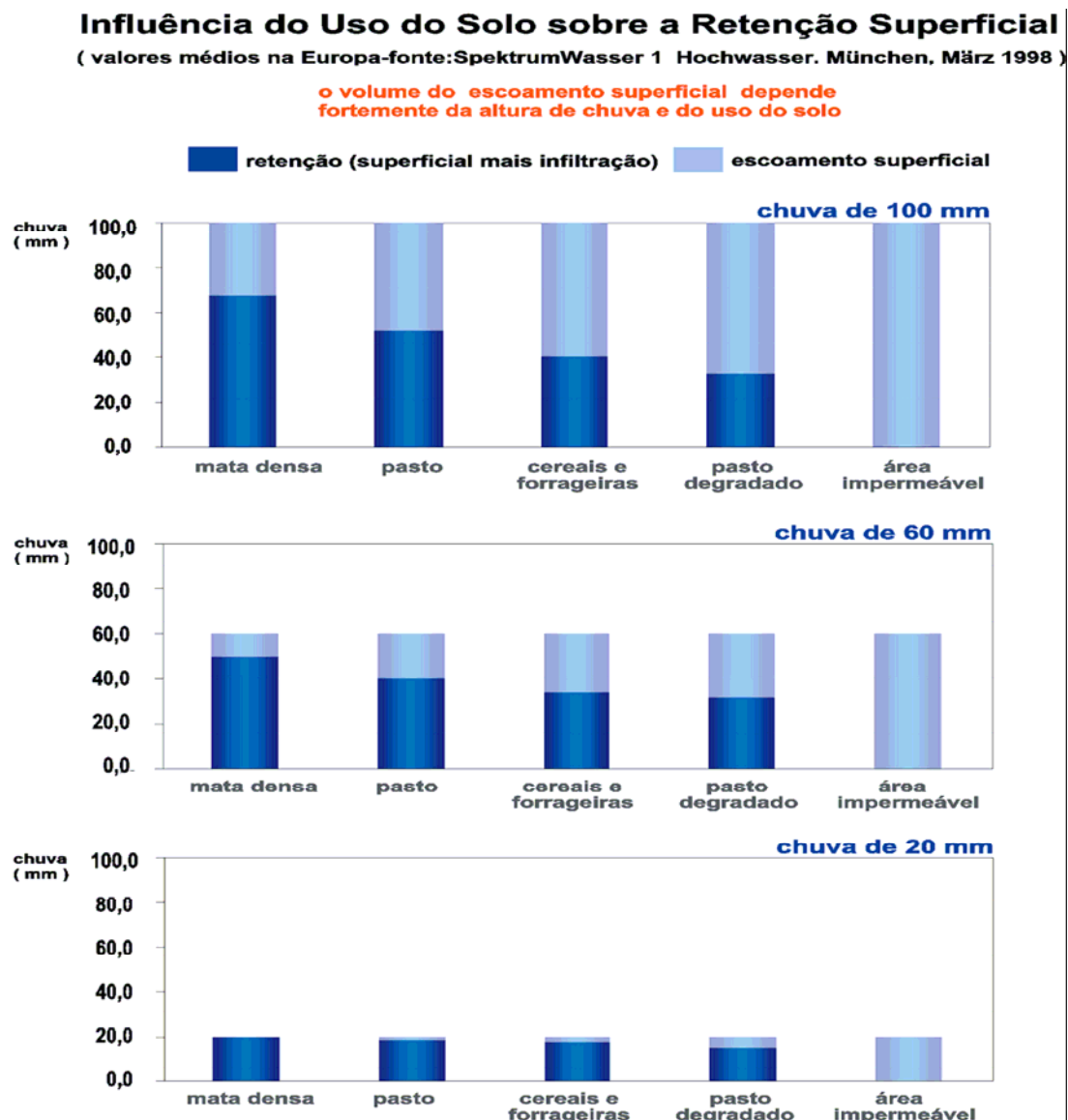


Figura 3.7 - Influência do uso do solo sobre a retenção superficial (SEMADS, 2001).

3.3. Cheias Urbanas

3.3.1. O problema das cheias urbanas

O problema das enchentes urbanas, na história recente, vem fazendo, com frequência, parte da rotina dos habitantes das grandes cidades. Durante séculos, a maior parte da população mundial concentrou-se em áreas rurais, fato que começou a mudar após o advento da Revolução Industrial, com o chamado êxodo rural. O movimento da população rural para cidades, num processo de urbanização rápida, afetou diretamente os padrões da drenagem natural (MIGUEZ, 2001).

Quando o poder público não planeja e controla esse processo de urbanização ou não faz com que a infraestrutura de controle de enchentes acompanhe essa urbanização, a ocorrência das enchentes aumenta, com perdas sociais e econômicas. As consequências dessa falta de planejamento são bem conhecidas pelas populações ribeirinhas e/ou localizadas na parte inferior da bacia (CAMPOS, 2001).

Depois que o espaço está todo ocupado, as soluções disponíveis são extremamente caras, tais como as canalizações, diques com bombeamentos, reversões e barragens, entre outras. Este fato se agrava quando intervenções sobre a rede de macro-drenagem, em regiões urbanas, são realizadas sem uma visão integrada da bacia, quando então é possível gerar-se enchentes como efeito colateral. Quando conter a cheia é o próprio objetivo das obras, por vezes o que se consegue é apenas transferi-la de local, ao não se estudar o problema como um todo. Este estudo integrado é bastante complexo, pela diversidade de situações e possibilidades envolvidas em uma paisagem urbana.

A não adoção desses princípios leva, muitas vezes, à diminuição dos efeitos das enchentes ao longo de um trecho de rio, e sua respectiva área de influência, em detrimento do agravamento em outras áreas, rio abaixo (SEMADS, 2001). Um exemplo típico é a retificação de um trecho que apresenta meandros naturais. Nesse caso, desde que os parâmetros e critérios de projeto estejam adequados, o volume de uma enchente ordinária acomoda-se no trecho retificado, fluindo com mais rapidez e encontrando menos resistência, sem invadir as áreas anteriormente inundadas, embora ao concentrar

rapidamente os volumes que escoam, agravam a situação nos trechos de jusante (figura 3.8).

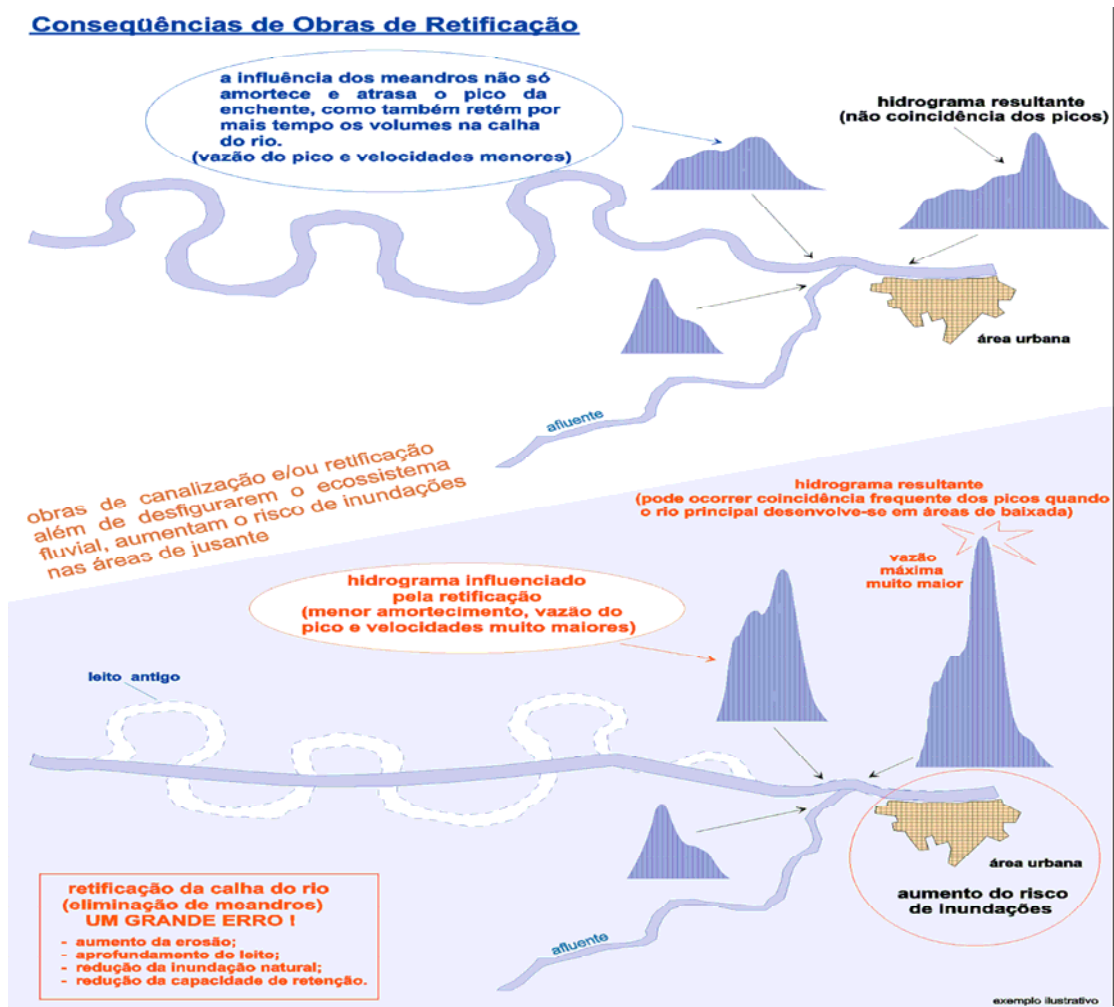


Figura 3.8 - Conseqüências de obras de retificação (SEMADS, 2001).

Esse problema é agravado quando são criados obstáculos artificiais aos escoamentos superficiais como a ocupação das margens de um rio, acúmulo de lixo, construções de aterros, pontes e travessias.

O homem, ao usar as margens de um curso de água para alguma finalidade, quer seja uma atividade agrícola, uma construção qualquer, como os apoios de uma ponte ou travessia, e mesmo tornando-as áreas residenciais, estará criando obstáculos aos escoamentos possíveis de ocorrência para chuvas freqüentes. Nas grandes cidades, em virtude da procura por residências próximas aos locais de trabalho, infelizmente, é difícil controlar, principalmente nas regiões menos valorizadas e menos atendidas pelos investimentos públicos, o avanço de moradias sobre as margens dos cursos de água. A

população menos favorecida sob o ponto de vista econômico, procura, geralmente, essas áreas, consideradas de risco, para estabelecer suas moradias, onde os loteamentos são improvisados e ilegais e as residências, construídas de forma compatível com os recursos financeiros disponíveis, resultam em domicílios muitas vezes precários, ao longo das margens, interferindo diretamente nos álveos dos cursos d'água. As residências, uma vez estabelecidas, passam a ser, não só uma restrição à capacidade de escoamento da calha, mas também, fontes de poluição, através dos esgotos sanitários e o lixo gerado pelos moradores (SEMADS, 2001).

À medida que aumenta a concentração das unidades domiciliares nessas áreas, a população avança no sentido do próprio álveo, construindo pilares ou apoios diretamente no leito menor para sustentar as casas ou barracos. Os escoamentos gerados por chuvas intensas, além de transportar o lixo descartado ao longo do percurso, encontram nesse tipo de construção, uma resistência enorme, provocando a elevação do nível da água para montante, a diminuição da capacidade de fluxo e o possível extravasamento com conseqüente inundação de áreas vizinhas. Dependendo das velocidades do escoamento, a pressão exercida sobre tais construções poderá causar o colapso das frágeis estruturas (figura 3.9).

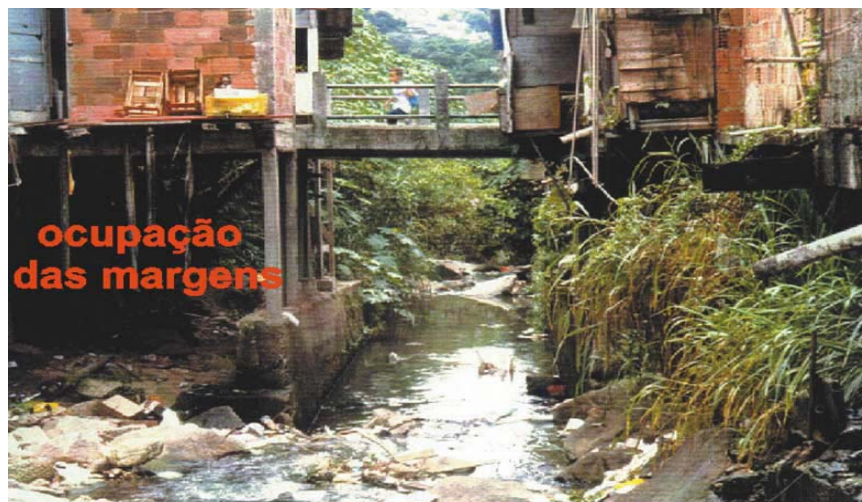


Figura 3.9 - Ocupação das margens (SEMADS, 2001).

Os aterros sobre os álveos dos cursos d'água pela ação do homem, podem ser considerados como um tipo de perturbação, cujas conseqüências se refletirão nos padrões dos escoamentos naturalmente estabelecidos (SEMADS, 2001). A maioria dos aterros em álveos de cursos d'água são ilegais, invadem a faixa marginal de proteção e são realizados exclusivamente para aumentar os terrenos ribeirinhos, com fins muitas vezes especulativos. Os aterros efetuados isoladamente, sem contemplar as medidas corretivas e as técnicas adequadas necessárias, acarretam alterações que podem se refletir na margem oposta; no trecho de montante por influência de remansos, provocando inundações; nos trechos de jusante, por rompimento repentino do próprio aterro; na alteração da qualidade da água, pelo aumento de sólidos em suspensão e a destruição da mata ciliar (figura 3.10).

aterro ilegal (solo e lixo)



prejudicial à própria comunidade

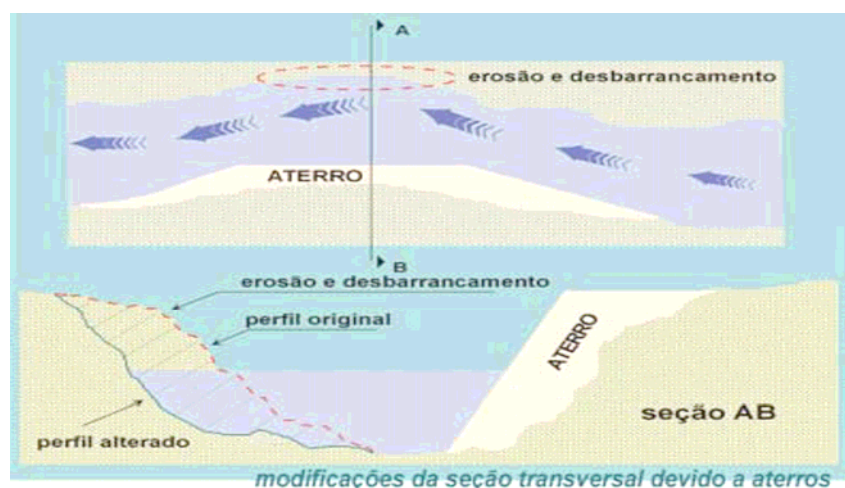


Figura 3.10 - Aterro ilegal e modificações da seção transversal devido a aterros (SEMADS, 2001)

A presença de lixo nos cursos de água (figura 3.11) pode ser considerada um indicador da distorção de hábitos entre os habitantes de uma mesma bacia hidrográfica (SEMADS, 2001). O problema é agravado pela carência de infra-estrutura de coleta pública de resíduos sólidos urbanos, em áreas de difícil acesso, junto aos corpos hídricos e encostas. O lixo descartado diretamente sobre as margens ou o álveo dos cursos de água, diminui a capacidade do escoamento, gera poluição, mau cheiro, disseminação de doenças de veiculação hídrica, e é fator acelerador da proliferação de vetores (ratos, mosquitos, moscas, etc.). Efeito semelhante ocorre quando as chuvas transportam para dentro dos cursos d'água, o lixo lançado sobre as encostas ou mesmo sobre logradouros públicos. Muitos cidadãos, cômoda e irresponsavelmente, utilizam-se dessa prática, com o objetivo de se livrarem dos resíduos domésticos e, muitas vezes, de objetos de maior porte e pesados que não lhes são mais úteis. Esquecem que, durante as enchentes subseqüentes, o lixo acumulado pode ser transportado para jusante, ao sabor das correntes, até que algum impedimento físico o mantenha retido, formando barreiras e aumentando a resistência ao escoamento. Tais obstruções geralmente promovem a elevação do nível das águas para montante, configurando gradativo remanso, com possível extravasamento para as áreas marginais, podendo atingir as residências dos próprios responsáveis, e o surgimento de novos caminhos de drenagem.



Figura 3.11 - presença de lixo nos cursos de água (SEMADS, 2001).

3.3.2. Conseqüências das cheias urbanas

O texto deste sub-item foi extraído de SEMADS (2001) pela riqueza da discussão promovida no mesmo. De acordo com o autor, chuvas intensas e duradouras podem gerar um conjunto de incidentes que vão desde um simples extravasamento, com alagamento temporário de pequenas proporções, passando pelo colapso dos serviços de infra-estrutura urbana, até a perda de vidas humanas pela fatalidade de um acidente ou por doenças infecciosas que se seguem às inundações. Os estragos das inundações dependem não só da fragilidade da área atingida, em função do tipo de ocupação e uso do solo, da drenagem em geral, das condições sanitárias das comunidades socialmente menos favorecidas e da infra-estrutura de saneamento básico, como também, da vulnerabilidade física dos investimentos públicos, privados, àqueles do setor produtivo e da importância da área como acesso a outras regiões economicamente ativas (figura 3.12).



Figura 3.12 - Paralisação do comércio (SEMADS, 2001).

Nas áreas rurais os impactos são menores e, muitas vezes, a chuva é benéfica para repor a umidade do solo e permitir o armazenamento das águas pluviais em pequenos açudes, para uso na irrigação, durante períodos de estiagem. Por outro lado, o acúmulo excessivo das águas sobre o solo pode provocar grandes prejuízos pelas perdas de safra e do rebanho, como também a erosão pode provocar perda do solo fértil. Nas grandes bacias hidrográficas, tipicamente rurais, onde os tempos de concentração são da ordem de alguns dias, é comum, a exemplo do Pantanal Mato-grossense, o emprego de sistemas de alerta baseado em dados pluviométricos observados junto às cabeceiras da bacia, e a montante da área inundável. O aviso da ocorrência de chuvas torrenciais é

repassado pelas rádios locais, o que permite aos fazendeiros remanejarem os rebanhos para áreas seguras e salvaguardar bens materiais.

Nas áreas urbanas, as conseqüências são as mais diversas. O homem exerce no processo, papel central primário, talvez mais importante que a própria intensidade do evento pluviométrico, à medida que a ação humana é responsável pela edificação e ocupação do ambiente antes natural. A magnitude das possíveis ocorrências está diretamente ligada à fragilidade dos cenários construídos pela sociedade, à medida que avança sobre extensos sítios inadequados e geomorfologicamente desconhecidos. Além disso, muitas vezes, esse processo dinâmico não é precedido pelo mínimo de investimentos em infra-estrutura urbana.

Conseqüências decorrentes de chuvas intensas não seriam muitas vezes calamitosas se houvesse maior conhecimento do espaço físico e geográfico antes de ser ocupado e se fossem respeitadas as necessidades naturais dos rios. Nas áreas de encosta desprovidas de vegetação, a infiltração das águas de chuva é reduzida e o escoamento superficial aumentado. A ausência de raízes que fixam o solo intensifica a erosão, o que pode conduzir à instabilidade e ao deslizamento. Nessa situação, as construções existentes ficariam instáveis e poderiam escorregar juntamente com o terreno (figura 3.13)



Figura 3.13 - Deslizamento de encosta

O lixo descartado e acumulado sobre as encostas poderá descer morro abaixo com o aumento do seu peso pela água de chuva. Nas regiões de menor declividade, a

incidência de inundações e o tipo de consequência variam no tempo e no espaço e estão associadas ao crescimento urbano. O aumento das áreas impermeabilizadas, novas vias de tráfego e aterro de baixios são exemplos de alterações físicas do terreno, que contribuem para a mudança dos padrões de drenagem e para a diminuição da retenção natural. Portanto, devem ser acompanhadas de soluções de engenharia para retenção artificial, estrategicamente planejadas, para a compensação da perda de retenção natural. É compreensível que a população atingida pelas inundações exija das autoridades obras para melhoria da situação das enchentes, evitando inundações e seus prejuízos. Mas isso nem sempre é possível quando áreas naturais de inundação forem ocupadas pela urbanização, quer seja planejada ou por força das invasões ilegais.

Vale mencionar que todas as obras que reduzem as áreas naturais de inundação, como os diques e aterros, e que aceleram o escoamento das enchentes localmente, como retificação e canalização, transferem e agravam o problema a jusante (figura 3.14).



Figura 3.14 - Conseqüências da diminuição da seção de escoamento (SEMADS, 2001).

O fato mais comum durante e após a inundação, em áreas urbanas, é a interrupção temporária do tráfego e, conseqüentemente, a redução das atividades comerciais (figura 3.15).



Figura 3.15 - interrupção temporária do tráfego (SEMADS, 2001).

O esgotamento das áreas atingidas vai obedecer às taxas da drenagem natural e/ou artificial, certamente agravadas pelo assoreamento e o acúmulo de material sólido já depositado com àquele carregado pela enxurrada.

O retorno à normalidade pode demorar de alguns minutos a horas. Nas áreas mais baixas, quase ao nível do mar, esse período pode ser ainda maior, pela eventual coincidência do evento chuvoso com marés altas, quando as forças das águas oceânicas rio acima, impedem o fluxo normal das águas interiores.

Nas áreas urbanas de maior declividade, a drenagem insuficiente compartilha as águas de chuva com as vias públicas e áreas marginais. Dependendo da intensidade das chuvas

e da declividade dos terrenos, a força das águas aumentam os prejuízos materiais, arrastando veículos e equipamentos públicos que encontram no percurso (figura 3.16).



Figura 3.16 - Prejuízos materiais (SEMADS, 2001).

Nas bacias hidrográficas de maiores dimensões, onde o leito maior do curso principal se estende por áreas de baixa declividade, ao longo do trecho médio e inferior, as áreas urbanas edificadas nas grandes depressões dos terrenos estão sujeitas a séria inundação durante períodos chuvosos críticos. Após a passagem da enchente, com o retorno ao nível normal das águas, essas depressões permanecem alagadas durante certo tempo. É comum o total isolamento de áreas contíguas menos atingidas, em cotas mais altas (figura 3.17).



Figura 3.17 - Isolamentos de bairros (SEMADS, 2001).

As perdas materiais são relevantes, o número de desabrigados é significativo e pode haver óbitos por afogamento ou desabamento. O agravamento do fato está associado à qualidade das habitações, às condições sanitárias existentes e às doenças endêmicas locais (figura 3.18). Nesses cenários, a maior parte da população atingida provém das classes socialmente menos favorecidas, sem alternativas de assentamento, dada a valorização econômica de outras áreas de menor risco. Revela-se um quadro deprimente com o desânimo daqueles que perderam os poucos bens materiais, a aflição de não ter para onde ir e a preocupação de ceder o espaço a terceiros.



Figura 3.18 - Quedas de casa (SEMADS, 2001).

Somam-se a esse quadro crítico, os efeitos indiretos das inundações relacionados a doenças infecciosas que se seguem após o evento. As águas de chuva promovem a lavagem dos logradouros e vias públicas, de terrenos baldios contaminados pelo

descarte de toda sorte de lixo, de pátios de áreas industriais e de outras áreas onde as condições de saneamento são precárias. A qualidade das águas pluviais é alterada radicalmente, carregando em suspensão e, em forma diluída, matéria orgânica em decomposição, fruto das fezes animais e do lixo, produtos tóxicos de origem industrial, outras substâncias orgânicas e inorgânicas, típicas das áreas urbanas, e um elenco de bactérias, vírus e protozoários, disponíveis nesses conjuntos de focos poluidores. As águas invadem os mais diversos espaços, provocando o extravasamento dos sistemas de fossas e sumidouros, invadindo tubulações de esgotos sanitários, enfim, criando um líquido altamente perigoso para a saúde do ser humano, principalmente quando infiltra e atinge caixas d'água ou cisternas. A mistura da água contaminada com aquelas reservadas ao abastecimento domiciliar é responsável por doenças, conhecidas como de veiculação hídrica (figura 3.19). O homem ao ingerir a água contaminada, está sujeito a distúrbios gastrointestinais, como diarreias infecciosas causadas por micro organismos do grupo coliforme fecal, presentes nas fezes humanas e de animais. Além disso, fica-se vulnerável a outros organismos patogênicos como o vírus da hepatite e mononucleose e as bactérias responsáveis pela disenteria, tuberculose, febre tifóide, cólera e outras. Nas áreas afetadas, é possível a ocorrência de surtos de agravação de uma determinada doença endêmica, podendo levar a epidemias difíceis de serem controladas. O contato direto com essas águas pode acometer de sérias doenças, os habitantes das áreas atingidas.



Figura 3.19 - Doenças de veiculação hídrica (SEMADS, 2001).

Uma das principais enfermidades é a leptospirose, infecção bacteriana que, embora não conduza à morte, com grande frequência produz graves seqüelas ao organismo humano, principalmente aos rins. A bactéria está presente na urina dos ratos e penetram no homem pela pele. Nas áreas rurais, o uso inadequado de agrotóxicos, por exploração

agropecuária, é prejudicial ao homem, à fauna e à flora. Muitos agrotóxicos são agentes cancerígenos e cumulativos no organismo humano. As aplicações de inseticidas, fungicidas, herbicidas e acaricidas, geram resíduos sobre o solo, plantas e animais, que, lavados pelas águas de chuva, podem contaminar o lençol freático e outros corpos hídricos receptores. Nas inundações, mistura-se às águas dos mananciais utilizadas para consumo humano (poços do freático, artesianos, etc.).

3.4. Medidas de Controle

O tratamento de enchentes urbanas vem se tornando um assunto cada vez mais discutido e estudado em virtude dos transtornos causados à população durante a passagem de uma cheia, especialmente nos grandes centros urbanos. Nestes locais, a alta densidade populacional provoca intensas modificações na paisagem natural, através de construções diversas, que torna o solo, em sua maior parte, coberto por revestimento artificial e impermeável, por largas extensões, aumentando a parcela do escoamento superficial. Este cenário, muitas vezes leva a eventos catastróficos, configurando-se de tempos em tempos e naturalmente se repetindo.

Este crescimento populacional urbano foi o paradigma do desenvolvimento econômico dos últimos três séculos que, sob a ótica sócio-ambiental, foi caracterizado por grandes fluxos migratórios dos campos para a cidade, tendo como ícone a Revolução Industrial e a conseqüente demanda por de mão de obra (SOUZA, 1998). Este processo de urbanização das cidades explica em parte os problemas inerentes a uma cheia urbana por alteração das parcelas componentes do ciclo hidrológico.

SOUZA (1998) apud CAMPOS (2001), ordena o processo de urbanização como começando, normalmente, pelas partes mais baixas da bacia, mais acessíveis, permitindo a instalação mais fácil de comunidades e das atividades produtivas, como agricultura e pecuária e, posteriormente, para a implantação das indústrias. Após a completa ocupação das áreas planas, parte-se, então, em direção às encostas, removendo a vegetação natural. Este processo traz como conseqüência a gradativa impermeabilização do espaço urbano, reduzindo a capacidade de infiltração do solo e aumentando o volume superficial de água disponível para o escoamento, aumentando e

adiantando o pico da cheia, gerando uma série de transtornos na bacia que podem ser agravados por problemas de ordem sócio-econômica.

Assim, em países mais pobres, é comum que a evolução necessária das mudanças em infra-estrutura, que deveriam contrapor-se a estes efeitos, ocorra de forma muito lenta, ou mesmo inexista, levando a casos extremos de falta de abastecimento de água tratada, de esgotamento sanitário e de drenagem pluvial.

Prejuízos e fatalidades decorrentes de chuvas intensas são diretamente proporcionais aos períodos de retorno das vazões de pico e dos volumes gerados, do nível de proteção existente na bacia, do uso do solo, da conscientização e preparação da população para enfrentar o risco. Obras de controle de enchentes podem amenizar os efeitos negativos de um evento, até uma determinada probabilidade de ocorrência. Se as enchentes superarem as vazões máximas ou volumes estabelecidos nos critérios de projeto, certamente a área de interesse sofrerá prejuízos, na maioria das vezes agravados pelo despreparo da população e pela acumulação de bens materiais dispostos na área supostamente protegida (SEMADS, 2001).

O processo de controle de cheias urbanas deve passar, necessariamente, pelo entendimento de que a bacia funciona como um sistema integrado, onde projetos sem a visão do conjunto em geral apenas transferem os problemas. Entretanto, os projetos de drenagem não devem ser a única alternativa de controle de cheia, devendo ser complementados com ações visando a compatibilização do mesmo com o projeto de crescimento urbano definido pelo Plano Diretor da cidade em questão (MIGUEZ, 2000).

De acordo com TUCCI et al. (1995), as medidas de controle de inundações podem ser classificadas em estruturais, quando o homem modifica o rio, em não-estruturais, quando o homem convive com o rio. No primeiro caso, estão as medidas de controle através de obras hidráulicas, tais como barragens, diques e canalização, entre outras. No segundo caso, encontram-se medidas do tipo preventivo, tais como zoneamento de áreas de inundação, alerta e seguros. Naturalmente as medidas estruturais envolvem custos maiores que as medidas não-estruturais.

As medidas de controle de escoamento que envolve a adoção de **medidas estruturais** podem ser classificadas, de acordo com TUCCI (1995), conforme a sua ação na bacia, como:

- Distribuídas: Estas medidas estão localizadas, normalmente, em lotes, parques, passeios públicos ou estacionamentos, sendo também chamadas de medidas de controle na fonte.
- Na micro-drenagem: Destaca-se a adoção de reservatórios de detenção, que recebem a água drenada do loteamento ou de uma bacia de contribuição considerada, intermediando o seu lançamento na macro-drenagem. Estes reservatórios podem ser, na prática, tanques, lagos, ou, efetivamente, pequenos reservatórios abertos ou enterrados, formando um controle a montante da micro-drenagem. Este dispositivo pode ser usado, inclusive, para controle de material sólido, retendo parte dos sedimentos e melhorando a qualidade das águas;
- Na macro-drenagem: O controle de vazões na macro-drenagem urbana pode ser realizado por medidas que modificam o rio ou a própria bacia, numa visão mais geral, podendo-se citar canalizações, que procuram aumentar a capacidade de vazão do leito natural, e a construção de reservatórios de amortecimento de cheias.

A seguir serão descritas algumas concepções de intervenção apresentadas em TUCCI e GENZ (1995); UFRRJ (1997); SEMADS (2001); ARAÚJO, TUCCI e GOLDENFUM (2000); e AMEC (2001) apud VANNI (2004), com vistas ao melhor entendimento de seus respectivos funcionamentos bem como de seus efeitos, positivos ou negativos, sobre a rede de drenagem.

Medidas estruturais de controle distribuído trabalham, principalmente, com os conceitos de infiltração ou armazenamento. As medidas de infiltração podem ir desde adoção de calçamentos permeáveis, planos de infiltração e até ações de reflorestamento com o objetivo de propiciar maior infiltração no solo. Segundo URBONAS e STAHRÉ (1993) apud TUCCI et al. (1995), as vantagens e desvantagens dos dispositivos que permitem maior infiltração e percolação são:

- Aumento da recarga; redução de ocupação antrópica em áreas com lençol freático baixo; preservação da vegetação natural; redução da poluição transportada para os rios; redução das vazões máximas à jusante; redução dos tamanhos dos condutos.
- Os solos de algumas áreas podem ficar impermeáveis com o tempo; a falta de manutenção pode ser crítica para seu funcionamento; aumento do nível do lençol freático, atingindo construções em subsolo.

O Armazenamento em telhados das casas e edifícios pode produzir resultados muito bons na redução do escoamento superficial em áreas densamente ocupadas (figuras 3.20 e 3.21). O armazenamento em telhados, entretanto, apresenta algumas dificuldades inerentes a sua estrutura que passa a necessitar de um grande reforço para suportar cargas e a impermeabilização do telhado (laje) devendo obter uma vida útil mínima de 30 anos (AMEC,2001), exigindo, ainda, constante manutenção. Esse tipo de controle dificilmente seria aplicável a realidade brasileira devido às características climáticas e ao tipo de material usualmente utilizado nas coberturas residenciais do Brasil.



Figura 3.20 - Detenção em telhados (WOODWORTH, 2002).

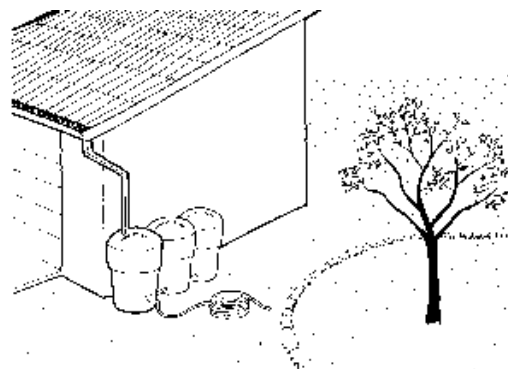


Figura 3.21 - Detenção da água de telhados (ARIZONA, 2003).

Os **Pavimentos permeáveis** são dispositivos hidráulicos que permitem a drenagem do escoamento em passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego, podendo ser constituído de concreto ou de asfalto e construído da mesma forma que os pavimentos tradicionais, com a diferença que o material fino é retirado da mistura. Além dessas superfícies tradicionais, existem os pavimentos construídos com módulos de concretos vazados (figuras 3.22 e 3.23).

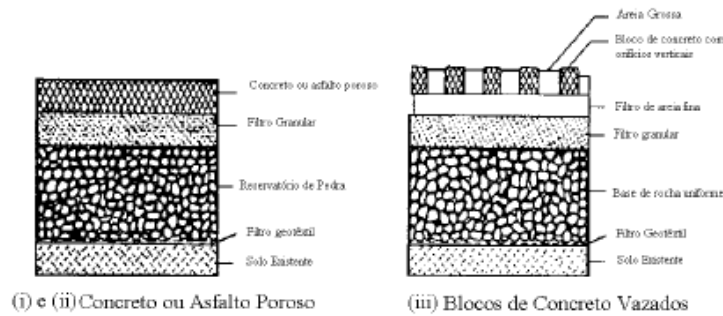


Figura 3.22 - Pavimento permeável (URBONAS e STAHR, 1993).

As vantagens desse tipo de controle podem ser as seguintes: redução do escoamento superficial previsto quando comparado ao da superfície impermeável; redução dos condutos da drenagem pluvial e da lâmina de água de estacionamentos e passeios. As desvantagens são: a necessidade de manutenção do sistema para evitar que fique colmatado com o tempo; maior custo direto na construção; eventual contaminação dos aquíferos.



Figura 3.23 - Pavimento poroso em estacionamentos (WOODWORTH, 2002).

Em relação às **ações de reflorestamento**, pode-se dizer que existem inúmeros benefícios que são administrados pela manutenção de áreas com cobertura florestal, como melhorias: na qualidade e quantidade d'água, na atenuação do microclima local, na recreação e lazer, e na manutenção de recursos genéticos de flora e fauna, permitindo seu uso racional tanto para a atual geração, como para as futuras através de manejo sustentado destes recursos.

Para estudarmos o comportamento de uma floresta é necessário entender, primeiro, o comportamento de uma árvore, ou seja, sua auto-ecologia: estratégias de crescimento e reprodução da árvore, bem como sob que circunstâncias se dão seu desenvolvimento e crescimento em termos de temperatura, altitude, umidade e tipo de solo. Basicamente existem 3 tipos de espécies florestais:

- pioneiras: espécies que crescem rapidamente à plena luz, curto ciclo de vida (12-40 anos) e alto consumo d'água por transpiração. Outra característica importante dessas espécies é a alta taxa de deposição de matéria orgânica no solo, fato necessário para formar um substrato ideal para germinação das sementes, normalmente dispersadas pelo vento para atingir vastas áreas ou muitas vezes por “chuva de sementes” quando, por ocasião da queda, o fruto seco se contrai, “explodindo”, na seqüência, sementes a grandes distâncias.
- secundárias: inicialmente estas espécies que crescem moderadamente a meia-sombra, pois o tecido foliar capta luz preferencialmente em comprimentos de onda maiores nesse estágio. Ao atingir a idade jovem ela muda este comportamento e passa a absorver luz em faixas de comprimento de onda menores e consumir mais água, crescendo rapidamente à plena luz. Apresenta médio ciclo de vida (60-80 anos);
- clímax: espécies de crescimento necessariamente lento e a sombra nos primeiros anos de vida, desenvolvendo-se melhor à meia-sombra, até atingir a idade adulta onde passa a necessitar de plena luz dominando dossel superior da floresta; Apresenta longo ciclo de vida (>120 anos).

Analisando esses três grupos de espécies em termos de sucessão ecologia, nota-se que as espécies pioneiras criam condições de microclima favorável ao desenvolvimento das

espécies secundárias que, por sua vez, cria condições propícias ao desenvolvimento das espécies clímax. Portanto quando cai uma árvore na floresta, abre-se uma clareira que é prontamente colonizada pelas espécies pioneiras. Neste estágio de desenvolvimento à plena luz a maioria das espécies não possui ainda um controle eficiente dos estômatos, agente foliar responsável pela manutenção de concentrações adequadas de água nas células no tecido foliar e na planta havendo alto consumo de água por transpiração.

Transpiração é a perda de água na planta, através de sua parte aérea, na forma de vapor e medida em mm/unidade de tempo. Os principais fatores que afetam a transpiração são: o clima, o solo e o tecido foliar da planta.

Em relação ao clima, a temperatura determina o potencial de vapor atmosférico, ou seja, o volume máximo de vapor d'água que o ar pode reter a uma temperatura. Quando este volume fica parcialmente preenchido, é de grande interesse saber o percentual preenchido, ou seja, a umidade relativa do ar para aquela temperatura. Se este volume é preenchido e se formam núcleos de condensação deste vapor ocorre precipitação. Esta precipitação pode-se dar por uma queda brusca de temperatura, como a chegada de uma frente fria, ou por saturação do ar a uma mesma temperatura. Para exemplificar este último processo de formação de precipitação, imagine que a temperatura atmosférica seja de 30 graus Celsius e que se variem as umidades relativas entre 100%, 82,6% e 50%. Aplicando a fórmula para medir o potencial atmosférico dada pela expressão: $\Psi_{atm} = R.T.Ln(UR/100)$, onde R é a constante universal dos gases ideais (4,556), T é a temperatura e UR é a umidade relativa, Tem-se:

R	T	UR (%)	Ψ_{atm}
4,556	30	100	0
		82,6	-261,3
		50	-947,4

Quadro 1 – Potencial atmosférico a 30°C em diferentes URs.

Logo quanto menos preenchido por vapor d'água o ar estiver, maior será o déficit de pressão e, conseqüentemente, maior será a transpiração potencial, pois o transporte se dá termodinamicamente por diferença de potencial entre a água do solo, a da planta e a da atmosfera. Olhando deste prisma, a transpiração de uma árvore funciona como uma bomba que puxa sistematicamente água do solo (figura 3.24), tanto mais quanto maior

for a disponibilidade d'água no solo e menor for a umidade relativa, merecendo bastante destaque no ciclo hidrológico:

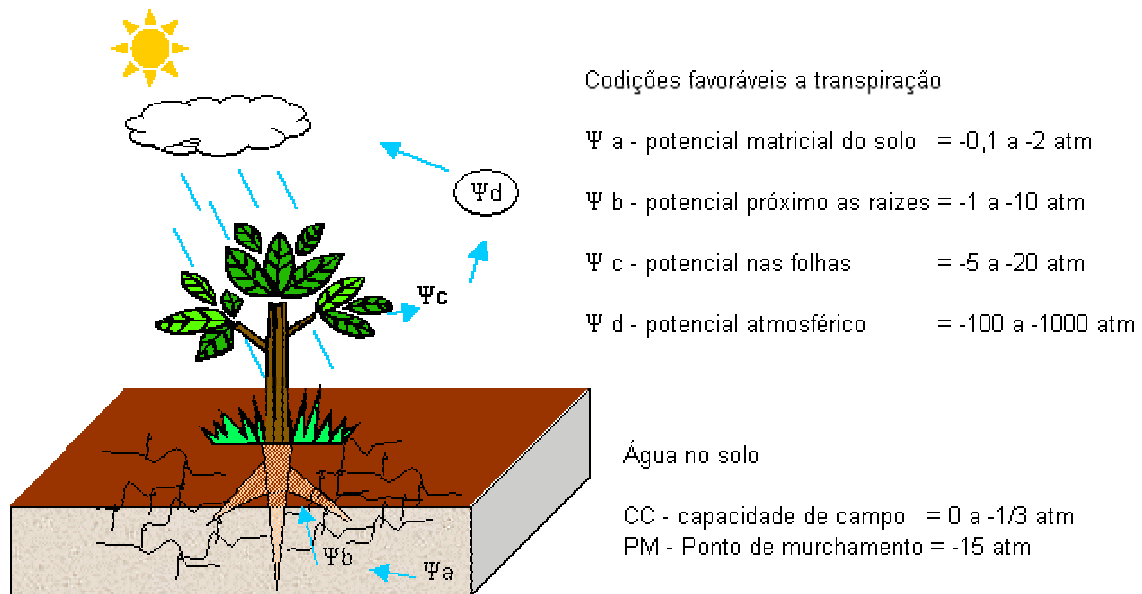


Figura 3.24 - Processo de transpiração de uma árvore. Sistema solo-planta-atmosfera.

Neste sistema fisicamente inter-relacionado e dinâmico, denominado solo-planta-atmosfera, o solo impõe limites à transpiração da planta. Quando o potencial matricial do solo encontra-se $-1/3 \text{ atm} < \Psi_a < 0 \text{ atm}$, dizemos que o solo está em sua capacidade de campo (CC), não havendo restrições as plantas. A partir de $-1/3 \text{ atm}$ começa haver restrição à transpiração que varia de espécie para espécie em função de seu tecido foliar. Este tecido foliar, como já foi discutido acima, varia inclusive com a idade da planta e o grupo ecológico em questão. Entretanto quando o potencial atinge -15 atm no solo, nenhuma planta consegue sobreviver por muito tempo. Este valor é denominado de ponto de murchamento (PM).

Outro processo igualmente importante que ocorre em uma árvore e intervem no ciclo hidrológico, além da transpiração, é a interceptação vegetal, pois as melhorias na qualidade e quantidade d'água que advêm da diminuição do escoamento superficial são em grande parte, proporcionadas, também, por aumentos nas taxas de interceptação. Entretanto, a taxa de interceptação não difere entre os grupos ecológicos, sendo, portanto, capaz de ser estudada de forma genérica, ou seja, como uma floresta.

Portanto, uma comunidade florestal, sob esta ótica, é um sistema unificado onde os diferentes grupos ecológicos das espécies florestais interagem entre si formando,

especialmente, um mosaico de espécies em diferentes estágios sucessionais que, em relação à interceptação, apresenta um padrão de consumo d'água homogêneo e muito dependente do regime de distribuição de chuvas de uma região. Pode-se dizer que existe uma relação inversa entre a interceptação e a intensidade de precipitação. A figura 3.25 exemplifica tal situação.

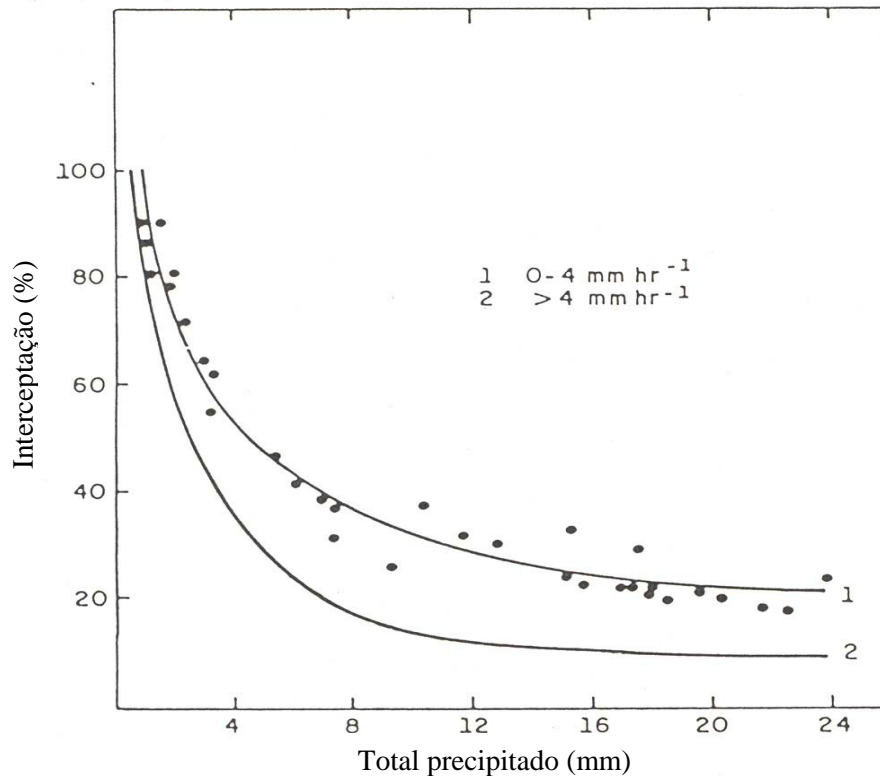


Figura 3.25 - Relação entre interceptação-intensidade-precipitação (BLAKE, 1975)

Se a interceptação, como componente do consumo de água, alcançar sua proporção máxima, como deve ocorrer em regiões de regimes de chuvas caracterizados por chuvas leves, porém contínuas e freqüentes, uma dada floresta irá apresentar um alto consumo de água, devido ao aumento da interceptação. Por outro lado, onde o regime de chuvas é concentrado, de sorte que há mais dias secos do que chuvosos no ano, o consumo total de água de uma dada floresta, independente da espécie, pode até mesmo não exceder ao consumo de água de uma vegetação de menor porte.

No entanto, quando se somam os dados de interceptação com os dados de transpiração e comparam-se áreas florestais com áreas de campo, nota-se que o consumo por evapotranspiração da vegetação de menor porte é bem menor do que a da área com floresta (figura 3.26).

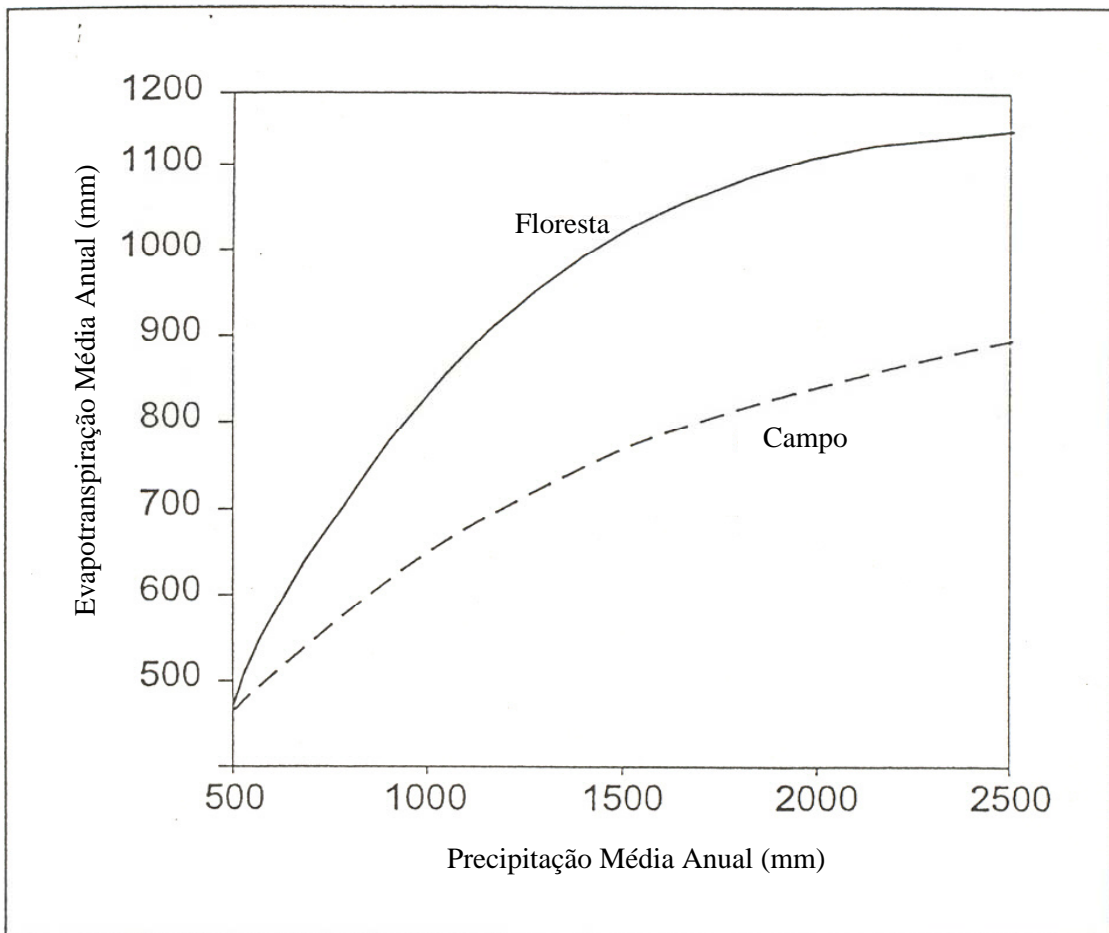


Figura 3.26 - Evapotranspiração média anual de pastos e florestas em função da precipitação média anual (adaptado de HOLMES e SINCLAIR, 1986)

De acordo com o exposto acima, pode-se inferir que, com a remoção da cobertura florestal, aumentos na vazão média anual podem ser obtidos pela diminuição do processo de evapotranspiração. Experimentos conduzidos na Austrália comprovam a questão acima (figura 3.27)

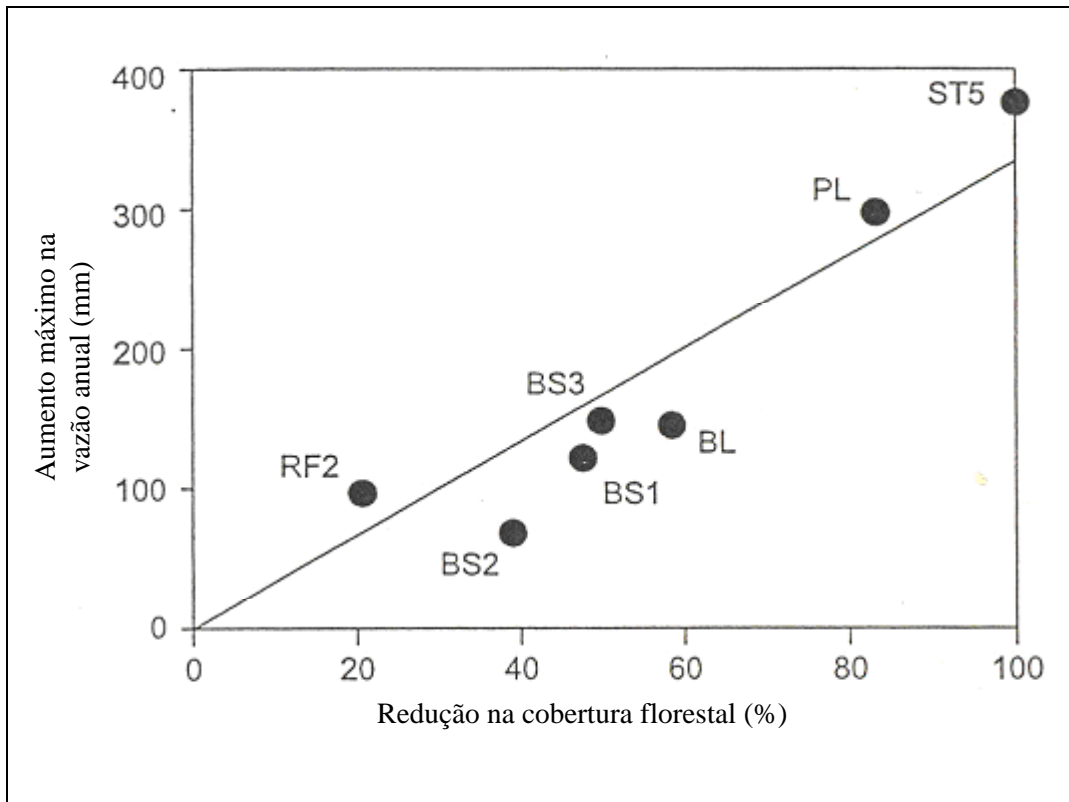


Figura 3.27 - Relação entre o aumento máximo da vazão anual e a percentagem de área florestal derrubada em sete bacias em Victória (SYDNEY, 1998)

Entretanto a natureza impõe certos limites para este ganho no tempo em função das mudanças ocorridas na superfície do solo e, conseqüentemente, nas parcelas do ciclo hidrológico. A deposição de matéria orgânica proporcionada pela queda de folhas, galhos e árvores, forma uma camada espessa sobre o solo (10-20 cm) chamada de serrapilheira. Esta camada, ao reagir com a camada superficial do solo, forma partículas agregadas de diâmetro maior, melhorando a estrutura do solo e favorecendo uma maior taxa de infiltração de água no solo. Quando se corta a floresta, esta manta orgânica é rapidamente mineralizada devido à entrada de uma quantidade maior de energia e à ação de microrganismos (FASSBENDER, 1980). Este fato associado à ação da precipitação acaba por retirar toda serrapilheira do solo. Este processo acontece da seguinte forma: as gotas de chuva pulverizam os agregados do solo com o conseqüente entupimento dos poros. A água da chuva que não tem chance de infiltrar mais no solo passa a escoar superficialmente que, dependendo da declividade do terreno, pode adquirir energia cinética suficiente para transportar tudo que obstruir seu caminho. Dessa forma o que se pode ver ao longo do tempo é o retorno da vazão média a

patamares muitas vezes inferiores ao do patamar anterior ao da retirada da floresta (figura 3.28).

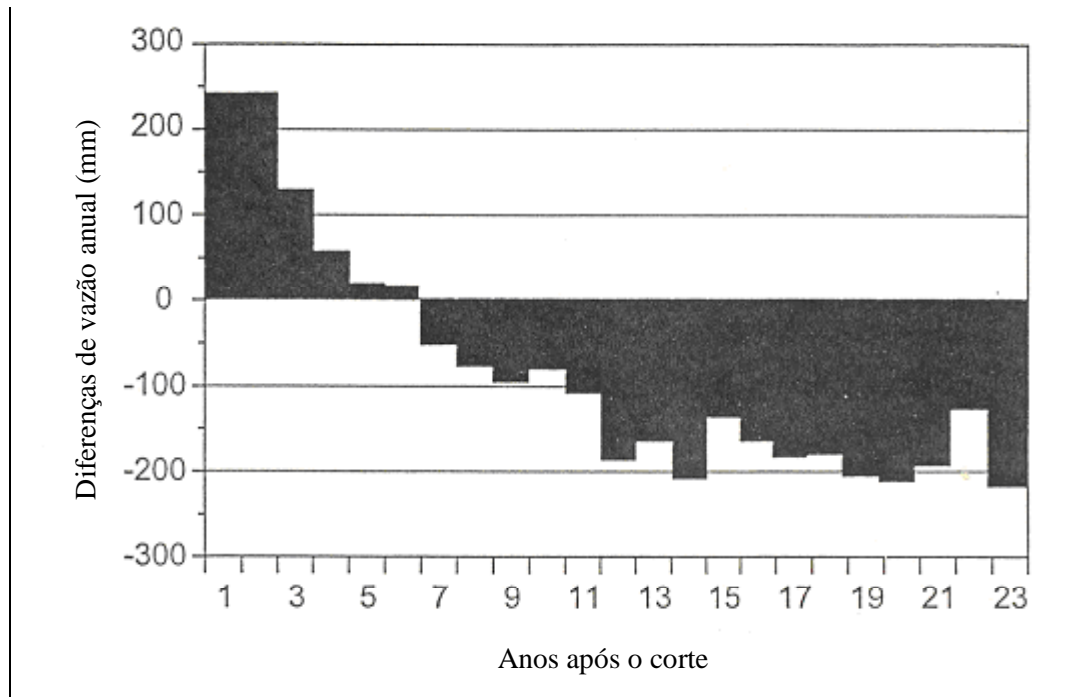


Figura 3.28 - Mudanças na vazão anual da bacia do rio Picaninny, Victoria, de 1973 a 1995 (VERTESSY et al., 1998).

No que diz respeito aos efeitos benéficos sobre aspectos hidrológicos quantitativos, se as ações de reflorestamento forem feitas em áreas estratégicas, pode-se conseguir bons resultados na diminuição do escoamento superficial, devido ao favorecimento do processo de infiltração, com o conseqüente aumento do escoamento de base. De acordo com OTTONI (1995) pode-se dividir uma bacia em 3 zonas hidrológicas (figura 3.29):

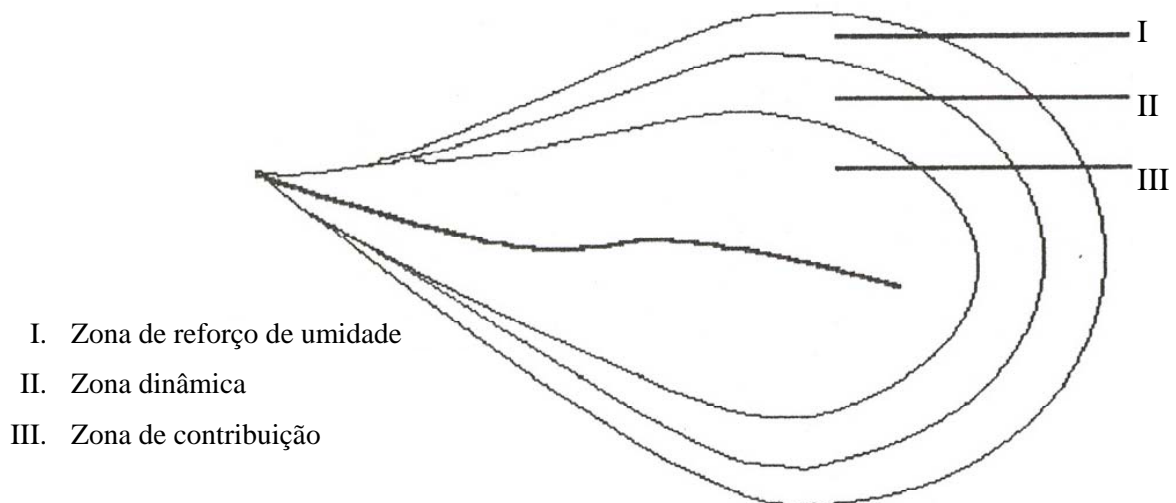
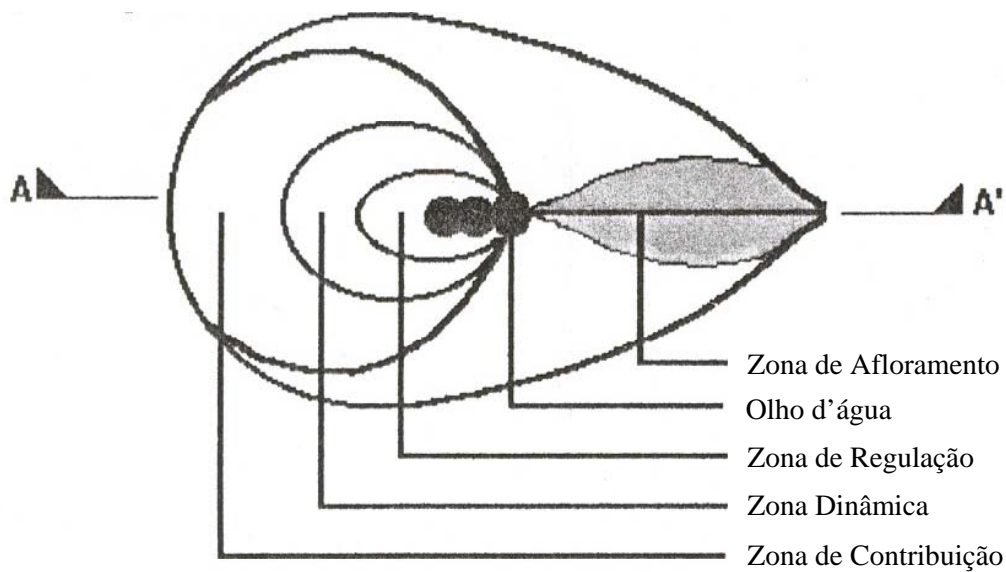


Figura 3.29 - Zonas hidrológicas de uma bacia hidrográfica.

As ações de reflorestamento devem ser feitas preferencialmente nas zonas de reforço de umidade. Uma outra estratégia para aumentar o escoamento de base é a recuperação de nascentes situadas nas zonas de reforço de umidade. As nascentes são afloramentos do lençol freático que possuem características hidrológicas particulares (figura 3.30), onde há zonas que captam, conduzem e distribuem água. Ela pode apresentar movimentos do olho d' água ascendentes (caracterizando carga do freático) e movimentos descendentes (descarga do freático). Desta forma, o plantio de essências florestais com o objetivo de manejar as nascentes não deve ser realizado de forma aleatória, devendo obedecer premissas apresentadas no quadro da figura 30, sob o risco de haver excesso de demanda e esgotamento de nascente.



Corte AA'



Zonas	Reflorestamento
Contribuição	Semi-adensado com espécies pioneiras e secundárias.
Dinâmica	Espaçamento > 2 m e espécies secundárias e climáticas.
Regulação	Não reflorestar.
Afloramento	Não reflorestar.

Figura 3.30 - Estratégia para reflorestamento de nascentes (UFRRJ, 1997).

Estudos realizados por JEFFREY (1965) demonstram que intervenções localizadas nas nascentes do rio Saskachewann no Canadá, em apenas 12,6% da área da bacia de drenagem, localizada na zona de reforço de umidade, são responsáveis por transformar 80% da precipitação incidente em escoamento de base. Em São Paulo, na estação experimental de Cunha, existem bacias, totalmente cobertas por vegetação, que chegam a transformar 71% da precipitação em vazão de base (CICCO,1984).

No entanto, é importante ressaltar que estas altas taxas ocorrem normalmente em florestas em estágio de desenvolvimento avançado (figura 3.31). Como dito anteriormente, isto se deve, em grande parte, pelas características das espécies dominantes na floresta, durante esse estágio, em termos de anatomia e fisiologia aliada a fatores edafoclimáticos (solo e clima).

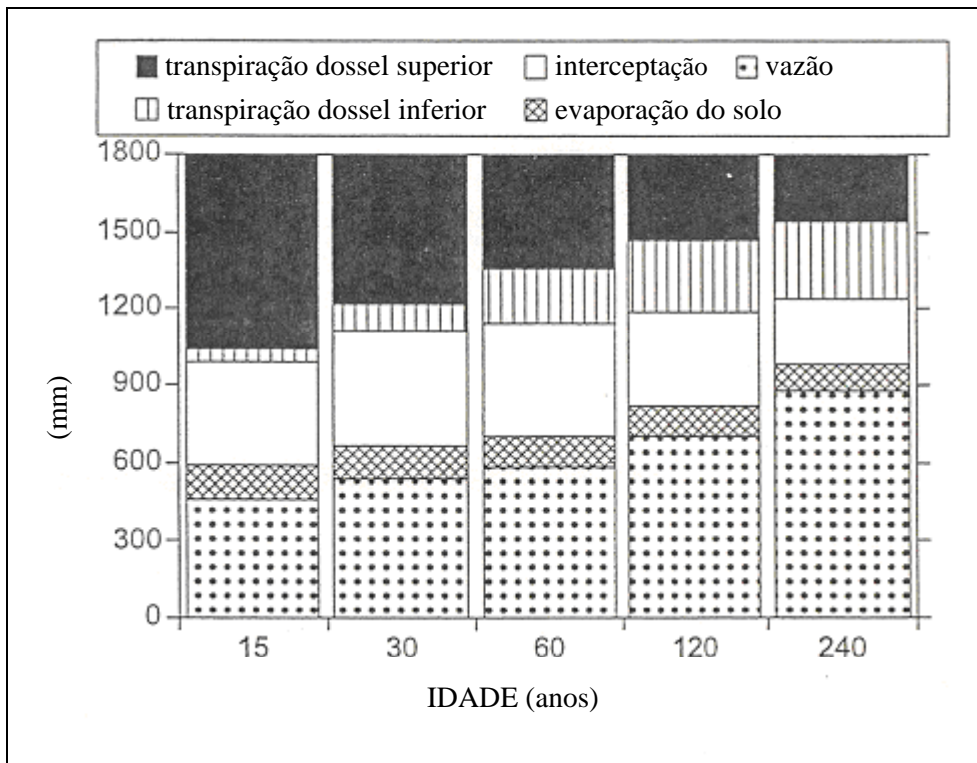


Figura 3.31 - Balanço hídrico para padrões de florestas de altitude elevada para várias idades assumindo uma precipitação anual de 1800 mm (VERTESSY et al.. 1988)

As áreas de estacionamentos e parques esportivos podem ser utilizadas para reter parte do volume de escoamento superficial, gerado pela própria superfície ou por áreas adjacentes, desde que, no projeto, se levem em consideração critérios de frequência com que se formam as lâminas nas superfícies, o tempo de esvaziamento e a altura da lâmina. Segundo AMEC (2001) essas áreas devem ter capacidade para armazenar uma cheia de 25 anos de recorrência. Vertedores de emergência devem ser previstos para cheias de maior tempo de recorrência, tendo como diretriz não causar impactos significativos à jusante.

a) Armazenamento em estacionamentos

A utilização de estacionamentos como área de detenção de escoamento deve ser planejada com mínima interferência para pedestres e ao tráfego de veículos durante uma tempestade. Áreas perimetrais de grandes estacionamentos são ideais para esse tipo de controle. Existem duas formas típicas de aproveitamento (AMEC, 2001):

- Utilizando áreas alagáveis ao longo de trechos com mureta elevada;
- Áreas de depressão do pavimento do estacionamento.

Deve-se evitar que a lâmina seja superior a 20 cm para uma cheia de dez anos de retorno, com esvaziamento de até 30 minutos. A área de armazenamento deve ter uma declividade mínima de 0,5% no sentido do dispositivo de saída, garantindo a total drenagem após a precipitação.

b) Parques esportivos

Através da construção de bermas no entorno de campos de futebol, pistas de atletismo, entre outros, criam-se grandes áreas de armazenamento. A vazão efluente pode ser controlada através de um orifício ou outra estrutura de controle do escoamento.

Os **Valos de Infiltração** são dispositivos de drenagem lateral, muitas vezes utilizado paralelos às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais (figuras 3.32, 33 e 34). Concentram o fluxo das áreas adjacentes e criam condições para infiltração ao longo do seu comprimento, devendo ter volume suficiente para não ocorrer transbordamento, enquanto não ocorre toda a infiltração, funcionando como um reservatório de detenção, na medida em que a vazão que escoar para a vala seja maior do que a sua capacidade de infiltração. Nos períodos com pouca precipitação ou de estiagem, ele é mantido seco. Esse dispositivo é de grande aplicação para o tratamento

da qualidade do escoamento superficial, permitindo remoção de até 80% dos sólidos em suspensão (AMEC, 2001).

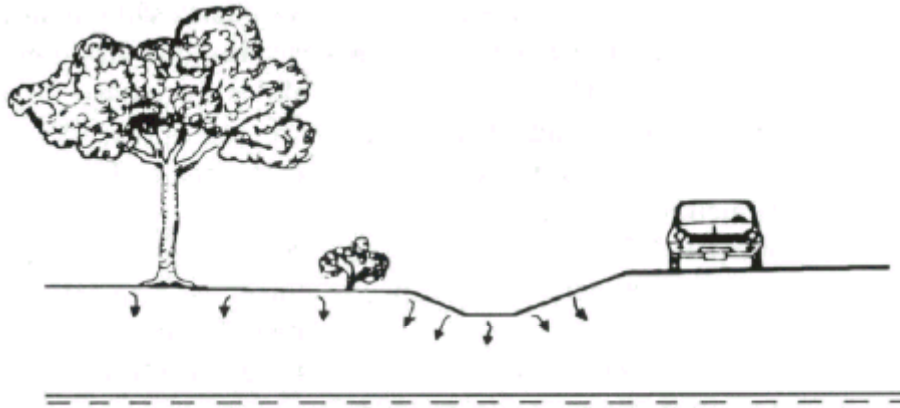


Figura 3.32 - Valo de Infiltração (TUCCI apud URBONAS E STAHR, 1993).



Figura 3.33 - Valo de Infiltração (AMEC, 2001).

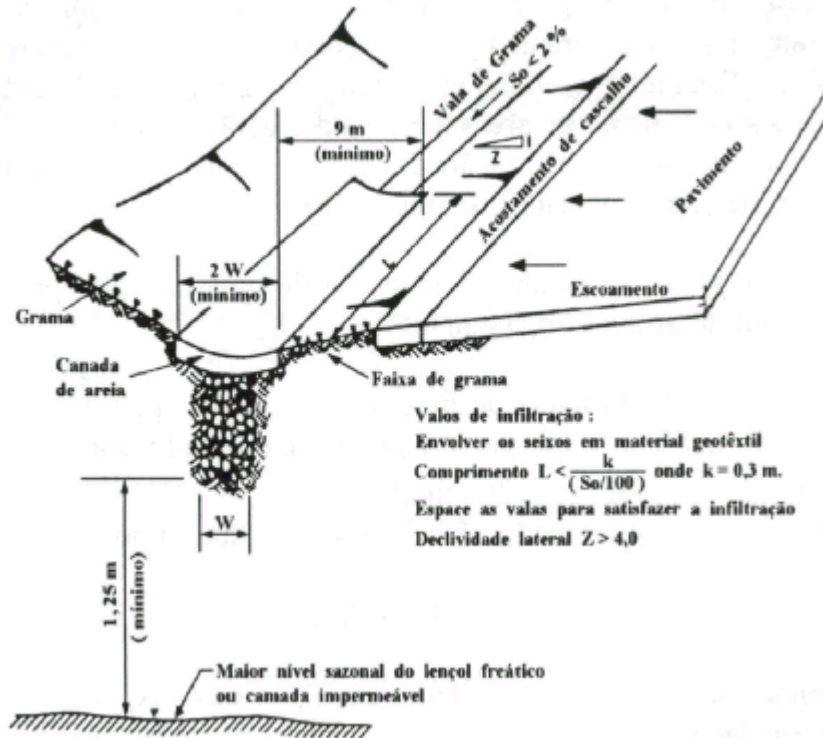


Figura 3.34 - Valo de infiltração - detalhe (TUCCI apud URBONAS e STAHR, 1993).

As **trincheiras de infiltração** têm seu princípio de funcionamento no armazenamento da água por tempo suficiente para sua infiltração no solo, tendo bom desempenho na redução dos volumes escoados e das vazões máximas de enchentes.

Estas estruturas são constituídas por valetas preenchidas por seixos (brita ou outro material granular), com uma porosidade em torno de 35%. Um filtro de geotêxtil é colocado envolvendo o material de enchimento, sendo recoberto por uma camada de seixos, formando uma superfície drenante (figura 3.35). Além da função estrutural, o geotêxtil impede a entrada de finos na estrutura, reduzindo o risco de colmatção, podendo ainda funcionar como filtro anticontaminante (CRUZ, ARAÚJO e SOUZA apud BALADES et al., 1998).

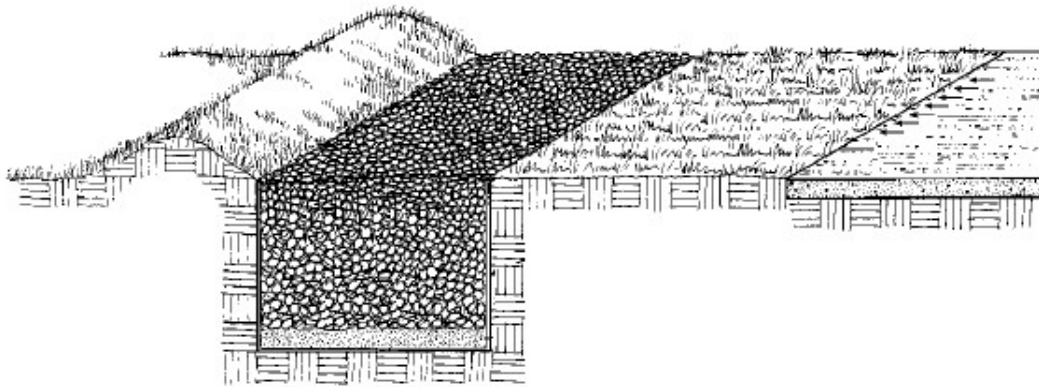


Figura 3.35 - Trincheira de Infiltração (AMEC, 2001).

Ao interceptar o escoamento superficial, a trincheira de infiltração propicia a recarga do lençol freático, preservando a vazão de base, também funcionando como um dispositivo de tratamento da qualidade de água do escoamento superficial, permitindo remoção de até 80% dos sólidos em suspensão (AMEC, 2001). Trincheiras de infiltração são aplicáveis em áreas residenciais e comerciais de média a alta densidade de ocupação, onde o solo é suficientemente permeável, sendo capaz garantir uma taxa de infiltração razoável, e onde o nível do lençol freático é baixo o suficiente, de forma a evitar a sua contaminação (figuras 3.36, 37 e 38).



Figura 3.36 - Trincheira de Infiltração (AMEC, 2001).



Figura 3.37 - Trincheira de infiltração (WOODWORTH, 2002).



Figura 3.38 - Trincheira de Infiltração (CASQA, 2003).

Entre as **medidas estruturais de controle na micro-drenagem**, os **reservatórios de lote** apresentam-se como medidas de controle de cheias urbanas, dispostas de forma distribuída na bacia hidrográfica, e consistem em pequenos reservatórios de detenção em lotes urbanizados, que, em conjunto, buscam restaurar a capacidade que a bacia apresentava antes de seu desenvolvimento, armazenando parte da chuva e retardando parte de seu escoamento (MAGALHÃES et al., 2003).

SCHILLING (1982), TSUCHIYA (1981) e O'LOUGHLIN et al. (1995) analisaram as vantagens e desvantagens dos reservatórios de lote: (i) não transfere para jusante o impacto da urbanização; (ii) o sistema é equitativo, já que coloca a responsabilidade do controle para quem implementa a urbanização e se beneficia dela; (iii) problemas são resolvidos na origem; (iv) controle da qualidade da água; (v) sob algumas condições hidrológicas, armazenamentos localizados nas partes mais baixas das bacias podem aumentar as taxas de escoamento a jusante devido a hidrogramas retardados; (viii) a manutenção é o maior problema, criando obrigações pesadas aos proprietários.

Despontam também como uma oportunidade de o seu proprietário utilizar as águas da chuva para consumo próprio, de forma não-potável, tornando-se um empreendimento economicamente atraente e aumentando a oferta global de água no sistema de abastecimento (CANEDO et al., 2003).

Entre as **medidas estruturais de controle na macrodrenagem**, a **canalização** é uma medida estrutural intensiva de aumento da eficiência do escoamento (figura 3.39). A canalização amplia a capacidade do rio em transportar uma determinada vazão, através do aumento da seção, diminuição da rugosidade e aumento da declividade do fundo. Como em outros casos, esta medida pode ser ineficaz se houver restrição à jusante, como o nível do mar, ou se existirem obstruções na rede de drenagem. O aprofundamento do canal rebaixa a linha d'água podendo evitar inundações, mas esta medida, com o aumento da extensão do trecho a proteger, pode-se tornar economicamente inviável.

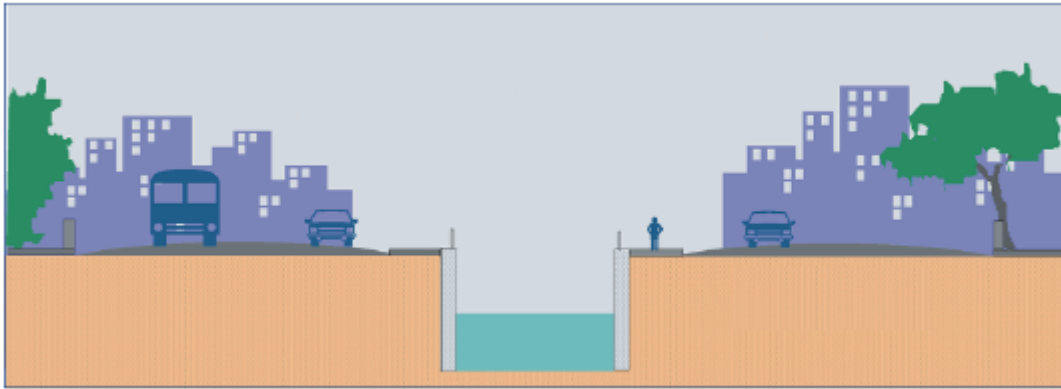


Figura 3.39 - Canalização típica de escoamento sobre as ruas (SEMADS, 2001).

Os diques são barramentos que margeiam o rio, impedindo o alagamento das várzeas de inundação, ocupadas pela urbanização (figuras 3.40 e 3.41). Eles podem ser de dois tipos:

- Diques perimetrais: proteção contra inundações de uma determinada região sem que haja confinamento do escoamento, protegendo-se apenas uma margem do curso d'água, portanto sem elevação do nível d'água.
- Diques longitudinais: proteção contra inundações de uma determinada região com confinamento do escoamento, diminuindo a seção transversal do curso d'água, o que provoca elevação do nível d'água. Porém, ele também aumenta enormemente a eficiência hidráulica do rio, aumentando sua velocidade e, por conseqüência, sua capacidade de vazão.

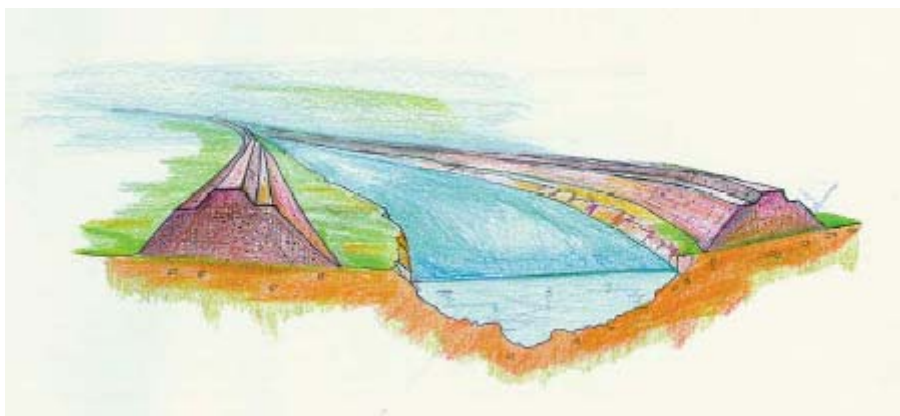


Figura 3.40 - Dique (SEMADS, 2001).

O projeto e a construção de um dique devem ser criteriosos e responsáveis. No caso de sua ruptura, as conseqüências negativas serão de maior magnitude do que se não existisse o dique. Onde há risco de vida para a população, como em bacias urbanizadas, a segurança deve ser maior, associada a medidas não-estruturais como um sistema de previsão de cheias e alerta em tempo real.

Em áreas muito baixas com relação à drenagem principal de uma região, configura-se, como alternativa, a implantação de pôlderes. Esse tipo de solução, reúne a combinação da construção de diques, eliminando a influência dos extravasamentos do curso d'água principal sobre a área alvo e a implantação de um sistema de drenagem local. O sistema de drenagem, nesse caso, será projetado em cotas mais baixas que os níveis d'água críticos do rio principal. Dentro da área do pôlder, as águas podem ser esgotadas por sistema de micro drenagem convencional, isto é, bocas de lobo, coletores secundários e principal ou por meio de valetas a céu aberto que direcionam as águas de chuva para um canal de cintura e/ou bacia de acumulação temporária do deflúvio da drenagem local, também conhecida como reservatório pulmão.

Dependendo das características topográficas do terreno, os volumes armazenados serão posteriormente entregues à drenagem principal, após a passagem da enchente, por meio da operação de comportas e/ou bombeamento, através de estações elevatórias.

O uso deste tipo de solução em drenagem urbana está restrito aos casos extremos, onde não há espaço para medidas de armazenamento, infiltração e mesmo canalização; pois apresenta custos muito altos e representa uma alteração enorme do sistema de drenagem natural.

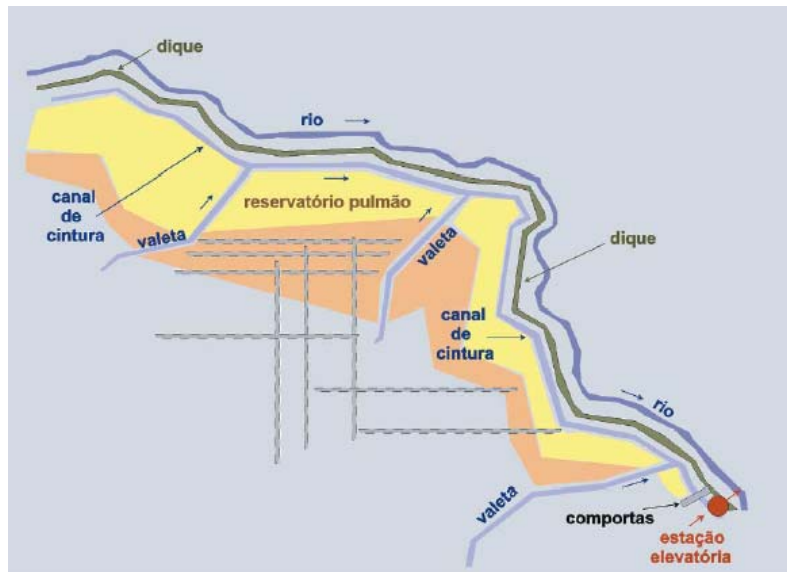


Figura 3.41 - Esquema de funcionamento de diques (SEMADS, 2001).

Obras de desvio (canais extravasores) têm como objetivo derivar parte do escoamento do curso d'água, em algum ponto, para a proteção de uma região a jusante. Esta solução pode ser combinada com os diques marginais (figura 3.42).

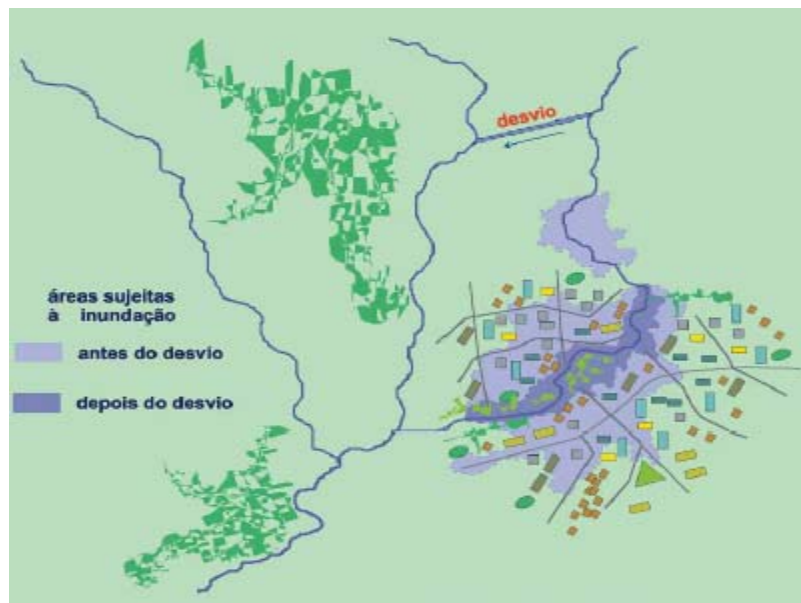


Figura 3.42 - Obras de desvio (SEMADS, 2001).

Os **reservatórios de detenção e retenção** são reservatórios que armazenam água durante a passagem do pico das cheias e esvaziam em um momento posterior (figura 3.43 e 3.44). Esta redistribuição temporal é responsável pela diminuição da vazão de pico. Este armazenamento artificial vem substituir o armazenamento que ocorria

naturalmente na bacia, pela interceptação vegetal e pelo armazenamento no solo após infiltração, e foi eliminado ou muito diminuído pelo processo de urbanização.

A sua utilização se dá tanto na macrodrenagem como na microdrenagem, sendo as dimensões a diferença entre as aplicações. Os reservatórios devem se localizar em talvegues para concentrar vazões e ter maior efeito. Parques públicos e praças são locais que geralmente dispõem de espaço e tendem a não ser utilizados durante a chuva. São, portanto, local apropriado para reservatórios de amortecimento, podendo, se for o caso, aproveitar lagos pertencentes à própria conformação do parque.

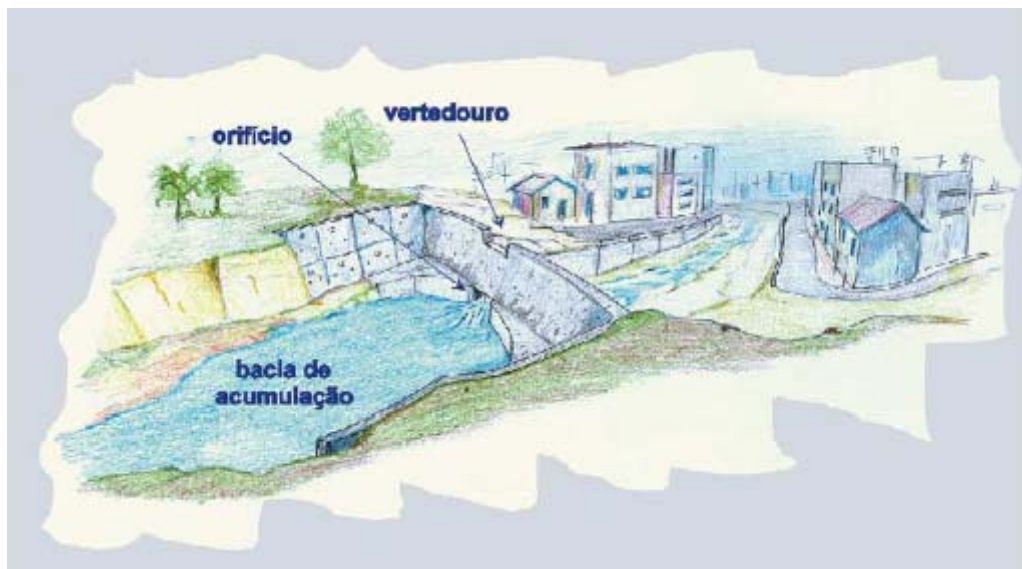


Figura 3.43 - Reservatório de detenção (SEMADS, 2001).

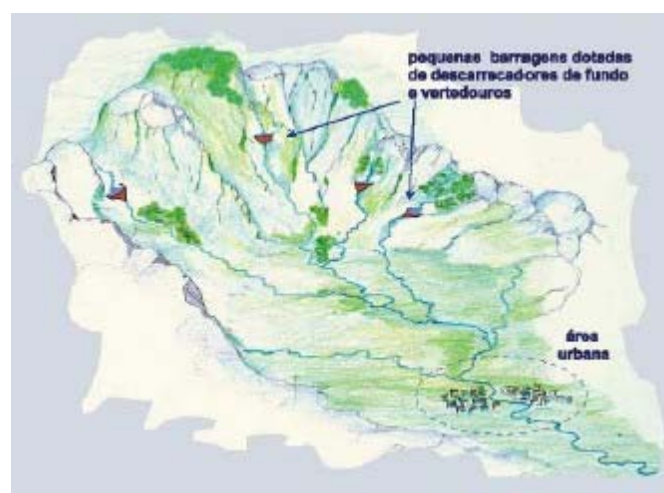


Figura 3.44 - Reservatórios de detenção em encosta (SEMADS, 2001).

O projeto dos reservatórios deve prever o mínimo de operação. Basicamente, ele deve funcionar sozinho, necessitando apenas de limpezas de manutenção após as cheias. O dimensionamento dos reservatórios é feito de acordo com a sua função. As possíveis funções são:

- Controle da vazão máxima: este é o caso típico do controle de enchentes. O reservatório é usado redistribuindo o volume de água no tempo de forma a manter as condições de vazão máxima preexistentes na área desenvolvida.
- Controle do volume: este é o caso quando as preocupações maiores são com a qualidade das águas. Quando a capacidade de uma estação de tratamento é limitada, é necessário armazenar o volume para que possa ser tratado. O reservatório pode ser também utilizado para deposição de sedimentos e depuração de poluentes pela manutenção do volume por mais tempo na bacia.
- Controle do material sólido: quando o transporte de sedimentos na bacia é significativo, este dispositivo pode reter parte dos sedimentos e diminuir o risco de assoreamento no sistema de drenagem.

Os reservatórios para controle de material sólido podem ser dimensionados para permanecerem secos durante a estiagem (reservatórios de detenção) ou manterem uma lâmina mínima, e conseqüente volume morto (reservatórios de retenção), como mostram respectivamente as figuras 3.45 e 3.46. A manutenção de uma lâmina tem a vantagem de evitar o crescimento de vegetação indesejável no fundo, sendo o reservatório mais adequado para controle de qualidade de água. O reservatório mantido seco tem as vantagens de aproveitar melhor o espaço e liberar a área para outros usos. Os reservatórios de detenção são os mais utilizados nos Estados Unidos, Canadá e Austrália (TUCCI e GENZ, 1995) apud VANNI (2004).

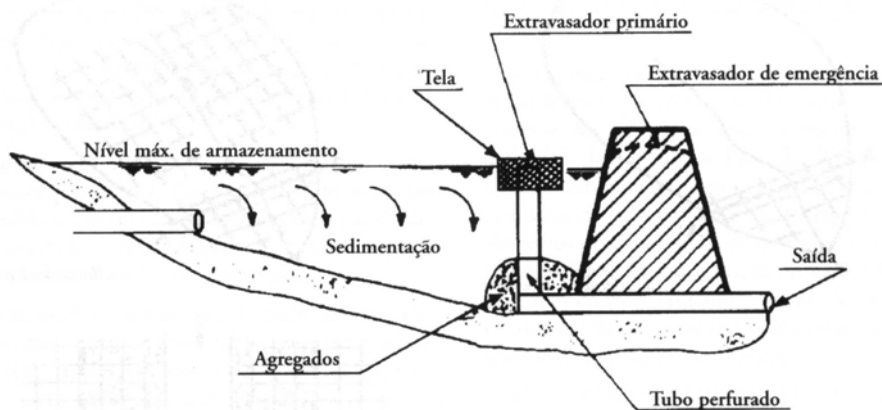


Figura 3.45 - Reservatório de detenção seco.

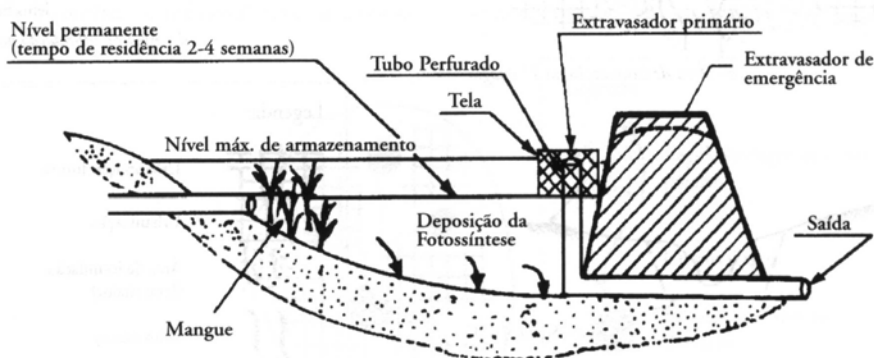


Figura 3.46 - Reservatório de retenção úmido.

As principais **medidas de controle não-estruturais** de enchentes são: zoneamento de áreas de inundação, sistema de alerta ligado à defesa civil, sistema de seguros e medidas institucionais como, por exemplo, a definição de taxas máximas de impermeabilização por lote e educação ambiental. As medidas não-estruturais, em conjunto com as anteriores ou sem essas, podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. Em Denver (Estados Unidos), em 1972, o custo de proteção por medidas estruturais de um quarto da área inundável era equivalente ao de medidas não-estruturais para proteger os restantes três quartos da área.

JOHNSON (1978) apud TUCCI (1993) identificou as seguintes medidas não-estruturais relativas às construções civis sujeitas a inundações: instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das estruturas, elevação de estruturas existentes, construção de novas estruturas sob pilotis, construção de pequenas paredes ou diques circundando a estrutura, relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro da estrutura existente, relocação de estruturas para fora da área de inundação, uso de material resistente à água ou novas estruturas, regulamentação da ocupação da área de inundação por cercamento, regulamentação de subdivisão e código de construção, compra de áreas de inundação, seguro de inundação, instalação de serviço de previsão e de alerta de enchente com plano de evacuação, adoção de incentivos fiscais para um uso prudente da área de inundação; instalação de avisos de alerta na área e adoção de políticas de desenvolvimento. TUCCI (1993), por sua vez, agrupa as medidas não-estruturais contra inundação em: regulamentação do uso do solo, construções a prova de enchentes, seguro de enchente, previsão e alerta de inundação.

Entre as medidas não estruturais, a varredura de sólidos grosseiros dos logradouros é de grande importância para se prevenir que, numa tempestade, eles sejam carregados para a

rede de micro e macrodrenagem, causando obstrução e/ou assoreamento da seção de escoamento; por outro lado, a remoção das partículas de menor dimensão é de grande importância em termos de melhoria da qualidade de água do escoamento superficial.

A **limpeza dos logradouros** é rotineiramente feita em áreas urbanas, forçando, entretanto e principalmente o controle do lixo. A frequência da limpeza varia de uma ou mais vezes por dia, em áreas comerciais, a uma vez ao ano ou menos, em estradas. A eficiência da limpeza na remoção de material sólido é mostrada na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Eficiência na limpeza de logradouros (BUTLER, 2000)

Tamanho da partícula (μm)	Eficiência de remoção	
	Varredura manual	Aspiração
> 5600	N/D	90
5600 – 1000	57	91
1000 – 300	46	84
300 – 63	45	77
< 63	25	76
Média	48	84

Em relação à **educação ambiental**, a Agenda 21 estabelecida pela ONU afirma, no seu capítulo 36.3, que “(...) A educação é fator crítico na promoção do desenvolvimento sustentável e na capacitação de pessoas para lidarem com as questões de meio ambiente e desenvolvimento (...) É de fundamental importância na formação de uma consciência, valores e atitudes ecológicas que sejam coerentes com o desenvolvimento sustentável e adequados para a participação efetiva do público na tomada de decisões. Para ser eficaz, (...) a educação (...) deveria tratar da dinâmica do meio ambiente físico / biológico e do meio sócio-econômico, assim como do desenvolvimento humano (...)”

O desenvolvimento de práticas de educação ambiental coloca-se como uma estratégia para a minimização de transtornos decorrentes dos efeitos dos desastres naturais, e também como uma forma de inverter o processo de degradação do espaço coletivo (SOUZA, et al., 1997). A presença de graves questões ambientais, como por exemplo,

lixos nas ruas, valas negras, falta de água tratada e o alto índice de mortalidade infantil, fazem, obviamente, com que haja uma redução da qualidade de vida da população, refletindo o descaso generalizado com os direitos básicos dos cidadãos (SOUZA, et al., 1997).

A complexidade deste problema exige das autoridades governamentais e da sociedade, esforços para promover e incentivar um processo educacional que permita inverter, a médio prazo, e minimizar, a curto prazo, a situação danosa atual (SOUZA, et al., 1997).

Um programa de educação ambiental deve estar vinculado às escolas, universidades, centros comunitários, instituições governamentais e meios de comunicação, incluindo noções de preservação dos diversos setores do meio ambiente, conscientização dos efeitos nocivos do destino inadequado do lixo, treinamento para as situações de emergência, promoção de amplas campanhas de conscientização através da mídia, inclusão de disciplinas ambientais nos ensinos fundamental e médio.

No que diz respeito **ao zoneamento de áreas de risco**, a regulamentação do uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis passa pelo estabelecimento do risco de inundação das diferentes cotas das áreas ribeirinhas. Nas áreas de maior risco não deve ser permitido a habitação, podendo esta ser utilizada para recreação, desde que o investimento seja compatível e que a área não se danifique, como parques e campos de esportes. Para cotas com menor riscos são permitidas construções com precauções especiais. Além disso, são efetuadas recomendações quanto aos sistemas de esgoto cloacal, pluvial e viário. Esta regulamentação deve ficar contida dentro do Plano Diretor da cidade.

O zoneamento deve ser baseado no mapeamento das áreas de inundação dentro da delimitação da cheia de 100 anos ou maior registrada. Dentro dessa faixa, são definidas áreas de acordo com o risco e com a capacidade hidráulica de interferir nas cotas de cheia a montante e a jusante (figura 3.47). A regulamentação depende das características de escoamento, topografia e tipo de ocupação dessas faixas. O zoneamento é incorporado pelo Plano Diretor Urbano da cidade e regulamentado por legislação municipal específica ou pelo Código de Obras. Para áreas já ocupadas, o zoneamento pode estabelecer um programa de transferência da população e/ou convivência com os

eventos mais frequentes. O sistema de alerta tem a função de prevenir com antecedência de curto prazo, reduzindo os prejuízos, pela remoção de bens e valores, dentro da antecipação prometida. Além disso, o sistema de alerta é fundamental para os eventos que atingem raramente as cotas maiores, onde as pessoas sentem-se seguras.

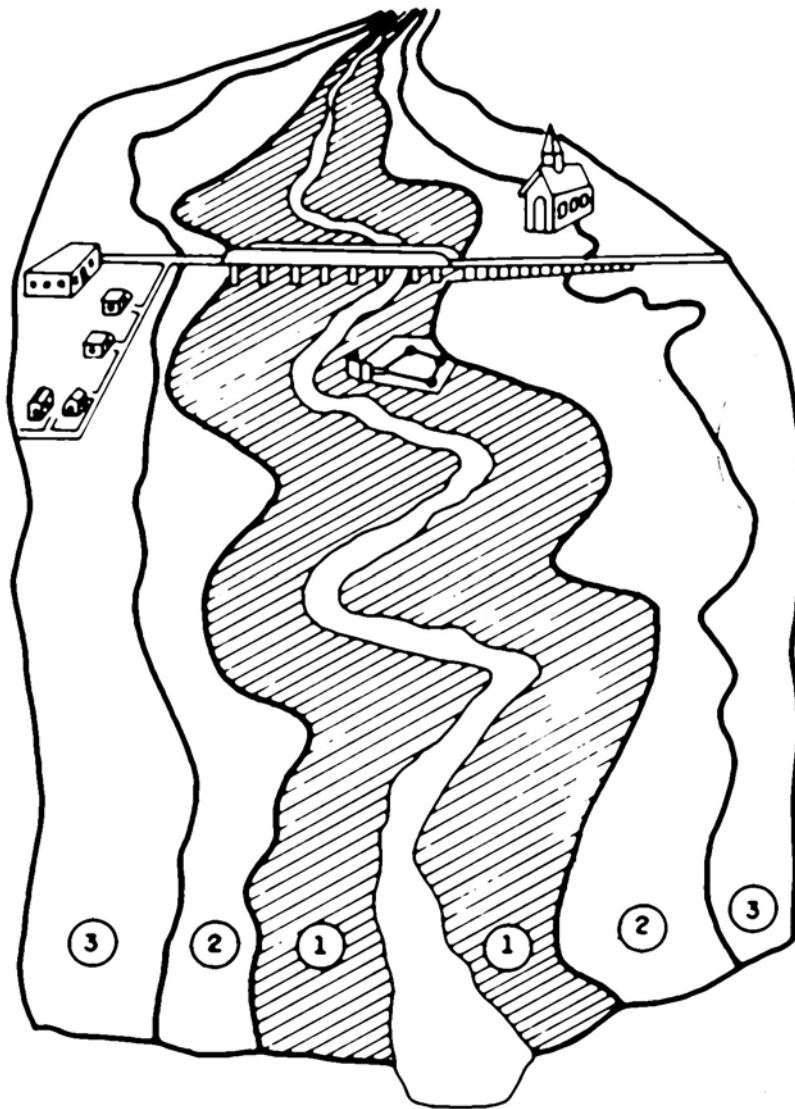


Figura 3.47 - Esquema de zoneamento de áreas de risco (Water Resources Council, 1971) apud VANNI (2004).

O **alerta e previsão de enchentes** formam um sistema composto de aquisição de dados em tempo real, transmissão de informação para um centro de análise, previsão em tempo real com modelo matemático, e Plano de Defesa Civil que envolve todas as ações individuais ou de comunidade para reduzir as perdas durante as enchentes.

Um sistema de alerta consiste em um conjunto de medidas que se utiliza dados de correlação entre chuvas e deslizamentos de terra, para a emissão de alarmes à população, sempre que, durante um evento de chuva, houver a probabilidade de ocorrência de deslizamentos ou inundações. Tal sistema, por si só, não evita desabamento ou enchente, mas reduz consideravelmente os efeitos das mesmas, já que apontando o risco iminente, permite a priorização de ações preventivas, como vistorias e remoções de pessoas (PEDROSA, 1994).

A montagem desse tipo de análise exige uma análise de estudos estatísticos sobre a recorrência de eventos, baseados em históricos de pluviosidade, de deslizamentos e de cheias; estudos geológicos, geotécnicos e hidrológicos, para definição das áreas de risco; e estudos de estabilidade localizados. É importante que cada cidade tenha conhecimento de suas próprias características e riscos, não sendo conveniente a utilização de modelos aplicados em outros locais (PEDROSA, 1994).

Um dos requisitos básicos para o sistema é a confiabilidade das informações dos serviços de meteorologia. Alguns sistemas de alerta baseiam-se em dados meteorológicos atualizados a cada 24 horas; já os mais sofisticados, requerem informações de 5 em 5 minutos. Do ponto de vista geotécnico, o sistema, obviamente, não indica a hora em que um deslizamento vai ocorrer, mas baseando-se na evolução da chuva, aponta uma probabilidade (PEDROSA, 1994).

É necessário que um sistema de alerta seja antecedido e acompanhado de decisões simultâneas em outras áreas, como, por exemplo, a negociação com a mídia, para a divulgação necessária, a elaboração de planos de inspeção e remoção, e orientação e treinamento, em linguagem acessível à população. A confiabilidade das informações utilizadas é essencial, pois a emissão de um alerta seguido da não ocorrência do previsto, poderá acarretar desgaste e falta de credibilidade do órgão responsável (PEDROSA, 1994).

Pode-se destacar, na cidade do Rio de Janeiro, o sistema de alerta Alerta Rio. Operado pela Fundação GeoRio, esse sistema possui 32 estações pluviométricas automáticas, fornecendo dados pluviométricos e probabilidade de escorregamentos na cidade do Rio

de Janeiro em tempo real, com taxa de atualização de dados a cada 15 minutos (figuras 3.48 e 3.49).



Figura 3.48 - Sistema Alerta Rio – Pluviômetros (Fundação GeoRio, 2004)

**Probabilidade de Escorregamentos na Cidade
(atualizado em 19/01/2004 às 10:20)**



Nível	Descrição
Baixa	Possibilidade de ocorrências de escorregamentos circunstanciais
Média	Possibilidade de ocorrências de escorregamentos ocasionais
Alta	Ocorrências de escorregamentos esparsos
Muito Alta	Ocorrências de escorregamentos generalizados

Figura 3.49 - Probabilidades de Escorregamentos – (Fundação GeoRio, 2004)

Em relação à **construções a prova de enchentes**, segundo SHEAFER (1967) apud TUCCI (1985) o qualificativo “à prova de enchentes” consiste na realização de mudanças em estruturas e ajustamento das partes de prédios com vistas à redução dos

danos das enchentes. Em situações onde apenas algumas propriedades isoladas estão ameaçadas por inundações, elas podem ser protegidas individualmente. Alguns prédios são construídos de tal forma que todo material importante é mantido nos andares superiores. O primeiro andar fica reservado para veículos que podem ser removidos em caso de enchentes.

Edifícios suficientemente resistentes para suportar as forças dinâmicas das inundações são algumas vezes protegidos contruindo-se os andares abaixo da cota máxima da inundação sem janelas e com portas resistentes a água (LINSLEY et al., 1992). Mesmo que o edifício seja envolto por água, ele está protegido contra a enchente, e grande parte das atividades de rotina pode ser executada sem maiores problemas. Esta é uma solução típica para edifícios que abrigam órgãos públicos essenciais.

A decisão sobre a necessidade de se utilizar estes meios de redução de prejuízos, devido a enchentes, depende de vários fatores tais como níveis d'água previstos, velocidade de escoamento, duração da inundação e disponibilidade de outras medidas alternativas de redução de prejuízos (TUCCI, 1985).

Por último, os **seguros de enchente** permitem aos indivíduos ou empresas a obtenção de uma proteção econômica para as perdas eventuais.

A solução ideal deve ser definida para cada caso em função das características do rio, do benefício da redução das enchentes e dos aspectos sociais de seu impacto. Certamente, para cada situação, medidas estruturais e não estruturais podem ser combinadas para uma melhor solução.

Novas tendências em modelos econômicos pregam o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, uma variedade de projetos de controle de enchentes tem sido empregados como parte de um grande esforço de restauração ambiental (FIELD et al., 2000), envolvendo a adoção de um conjunto de práticas e ações conhecidas internacionalmente como “Best Management Practices” (BMP) ou melhores práticas de gerenciamento (MPG).

Tendo em vista o tipo de controle que se almeja sobre os diferentes impactos da cheia, as BMP devem ser aplicadas após a definição de critérios de projeto para cada tipo de intervenção e impacto que se queira controlar, usualmente contidos nos planos de BMP que por sua vez incluem, em seu escopo, a adoção de medidas estruturais e não estruturais.

É importante salientar que nos planos de BMPs os aspectos de qualidade e quantidade d'água não se encontram mais dissociados como a algumas décadas, na qual os pesquisadores que estudavam mais os aspectos de quantidade d'água não interagiam com os de qualidade d'água (URBONAS e STAHRÉ, 1993 & MAKSIMOVIC, 1991). No contexto atual, os impactos sobre a qualidade das águas, normalmente, tem um grande destaque na definição de critérios de controle nas BMP. Para MDE (1998), por exemplo, medidas estruturais de BMPs devem ser projetadas para remover 80% do total de sólidos em suspensão (TSS) e 40% da carga de fósforo total (FT).

No entanto, os critérios sobre a escolha do local das obras, definição da chuva de projeto para cada tipo de intervenção e a administração dos respectivos volumes d'água gerados pela mesma são os fatores mais importantes no controle das cheias urbanas.

Em cidades onde o controle sobre as cheias vem sendo tratado consistentemente, estes critérios, bem como a definição das BMPs, estão normalmente contidos num manual de drenagem urbana onde o administrador público descreve conceitos básicos de intervenções em cheias e ilustra técnicas, muitas vezes, simples e práticas para preservar o ciclo hidrológico em sua área. BRASHEAR et al. (1999) que descrevem um projeto desenvolvido no Texas que originou um guia na web com mais de 100 BMPs, RICHMAN & BICKNELL (1999) que relatam o desenvolvimento do manual de drenagem para a bacia da baía de São Francisco, e MDE (1998) que desenvolveu um manual para a cidade de Maryland, são exemplos bem sucedidos deste tipo de iniciativa.

Entre as medidas mais comuns destacam-se o projeto e construção de bacias de retenção, planos de infiltração, filtros de areia, áreas de bioretenção, reflorestamento ciliar, restauração de canais naturais, legislação e educação ambiental (FIELD et al., 2000).

A seguir é descrito o conjunto dos diferentes projetos de BMPs correntemente usados no guia de drenagem desenvolvido para o Estado de Maryland por MDE (1998). As mesmas, encontram-se divididas em seis categorias de controle de cheias:

1. Reservatórios de detenção
2. Lagos de reservação
3. Práticas de infiltração
4. Práticas de filtragem
5. Práticas em canais abertos
6. Práticas não-estruturais

Dentro de cada grupo de BMP, os critérios de performance são detalhados e apresentados segundo seis fatores: viabilidade do governo, transporte, pré-tratamento e tratamento, meio ambiente/paisagismo e manutenção. Para ser considerado uma efetiva BMP o projeto deve ser capaz de:

- Capturar e tratar o volume d'água projetado,
- Remover 80% do TSS,
- Remover 40% do FT,
- Ter um aceitável taxa de longevidade no campo.

As análises do meio ambiente para o novo desenvolvimento local, de acordo com os critérios contidos no guia, são direcionadas para definição da seleção e escolha do local das intervenções, baseando-se nos seguintes fatores:

- Fatores de bacias – refere-se à aplicabilidade local da ação que se almeja na bacia, diante do uso atual. Por exemplo, não seria interessante escolher um plano de infiltração como medida de controle de áreas críticas em zonas de recarga de aquífero.
- Fatores do terreno – referem-se a impedimentos impostos pela geologia e/ou relevo local.
- Adequabilidade do tratamento da cheia – refere-se ao atendimento dos critérios de projeto no local, por parte da intervenção, em relação ao volume de armazenamento e tratamento que se preconizou.
- Viabilidade física – analisa se os fatores físicos locais coadunam com a medida de controle proposta: solo, drenagem da área, declividade e espaço.

- Comunidade local e meio ambiente – análise do impacto que a permanência da intervenção poderá causar à comunidade, levando a uma aceitação ou não por parte da maioria desta comunidade e se esta trará benefícios ao meio ambiente.
- Legislação – relaciona as características do meio ambiente que devem ser consideradas e respeitadas baseadas nas regulamentações no âmbito municipal, estadual e federal.

Em relação às ações não estruturais, o poder público local, no caso de Maryland, oferece uma linha de incentivos criada não só para reduzir o impacto do desenvolvimento no meio ambiente, mas também reduzir o tamanho e custo das práticas de controle de cheias necessárias em macro-escala. Os tipos de incentivos incluem:

- Conservação de áreas naturais – incentivos são dados quando áreas naturais são conservadas no desenvolvimento de loteamentos (figura 3.50).

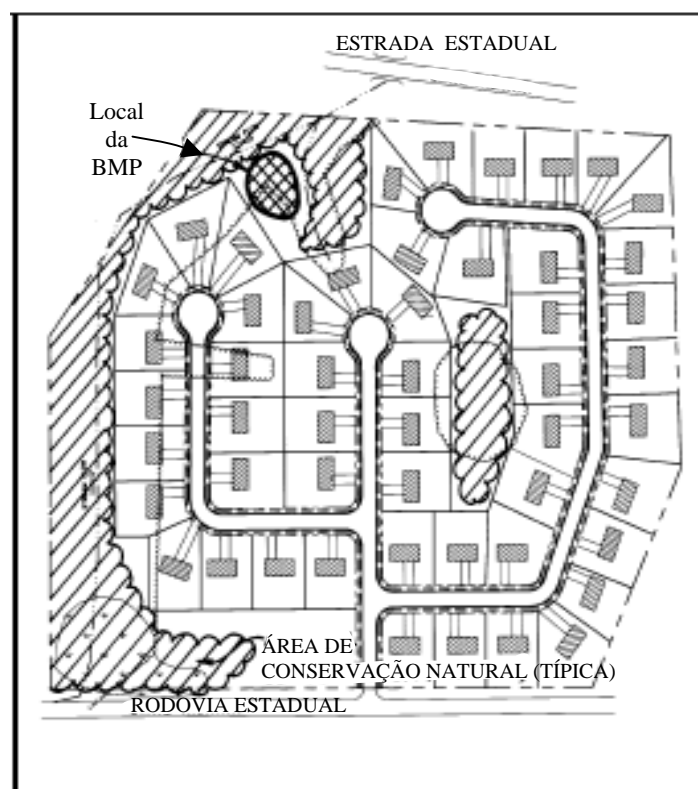


Figura 3.50 - Exemplo de crédito por área conservada.

- Desconexão da drenagem de telhados da rede de drenagem urbana – uma vez desconectando da rede este fluxo é então direcionado para um local onde o mesmo pode ser infiltrado ou filtrado por um dispositivo de BMP (figura 3.51).



Figura 3.51 - Desconexão da drenagem de telhados da rede de drenagem urbana.

- Desconexão da drenagem natural do lote da rede de drenagem urbana - uma vez desconectando da rede este fluxo é então direcionado para um local onde o mesmo pode ser infiltrado ou filtrado por um dispositivo de BMP (figura 52).

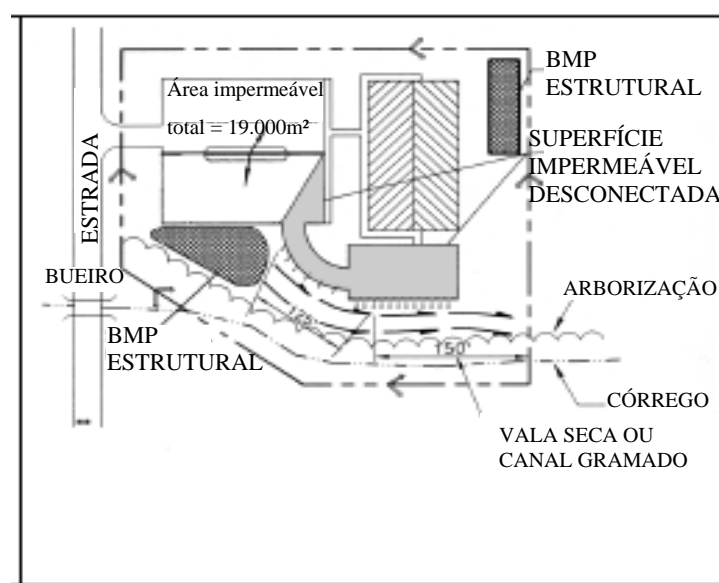


Figura 3.52 - Exemplo de desconexão da drenagem natural do lote da rede de drenagem urbana.

- Retenção da lâmina de escoamento superficial em faixas marginais de proteção – fluxos oriundos de áreas impermeáveis e permeáveis são descarregados em um gramado ou vegetação marginais a uma área receptora destes escoamentos, que então passa a recebê-los, tratando-os por ação de filtros de areia e/ou vegetação (figura 3.53).

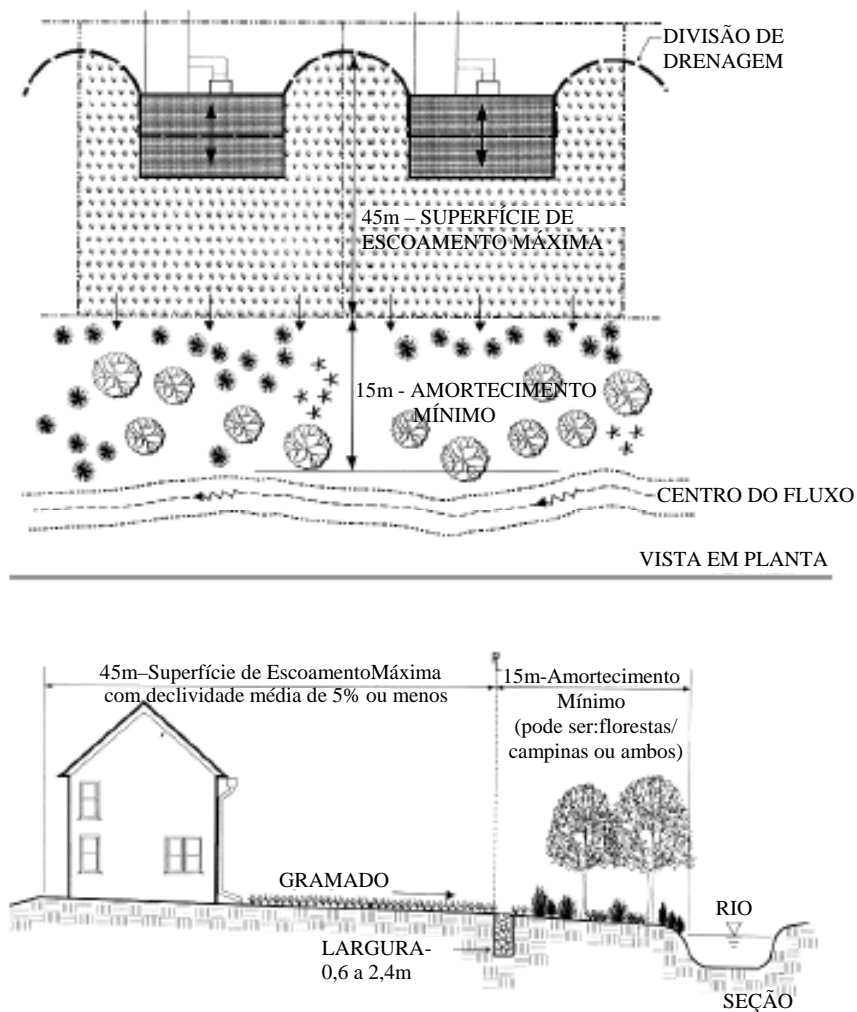


Figura 3.53 - Exemplo de retenção da lâmina de escoamento superficial em faixas marginais de proteção.

- Canal gramado para transporte da drenagem de áreas impermeáveis – uso de canais gramados para drenagem de áreas impermeáveis, tratamento de poluentes e do volume de escoamento superficial (figura 3.54).

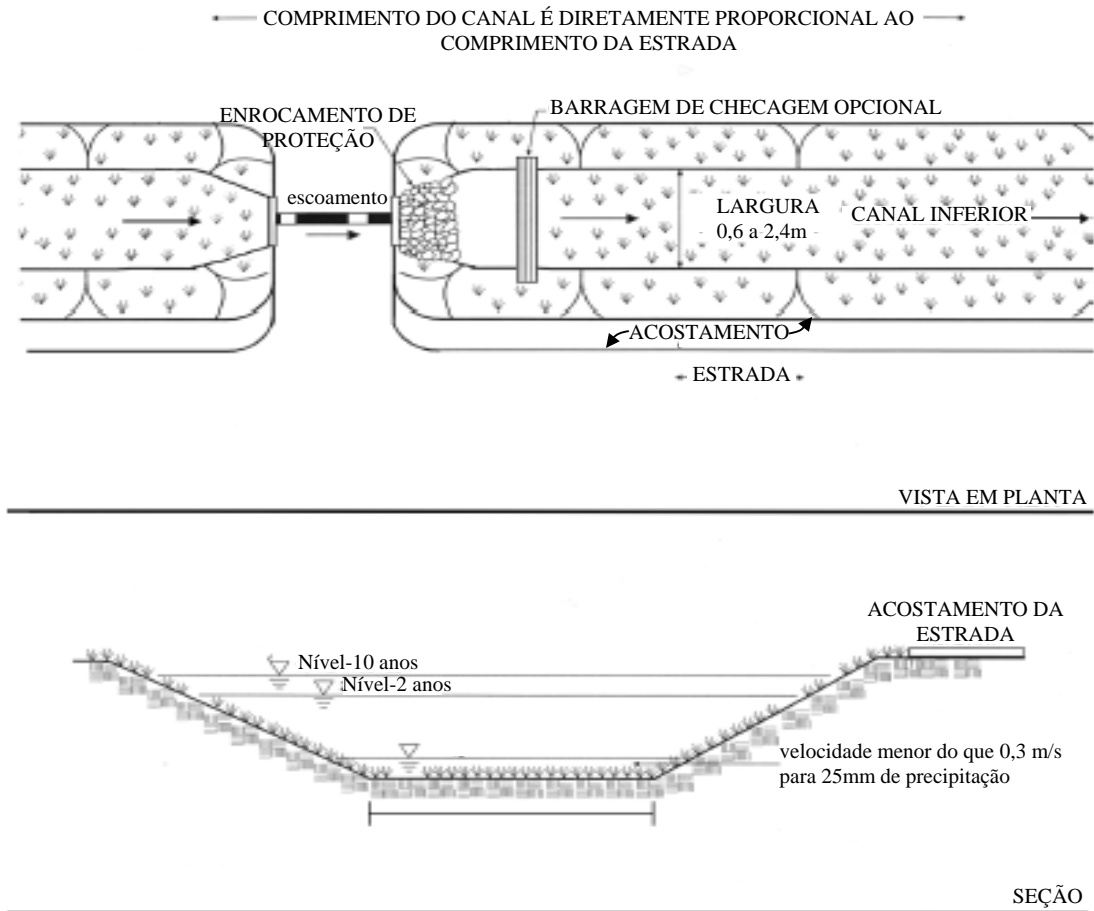


Figura 3.54 - Exemplo de canal gramado para transporte da drenagem de áreas impermeáveis.

- Desenvolvimento de práticas ambientais em lotes – ocorre quando um conjunto de BMPs é aplicado em um loteamento e/ou lote individual (figura 3.55).



Figura 3.55 - Exemplos de práticas ambientais em lotes

No que concerne à concepção de projetos de medidas estruturais, algumas dessas medidas de controle serão a seguir apresentadas em detalhes para um melhor entendimento do funcionamento das mesmas.

Reservatórios de detenção secos

São práticas que controlam o volume d'água durante a passagem da cheia embora pelo fato de não possuírem uma lâmina d'água permanente, não sejam consideradas uma opção para o controle da qualidade d'água (figura 3.56).

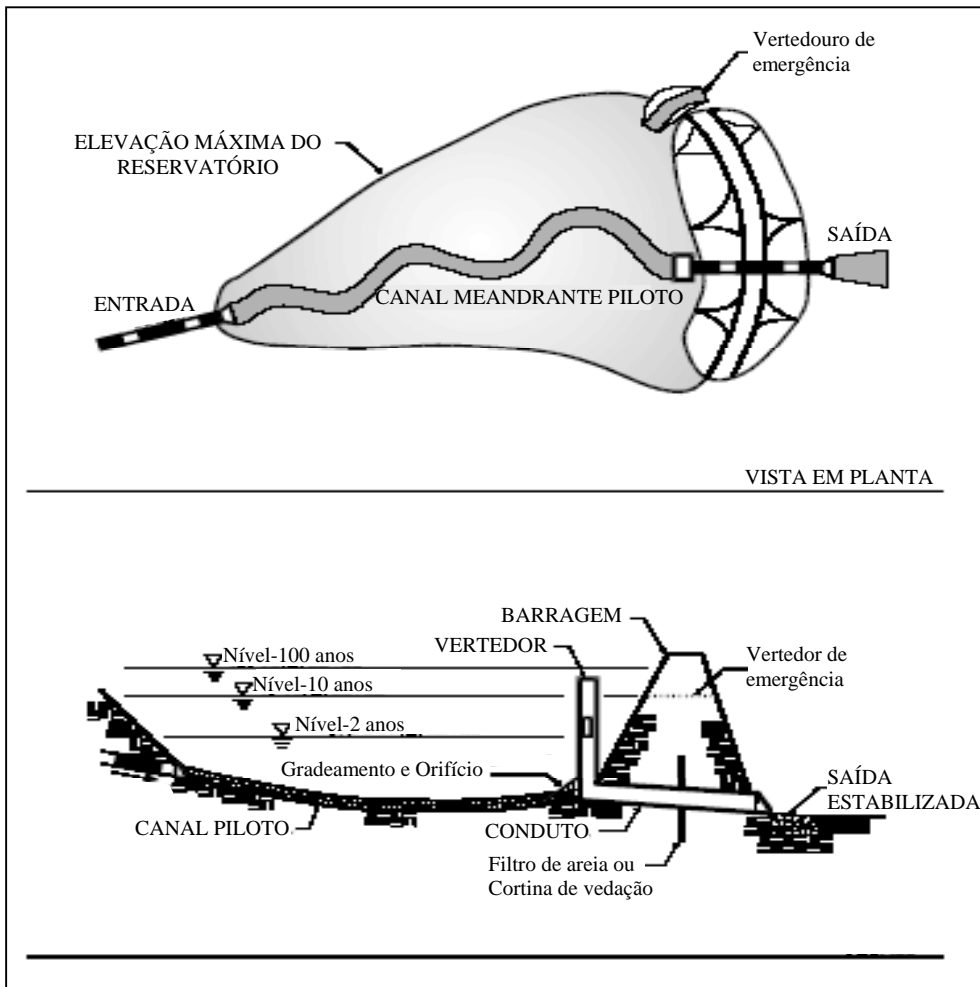


Figura 3.56 - Exemplo de Reservatório de Controle de Cheias.

Reservatórios de detenção úmidos

São práticas que controlam o volume d'água durante a passagem da cheia e também a qualidade d'água pelo fato de possuírem uma lâmina d'água permanente e presença de vegetação (figura 3.57).

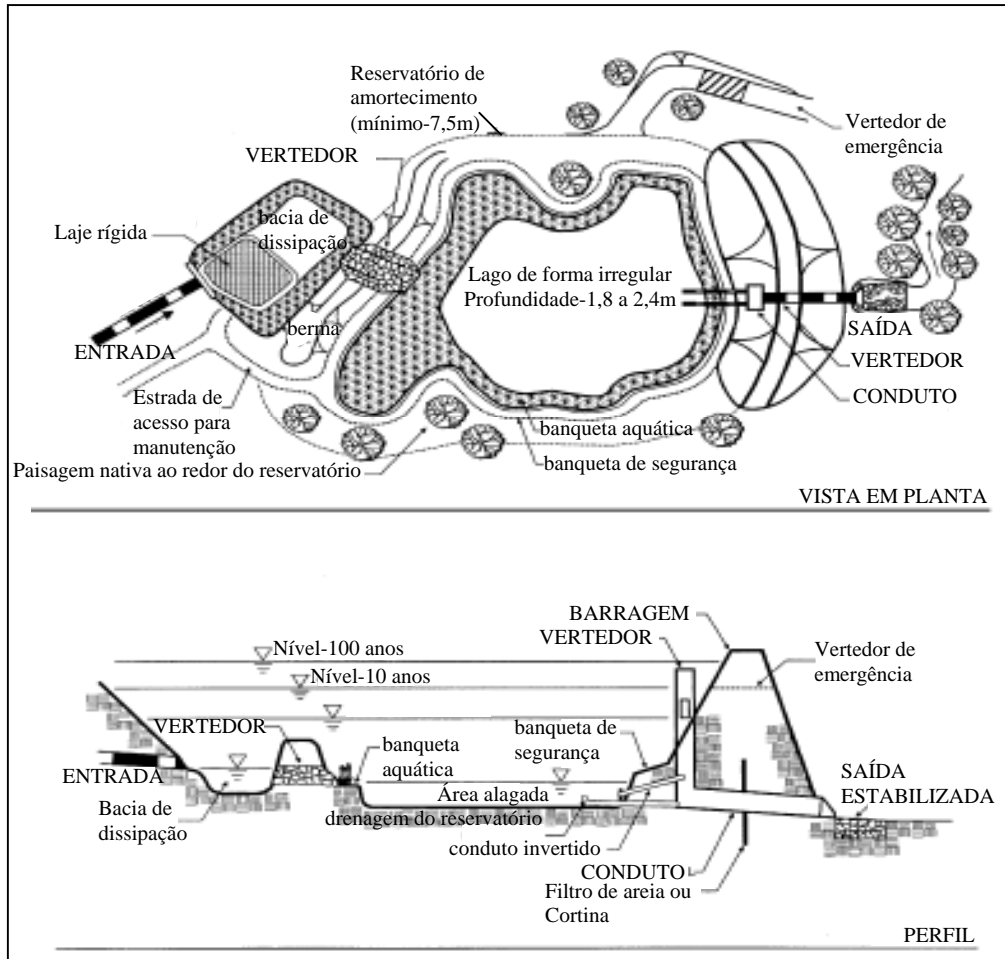


Figura 3.57 - Exemplo de reservatório de detenção

Bacias de detenção

São práticas que criam áreas úmidas, rasas e com presença de vegetação que freqüentemente incorporam pequenas piscinas e/ou armazenamento de volumes que são tratados por este dispositivo. O aspecto paisagístico tem destaque nesse tipo de intervenção (figura 3.58).

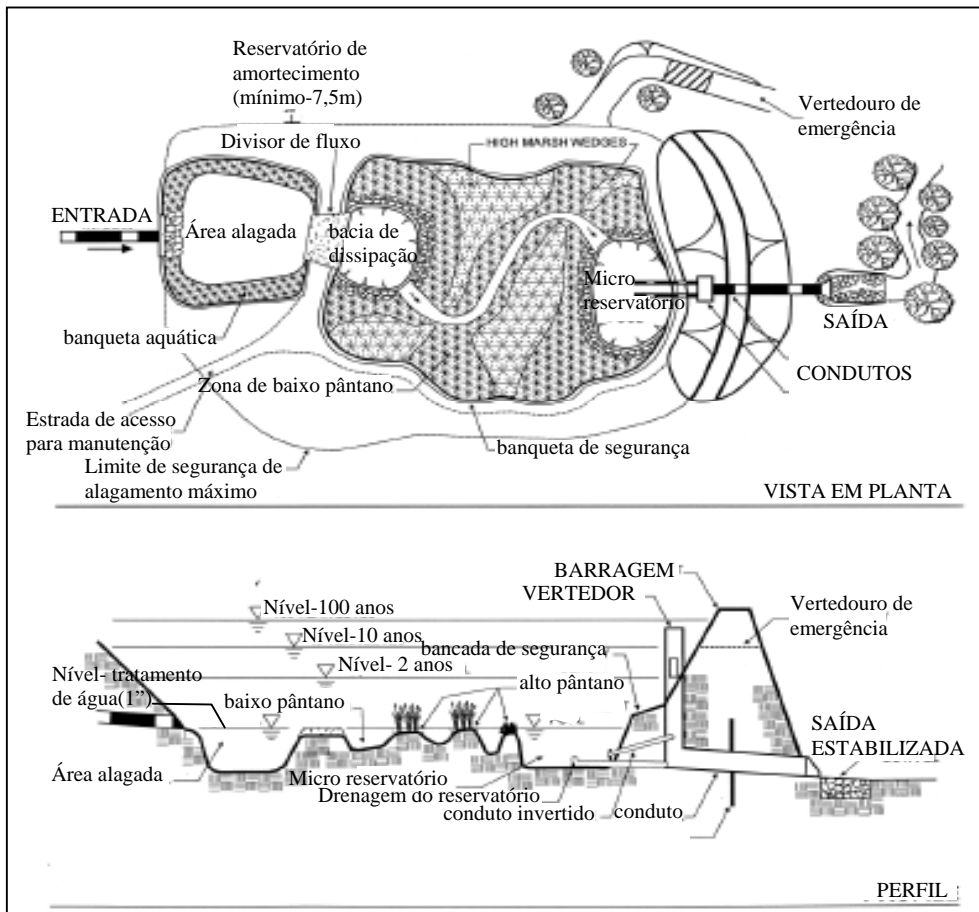


Figura 3.58 - Exemplo de Bacia de detenção.

Práticas de infiltração

Práticas que captam, armazenam temporariamente e tratam volumes dissipados pela cheia através da infiltração destes volumes no solo (figura 3.59)

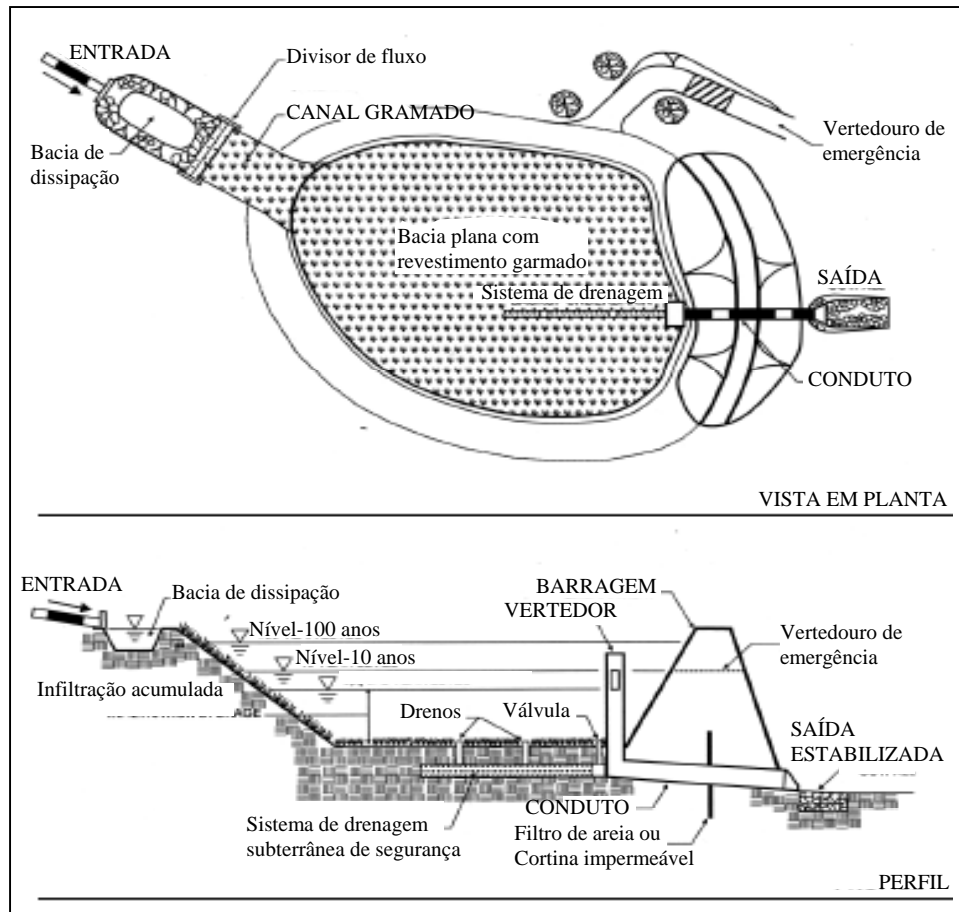


Figura 3.59 - Exemplo de bacia de infiltração tamanho.

Práticas de filtragem

São práticas que captam, armazenam e tratam o volume dissipado pela cheia ao passar através de um sistema de filtragem que pode ser uma cama de areia, material orgânico, solo entre outros. Um exemplo bem comum da aplicação deste tipo de intervenção são as práticas de bioretenção em estacionamentos (figura 3.60).

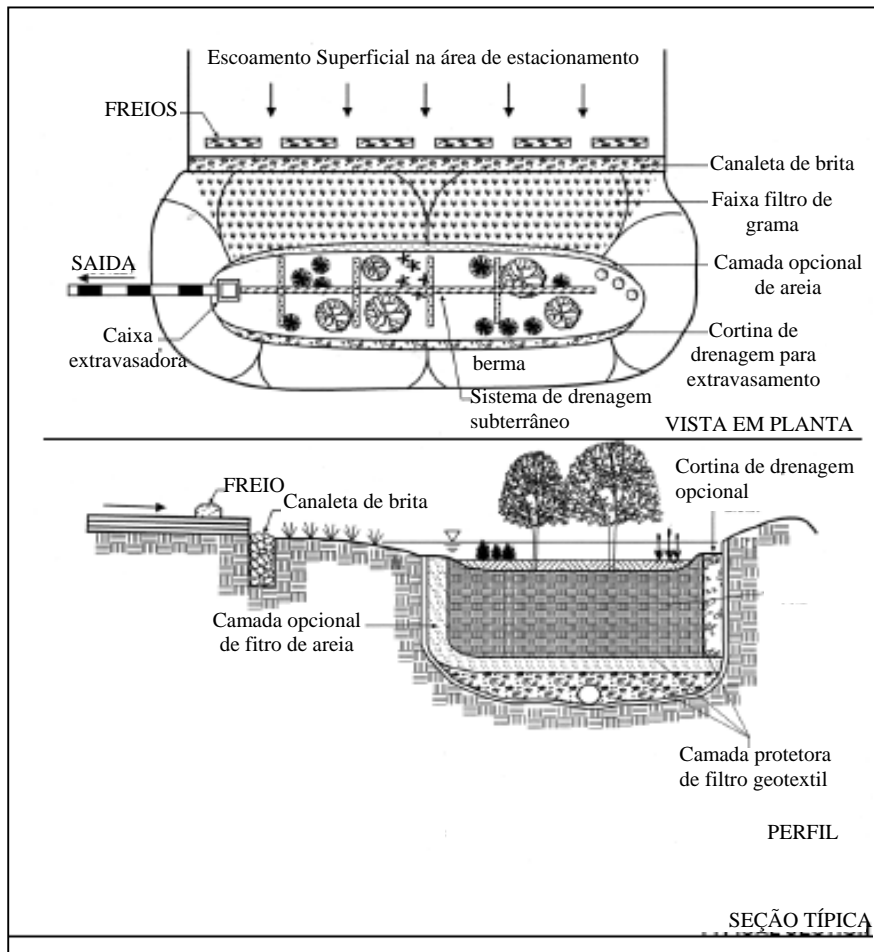


Figura 3.60 - Exemplo de bioretenção.

Práticas em canais abertos

São realizadas em canais secos (figura 3.61) ou perenes (figura 3.62) de forma a capturar e tratar o volume dissipado pela cheia através da presença da vegetação podendo ser combinado com planos de infiltração ou reservatórios úmidos de detenção.

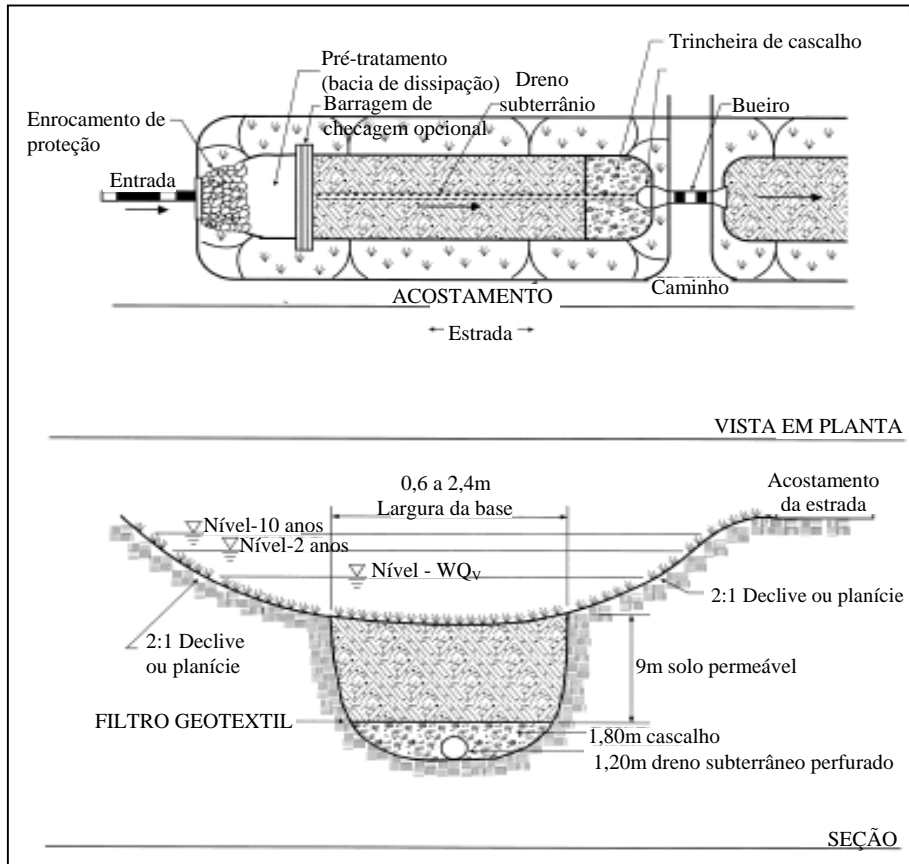


Figura 3.61 - Práticas em canais abertos secos.

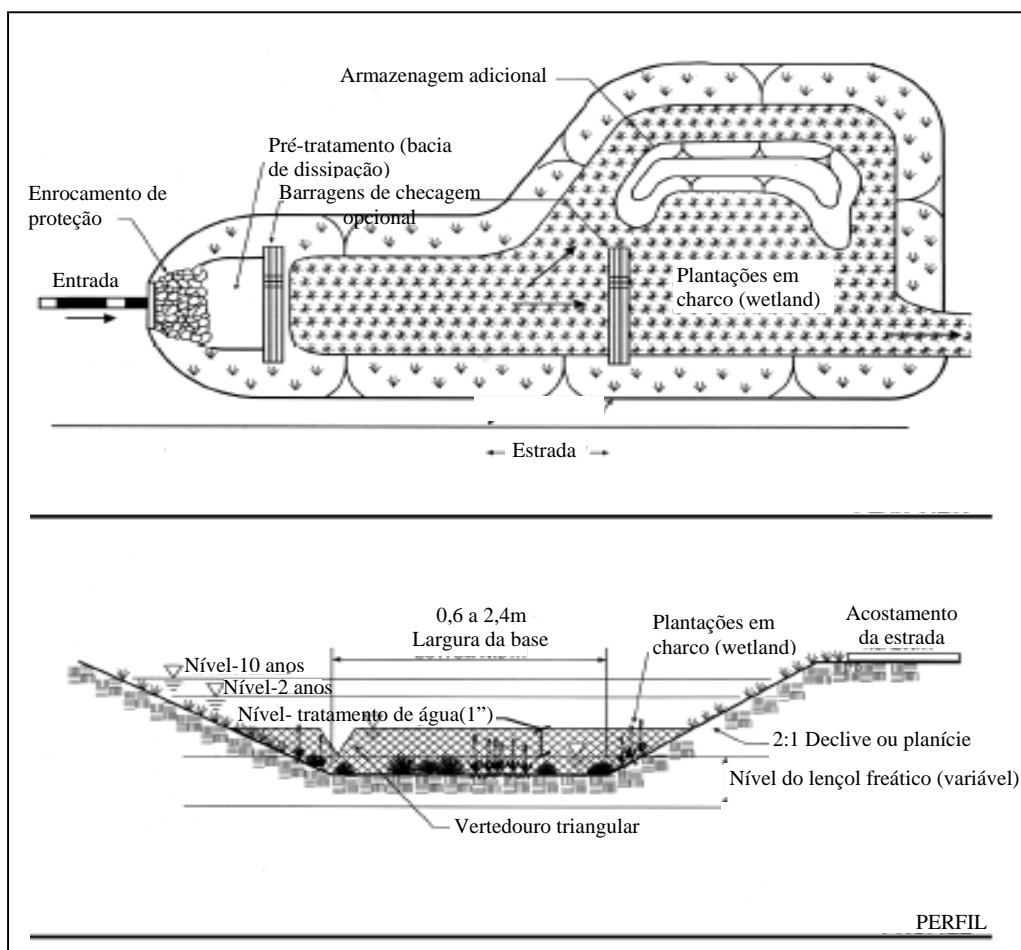


Figura 3.62 - Práticas em canais abertos perenes.

3.5. Modelagem Matemática de Cheias

3.5.1. Histórico

De acordo com CUNGE et al. (1980), a modelagem matemática em rios é a simulação de condições de escoamento baseadas na formulação e solução de relações matemáticas que expressam princípios hidráulicos conhecidos. Ainda neste mesmo trabalho, os autores apresentam um breve histórico a respeito dos principais aspectos relacionados à modelagem de cheias, que foi, por sua vez, reproduzido nesta Tese e encontra-se no texto que segue abaixo.

O interesse humano na modelagem de cheias advém da necessidade de se proteger a vida humana, propriedades e sistemas econômicos de eventos excepcionais de escoamento e explorar seus benefícios potenciais em termos de energia, agricultura e navegação. Nesse sentido, modelos matemáticos fornecem uma ferramenta através da qual o homem pode estudar e obter a compreensão do fenômeno em estudo, selecionar e desenvolver projetos de engenharia adequados e prever situações extremas de forma a serem obtidas alertas de sua ocorrência e magnitude (CUNGE et al., 1980).

A técnica de modelagem se originou no século 19 com o trabalho de St. Venant e Boussinesq, que formularam as equações de escoamento e com o trabalho de Massau, que em 1889 tentou resolver essas equações. Conceitos teóricos importantes foram estabelecidos na primeira metade do século passado, mas apenas com o desenvolvimento de computadores eletrônicos é que foi possível aplicar esses princípios em rios naturais (CUNGE et al., 1980).

Em 1952-1953 Isaacson, Stroker e Troesch desenvolveram e testaram um modelo matemático para trechos dos rios Mississippi e Ohio. A princípio o uso desse modelo matemático em rios desenvolveu-se lentamente e só depois começou a acelerar. O uso de modelos matemáticos em hidráulica e hidrologia, e especialmente, em drenagem urbana começou na década de sessenta, paralelo à evolução dos computadores, os quais viabilizaram a simulação de processos hidrológicos complexos para a época (TUCCI, 2000) até chegarmos na década de 80 onde acompanhamos um crescimento exponencial de modelos matemáticos (CUNGE et al., 1980).

De acordo com MIGUEZ (2001), na década de 1960, foi proposto e construído o primeiro modelo matemático bidimensional relevante. Este modelo foi construído para o delta do rio Mekong pela *Société Grenobloise d'Etudes et Applications Hydrauliques* (SOGREAH), a pedido da UNESCO. Os trabalhos iniciados em 1962 terminaram em 1966, devido a guerra do Vietnã, e Zanobetti e Lorgeré apresentaram este modelo em artigo na revista *La Houille Blanche* (1968). O modelo desenvolvido tinha por princípio a divisão da bacia do rio em células de armazenamento, que representavam trechos de rio e de planície. Em linhas gerais, este modelo reproduzia a área alagada de todo o delta, considerando as cheias naturais e as cheias modificadas pela construção de uma barragem, que atenuaria as mesmas e ainda favoreceria a regularização do rio, para a navegação e a irrigação, na época da estiagem. A área da modelação, para esse estudo do delta do rio Mekong, abrangeu cerca de cinquenta mil quilômetros quadrados e esta região era habitada por cerca de dez milhões de cambojanos e vietnamitas. Os termos de inércia não eram considerados na equação dinâmica, na representação das grandes áreas alagáveis, que eram representadas por células de escoamento, moldadas ao terreno conforme regência da topografia local, formando uma grande malha bidimensional de escoamento, utilizando-se relações de descarga unidimensionais.

Outras aplicações deste tipo de modelação de acordo com MIGUEZ (2001), a partir desta data, podem ser encontradas no estudo dos seguintes casos: pantanal de Mopipi (HUTCHISON e MIDGLEY, 1973); bacia do rio Mono (CUNGE, 1975); bacia do rio Senegal (CUNGE, 1975; CUNGE, HOLLY e VERWEY, 1980); rio Mfolozi/Estuário Santa Lúcia (WEISS e MIDGLEY, 1978); bacia superior do rio Rhône (CUNGE, HOLLY e VERWEY, 1980); bacia do rio Paraná em Yacyreta/Apipe (MAJOR, LARA e CUNGE, 1985).

De acordo com MIGUEZ (2001), em 1990, um modelo matemático de células de escoamento, de concepção diferente do modelo desenvolvido para o Delta do Mekong, foi desenvolvido para simulação de pesadas cheias em vastas áreas de topografia complexa, por Gallatti, Braschi, Fillipo e Rossi. Neste modelo, a planície de inundação era aproximada por um sistema de células retangulares não homogêneas e contíguas, para simulação da chamada região distante, sobre as quais o nível d'água e a cota do fundo são identificados pelo valor do centróide e considerados para toda a célula.

O conceito de modelação por células encontrou par, no Brasil, na Tese de Mestrado defendida por Miguez (MIGUEZ e MASCARENHAS, 1994), com aplicação ao Pantanal Mato-Grossense, também uma grande planície rural alagável. Em seguida, MIGUEZ e MASCARENHAS (1999) resgataram este trabalho, adaptando os conceitos envolvidos na modelação por células para aplicação a uma bacia urbana, modificando o foco inicial do modelo, buscando a adaptação do modelo de células ao contexto urbano, ou seja, verificando o comportamento do modelo em termos de pertinência de representação do escoamento sobre o espaço de uma cidade. Esta nova etapa visava complementar o modelo inicialmente construído, procurando contemplar o máximo possível da diversidade apresentada em um movimento de cheia em uma área urbana, dando maior consistência matemática e física ao modelo proposto, a fim de tornar maior a sua confiabilidade e capacidade de representação da situação real, partindo da avaliação crítica feita no estudo inicial.

Neste novo estudo, não se buscou modificar o método numérico. Todas as alterações realizadas foram desenvolvidas sobre o modelo matemático, já desenvolvido anteriormente, trabalhando sobre conceitos físicos, para aumentar o grau de representatividade do modelo em relação às enchentes urbanas, a partir da definição de novos tipos de células e novos tipos de ligação entre células.

A principal qualidade de um modelo, por fim, é sua capacidade de previsão de uma realidade física projetada. Portanto, na ocasião da escolha de que modelo utilizar para o para representação de um determinado processo, cabe ao modelador escolher o modelo que apresente uma descrição numérica mais próxima da realidade física. Em outras palavras, que o mesmo seja consistente com as equações de fluxo usadas, com o objetivo da modelação, e que sejam introduzidas características hidráulicas e topográficas reais para que a simulação ocorra de um modo coerente com a realidade. Para tanto, o modelo deve, evidentemente, estar baseado em equações hidráulicas determinísticas ou semi-empíricas que representem o fenômeno de escoamento em questão (MIGUEZ, 2001).

3.5.2. Abordagens para a modelação de cheias urbanas

O texto deste sub-item foi compilado de CUNGE et al. (1980), CAMPOS (2001) e MIGUEZ (2001) pela riqueza da discussão promovida nos mesmos. Para CUNGE et al. (1980), a representação de um fenómeno físico não é, em geral, uma atividade simples. Pelo contrário, normalmente a complexidade associada é grande e tanto mais difícil quanto maior a escala espacial de ocorrência do fenómeno e sua variabilidade nessa escala. O caso de cheias, em que águas se movimentam sobre superfícies diversas, em movimento variável no tempo, sujeito a acelerações locais e advectivas, forças de gravidade, de pressão, de atrito e tensões tangenciais, recai no caso de um modelo complexo. Quando a bacia é urbana, mais diversificada, detalhada e intrincada fica a sua modelação, tal a quantidade de estruturas hidráulicas envolvidas, bem como a grande ramificação das redes de drenagem, a possibilidade de transição de escoamentos à superfície livre para escoamento s sob pressão, a formação de áreas de reservação e o fato concreto de que as ruas passam a atuar como canais complementares à rede original de macro-drenagem.

Nesse contexto, percebe-se que tal variabilidade e riqueza de detalhes, em termos de processo físico, não podem ser reproduzidas em um modelo rigorosamente como ocorrem na natureza. Há a necessidade de se formular um conjunto de hipóteses, muitas delas simplificadoras, a fim de se chegar a equações e arranjos que possam ser manipulados (CUNGE et al., 1980). Daí surge a grande diversidade de modelos existente, com a combinação de diferentes hipóteses, para uso em diferentes situações.

Portanto, na modelagem de rios, é extremamente importante basear a escolha de um modelo de acordo com sua capacidade de representar o fenómeno, expressa nas equações de escoamento usadas para tal.

A natureza física de um rio e suas inundações indicam as equações apropriadas a serem usadas para modelar a situação. De uma forma geral, segundo CUNGE et al. (1980) apud CAMPOS (2001), podem ser identificadas duas linhas de aplicações em projetos de engenharia:

- (i) aplicações nas quais os efeitos da inundação não são alterados pelas estruturas ou pelos projetos em estudo. Nesta classe encontram-se os problemas que visam determinar inundação de projeto, previsão de inundação nas atuais condições, e estimativas de danos de inundações;
- (ii) aplicações nas quais a influência de projetos e estruturas sobre a inundação é de grande interesse. Como exemplos, pode-se citar os estudos de represas, reservatórios, projetos de controle de inundação, etc.

Em geral, podem ser usadas equações simplificadas para a classe (i) quando permitidas pelo tipo de rio e pelo escoamento; por outro lado, as equações completas seriam aconselhadas para a classe (ii). Entretanto, não deve ser esquecido que problemas do tipo (i) podem, com o tempo, ser transformados em problemas do tipo (ii). Neste caso, o erro na escolha inicial pode conduzir, futuramente, a um indesejado retrabalho, se o modelo matemático, baseado em diferentes equações, tiver que ser completamente reconstruído.

Raramente são observados na natureza canais verdadeiramente retilíneos, nos quais o escoamento pode ser considerado estritamente unidimensional. O escoamento em canais naturais é freqüentemente curvilíneo, seguindo o leito do rio que vaga dentro dos limites do vale. Um vale raramente pode ser considerado como uma série de seções transversais que representam simples extensões das margens do canal principal. Ele alarga e estreita de uma maneira irregular, contém depressões, lagos de acumulação, vales secundários, entre outros. Em alguns vales, a água da inundação, ao deixar a calha, extravasando para a planície, segue todo o tempo em uma direção basicamente à justante, definida pelo canal principal. No entanto, é freqüente o caso em que o escoamento que ultrapassa as margens siga o seu próprio caminho pela planície de inundação, de uma forma ditada pela topografia local, e, algumas vezes, nunca mais retornando ao canal principal (CUNGE et al., 1980).

Com freqüência as águas da inundação que deixam o canal principal, ultrapassando suas margens, têm comportamento subsequente que pode ser completamente independente do escoamento entre as margens submersas. De fato, a inundação do vale pode começar até mesmo de uma localização a justante, de forma que a ocupação da planície de inundação se dá em direção à montante, devido à topografia local, ao menos durante um

certo período de tempo. Neste caso, só entre as margens é que o escoamento poderia ser considerado como unidimensional. Na maioria das situações, modelos puramente unidimensionais são usados por facilidade de construção. Frequentemente os resultados destes modelos não diferem muito da realidade, apesar de não se poder representar certos detalhes mais complicados (CUNGE et al., 1980).

Em resposta a estas necessidades de se modelar vastas planícies de inundações, com escoamento independente da calha principal é que foram desenvolvidas as chamadas técnicas de modelagem bidimensionais. Compreende-se que, por bidimensional, não se faz, necessariamente, referência às equações de escoamento não-permanente em duas dimensões no espaço, podendo-se considerar a situação física na qual canais e células de armazenagem formam uma rede bidimensional no espaço horizontal (MIGUEZ, 2001).

Neste caso, a planície de inundação pode ser dividida em várias células, ou bacias de armazenamento, onde, em cada uma, a superfície de água é assumida horizontal (embora sua área superficial dependa do nível d'água na cela) e cada uma das quais comunica-se com sua vizinha e/ou com o canal principal. As leis de descarga definidas entre as células são unidimensionais. Entretanto, o sistema, como um todo, pode simular um escoamento bidimensional sobre planícies de inundação, sendo modelado como uma rede de células em loop, já que, por definição, o escoamento pode circular pela rede, através das ligações, em qualquer direção (MIGUEZ, 2001).

É freqüente ver o problema de cheias em rios e canais equacionados de forma unidimensional, extrapolando-se os resultados de calha para as regiões próximas que sofrem alagamento. Nas enchentes urbanas o problema é usualmente tratado da mesma forma, porém considerando uma rede de drenagem ramificada, eventualmente aceitando galerias fechadas e escoamento sob pressão. Esta ótica, porém, refere-se à consideração de que o extravasamento da rede de drenagem é que gera os alagamentos. Conceitualmente, esta consideração é pertinente, pois as enchentes são definidas como o resultado do extravasamento da calha, provocando inundações (MIGUEZ, 2001).

Entretanto, este tipo de abordagem melhor se presta ao caso de cheias urbanas em países desenvolvidos, onde a infra-estrutura disponível garante o funcionamento da drenagem conforme previsão de projeto, com a micro-drenagem adequadamente dimensionada

interagindo com a macro-drenagem de forma harmônica, não sendo as ruas alagadas senão residualmente ou, em caso mais extremos, pelo extravasamento dos rios e canais.

No caso de cheias urbanas onde as condições da rede não são as ideais, este tipo de abordagem revela-se menos abrangente do que seria necessário para representar o fenômeno. Há uma grande diversidade envolvida neste caso, e inúmeras possibilidades de escoamento, não só pela rede de drenagem, mas também, e principalmente, sobre a própria bacia urbana, que dispõe de estruturas diversas de seu típico cenário cotidiano que podem revelar-se verdadeiras estruturas hidráulicas, na passagem das cheias urbanas. Pode-se dizer, por exemplo, que uma rua que tenha captação de micro-drenagem insuficiente, seja por sub-dimensionamento, por obsolescência, por entupimento das bocas-de-lobo com lixo, ou por qualquer outro motivo, funciona como um verdadeiro canal para o escoamento superficial, de forma independente da rede de drenagem, podendo levar a água da chuva a alagar áreas quaisquer, mesmo sem que a própria rede tenha extravasado. Desta forma, como citado anteriormente, ruas se tornam canais, muros de parques se tornam vertedouros, os próprios parques, praças e quadras, em geral, se tornam reservatórios. Tudo isso acaba por complementar a rede de macro-drenagem e a se integrar a esta em termos de funcionamento (MIGUEZ, 2001).

Esta faceta do funcionamento das ruas como canais, que, ao receberem o extravasamento de um rio podem conduzir estas águas por caminhos quaisquer, pode ser responsável até mesmo pelo não retorno destas águas para o rio de origem. Sob a ótica estrita da modelação do rio como uma calha unidimensional, então, este fato gera o não fechamento do balanço de massa, o que não é fisicamente coerente. Mesmo para a rede de macro-drenagem tomada como ramificada, se considerados os rios, canais e as áreas marginais a estes, quando se vislumbra a possibilidade prática de formação de regiões de reservação de água produzidas pelas águas que escoam pelas ruas e encontraram bolsões naturais de armazenamento, em região distante da rede de macro-drenagem e com micro-drenagem ineficiente, o balanço de massa pode não fechar coerentemente (MIGUEZ, 2001). A figura esquemática 3.63 ilustra aspectos desta discussão.

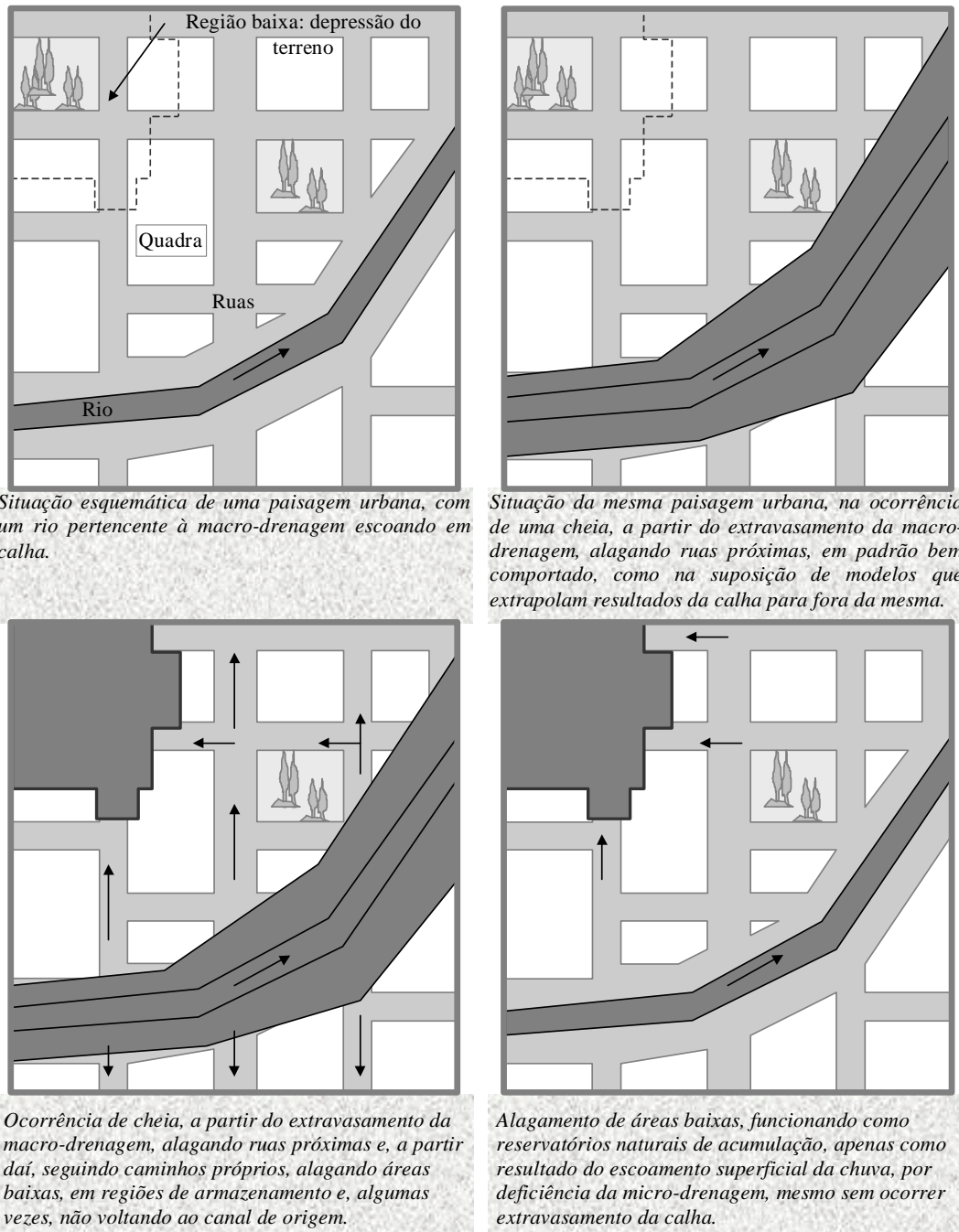


Figura 3.63 - Paisagem urbana sob enchentes em situações de escoamento ditadas pela bacia (MIGUEZ, 2001)

Assim, a possibilidade de escoamentos independentes entre a rede de macro-drenagem e ruas podem ser vislumbradas em uma abordagem sistêmica para a bacia. Neste sentido, um modelo que congregue em si próprio, dentro do possível, toda a diversidade de uma cheia urbana de forma conjunta, promovida pelo entendimento de que a bacia funciona como um sistema, é fundamental, pois o processo de controle de cheias urbanas é dinâmico no qual ações sem essa visão de conjunto, normalmente, apenas transferem

problemas de um ponto para outro da bacia (MIGUEZ, 2001).

Nesse ponto da discussão, já se percebe que não existe solução única, em termos de tipo de modelo, para um dado problema sob abordagem. Entretanto, existem soluções mais adequadas às características de um dado problema específico considerado. Porém, interessante destacar, esta constatação, que já abre um grande leque de possibilidades, não é estática. Uma solução em modelo que seja a mais adequada num determinado momento, em função de uma dada característica que se impõe a princípio, pode ter que ceder lugar a outra abordagem, num momento posterior, quando, depois de equacionada a situação inicial, uma nova característica emerge como mais significativa a ser tratada na nova configuração do problema (MIGUEZ, 2001).

3.6. Modelo de Células

O texto deste item foi compilado de MIGUEZ (2001), onde o tema abordado encontra-se mais completo e detalhado. A seguir é feita, com base neste trabalho, uma descrição geral sobre o modelo matemático em sua versão atual, base dos estudos realizados por esta Tese.

3.6.1. A Concepção do Modelo

As bacias de rios naturais, ou canalizados, em áreas urbanas, geralmente em áreas aproximadamente planas, têm potencial para formar grandes áreas alagáveis. Ao sair da rede de drenagem, o caminho da água pode ser qualquer, ditado pelos padrões de urbanização. Calçadas marginais tornam-se vertedouros para os rios, cujas águas extravasadas ao chegarem às ruas fazem destas verdadeiros canais, podendo alagar construções, parques ou praças, que então podem funcionar como reservatórios, indesejadamente, concentrando águas que não retornarão à rede de drenagem.

Nessa situação, pode-se perceber que águas extravasadas podem ter comportamento independente da rede de drenagem, gerando seus próprios padrões de escoamento, especialmente, quando a micro-drenagem não corresponde à função que dela se espera. Em um caso extremo, onde a micro-drenagem não funcione, o que não é incomum, por falhas de manutenção e entupimentos, por exemplo, ou onde ela estiver sub-

dimensionada, alagamentos em áreas urbanas podem-se iniciar mesmo sem extravasamento da rede de macro-drenagem, gerando também um padrão de escoamento particular e distinto daquele dos canais.

Nesse contexto, percebe-se que a modelações por células permite a representação do espaço urbano através de compartimentos homogêneos, que cobrem toda a superfície da bacia e faz toda ela se integrar e interagir em função do escoamento que sobre ela ocorre caminha ao encontro dos objetivos da modelação das enchentes urbanas.

3.6.2. Hipóteses do Modelo de Células para Cheias Urbanas

De acordo com MIGUEZ (2001) as hipóteses do modelo de células para cheias urbanas são:

- A natureza pode ser representada por compartimentos homogêneos, interligados, chamados células de escoamento. A cidade e sua rede de drenagem são subdivididas em células, formando uma rede de escoamento bi-dimensional, com possibilidade de escoamento em várias direções nas zonas de inundação, a partir de relações unidimensionais de troca;
- Na célula, o perfil da superfície livre é considerado horizontal, a área desta superfície depende da elevação do nível d'água no interior da mesma e o volume de água contido em cada célula está diretamente relacionado com o nível d'água no centro da mesma, ou seja, $V_i = V(Z_i)$, mais especificamente, $V_i = A_{si} \cdot x(Z_i - Z_{0i})$, onde Z_{0i} é a cota do fundo da célula, e A_{si} é a área superficial da célula.
- Cada célula comunica-se com células vizinhas, que são arranjadas em um esquema topológico, constituído por grupos formais, onde uma célula de um dado grupo só pode se comunicar com células deste mesmo grupo, ou dos grupos imediatamente posterior ou anterior;
- O escoamento entre células pode ser calculado através de leis hidráulicas conhecidas, como, por exemplo, a equação dinâmica de Saint-Venant, completa ou simplificada, a equação de escoamento sobre vertedouros, livres ou afogados, a equação de escoamento através de orifícios, equações de escoamento através de bueiros, entre outras várias, sendo, neste estudo, considerados os efeitos de inércia no escoamento que ocorre nos cursos d'água principais;

- A vazão entre duas células adjacentes, em qualquer tempo, é apenas função dos níveis d'água no centro dessas células, ou seja, $Q_{i,k} = Q(Z_i, Z_k)$;
- As seções transversais de escoamento são tomadas como seções retangulares equivalentes, simples ou compostas;
- O escoamento pode ocorrer simultaneamente em duas camadas, uma superficial e outra subterrânea, em galeria, podendo haver comunicação entre as células de superfície e de galeria. Nas galerias, o escoamento é considerado inicialmente à superfície livre, mas pode vir a sofrer afogamento, passando a ser considerado sob pressão.

3.6.3. Representação de uma Bacia Urbana por Células de Escoamento

As células podem representar a natureza isoladamente ou em conjuntos, formando estruturas mais complexas. Um conjunto resumido de tipos de células pode eventualmente já fornecer grande capacidade de representação, ao se pensar em suas possíveis associações. Porém, a definição do conjunto de tipos de ligação, que são representativas de leis hidráulicas que traduzem determinados escoamentos, pode fazer grande diferença na tentativa de reproduzir a multiplicidade dos padrões de escoamento de um cenário urbano.

A atividade de modelação topográfica e hidráulica deve então contar com um conjunto pré-definido de tipos de célula e de tipos possíveis de ligações entre células. A figura 3.64 mostra, esquematicamente, os tipos de células existentes em uma situação típica da paisagem urbana, bem como as funções assumidas por estas células.

Conjunto tipo de células pré-definido:

- de **rio**, ou **canal**, por onde se desenvolve o escoamento principal da drenagem a céu aberto, podendo ser a seção simples ou composta;
- de **galeria**, subterrânea, complementando a rede de drenagem;
- de **planície**, para a representação de escoamentos a superfície livre em planícies alagáveis, bem como áreas de armazenamento, ligadas umas às outras por ruas, englobando também áreas de encosta, para recepção e transporte da água precipitada nas encostas para dentro do modelo, áreas de vertimento de água de um rio para ruas

vizinhas e vice-versa e áreas de transposição de margens, quando é preciso integrar as ruas marginais a um rio e que se comunicam através de uma ponte;

- de **reservatório**, simulando o armazenamento d'água em um reservatório temporário de armazenamento, dispondo de uma curva cota x área superficial, a partir da qual, conhecendo-se a variação de profundidades, pode-se também conhecer a variação de volume armazenado.

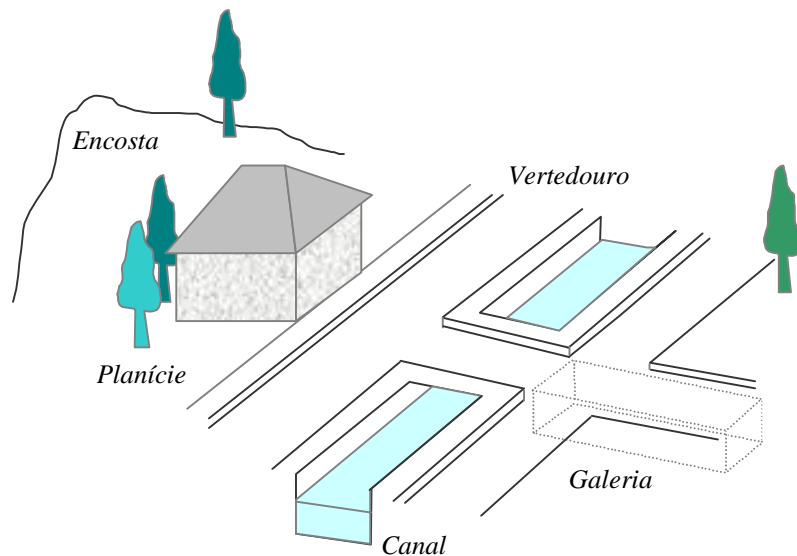


Figura 3.64 - Tipos de célula (MIGUEZ, 2001).

É interessante ressaltar que as células funcionam efetivamente como unidades básicas, como se fossem tijolos de construções maiores, que se vão congregando para montar a paisagem geral da bacia. A soma de estruturas simples com estruturas elaboradas forma, por sua vez, outras estruturas mais complexas, como, pode-se citar, o sistema completo da macro-drenagem, ou o escoamento integrado de superfícies alagadas com galerias subterrâneas interligadas.

Na figura 3.65 é apresentada uma vista em corte de um curso d'água e uma de suas margens. Na figura 3.66 é apresentada uma representação por células para a mesma região esquemática da figura 3.65, mostrando o escoamento superficial das encostas para a região alagável e as interações entre estas, os vertedouros e os rios.

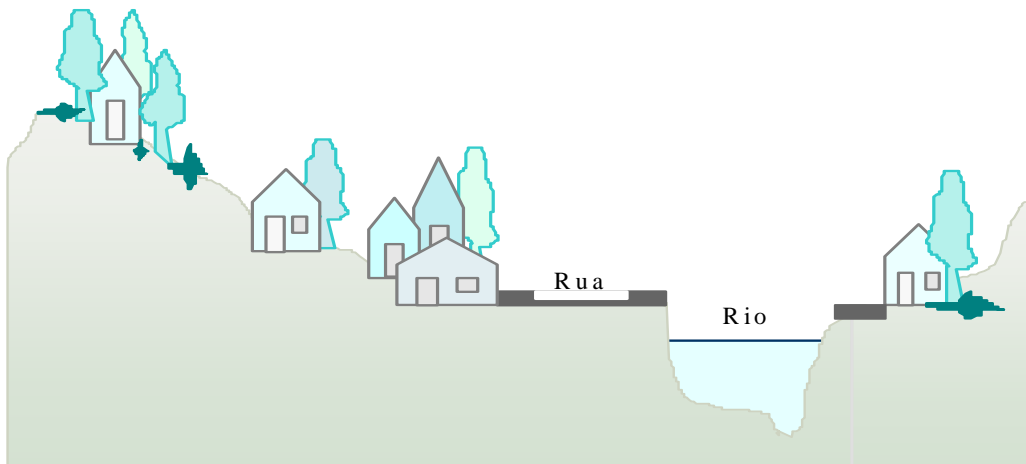


Figura 3.65 - Vista em corte da bacia genérica de um rio e a ocupação de suas margens (MIGUEZ, 2001).

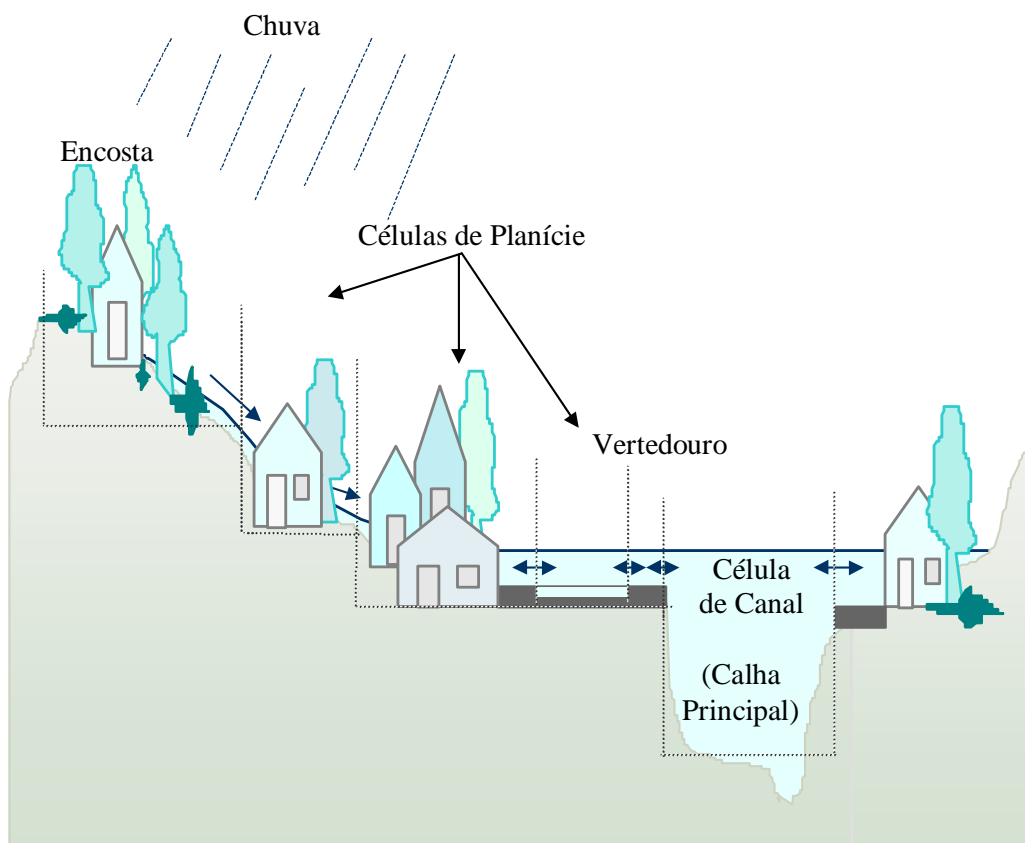


Figura 3.66 - Representação por células da região apresentada na figura 6, mostrando interfaces dos escoamentos superficiais (MIGUEZ, 2001).

3.6.4. O Modelo Matemático

A variação do volume d'água em uma célula i , em um intervalo de tempo t , é dada pelo balanço de massa nesta célula. Assim, em termos diferenciais, tem-se a equação da continuidade representada a seguir:

$$A_{s_i} \frac{dZ_i}{dt} = P_i + \sum_k Q_{i,k} \quad (1)$$

Onde:

- $Q_{i,k}$ - vazão entre as células i e k , vizinhas entre si;
- Z_i - cota do nível d'água no centro da célula i ;
- A_{s_i} - área superficial do espelho d'água na célula i ;
- P_i - vazão relativa à parcela de chuva ocorrida sobre a célula i e disponível para escoamento;
- t - variável independente relativa ao tempo.

Analisando as hipóteses possíveis para a consideração da variação da área superficial de uma célula ao longo do tempo, uma idéia simples seria a definição de uma célula prismática. Esta simplificação, porém, embora possa ser uma boa aproximação para o caso de grandes células em um ambiente rural, em que diferenças na topografia, nas grandes áreas que as células representam, podem ser homogeneizadas, pode vir a ser um fator de distorção em bacias urbanas. Nestas bacias urbanas, as áreas das células são bem menores, o que pode provocar erros relativos a diferenças em cotas de fundo.

Além disso, mesmo onde a topografia do solo urbano é plana, existe uma graduação na reservação possível em uma célula pela diferença de cotas provocadas pelas áreas construídas. Assim, da cota da rua, tomada como o fundo da célula, até a cota da calçada, tem-se um dado desnível até se vencer a altura do meio-fio. Da calçada até o interior das construções, usualmente encontram-se alguns degraus: casas e apartamentos geralmente não ficam ao nível do calçamento. Deste modo, não é adequado representar a curva cota x volume da célula de planície, de uma área urbanizada, por uma relação direta da profundidade d'água sobre seu fundo multiplicada pela sua área superficial.

Entretanto, considerar este nível de detalhamento em cada célula, em modelos que usualmente chegam a muitas centenas de células, é algo muito pouco prático. Definir a altura de cada imóvel até o nível da calçada se mostra inviável, pois demandaria caminhar por todas as ruas modeladas para levantar esta informação “*in loco*”. Como opção para modelar esta situação e manter o uso do modelo ainda prático, a definição de um padrão de urbanização é expressa através comportamento médio de áreas urbanizadas, que pode ser aplicado a qualquer célula de planície. Este padrão considera três níveis distintos, descritos a seguir:

- nível das ruas, tomado como o fundo das células, considerado ocupando um dado percentual da área de armazenagem da célula, abrangendo apenas a área das próprias ruas;
- nível das calçadas, considerado um dado valor, a ser definido como entrada do modelo, acima do nível das ruas, e englobando também áreas de praças, parques, jardins, quintais, estacionamentos, entre outras, que não correspondam a edificações, considerado ocupando outro percentual da área de armazenagem da célula;
- nível das edificações, tomado como um dado valor acima da cota das ruas, supondo a existência de degraus entre a calçada e a edificação, considerado ocupando o percentual restante da área de armazenagem da célula, que complementa os percentuais adotados nos dois primeiros níveis citados acima.

A definição dos percentuais que correspondem às áreas de abrangência, de cada patamar considerado, deve ser determinada para a região em estudo por um levantamento desta informação para uma amostragem representativa de células. A figura 3.67 ilustra o zoneamento de áreas contemplando os níveis pré-definidos anteriormente.

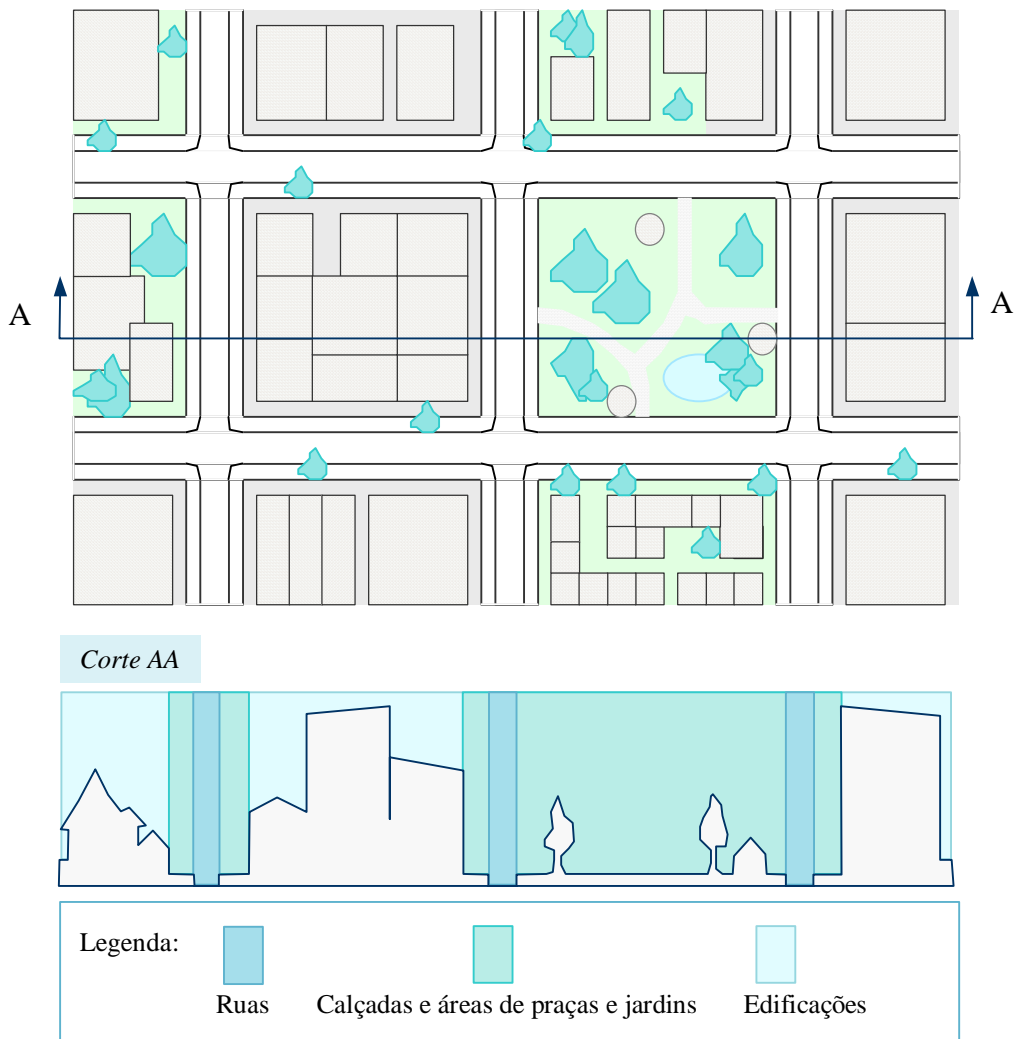


Figura 3.67 - Escalonamento de níveis na superfície de uma célula urbanizada (MIGUEZ, 2001).

As equações para cada tipo de ligação bem como informações adicionais a respeito do desenvolvimento do modelo matemático original, para aplicações em meios rurais, até o modelo em sua versão atual, para uso em bacias urbanas, podem ser obtidas mais detalhadamente na Tese de Doutorado de MIGUEZ (2001).

4. METODOLOGIA

De acordo com o objetivo desta Tese, qual seja, formular um conjunto de procedimentos que permita conduzir, a um nível de planejamento funcional, a escolha mais apropriada de um conjunto de soluções estruturais para o combate às cheias em dada bacia indicando o potencial individual e combinado das intervenções possíveis, segue adiante a hipótese de procedimento proposto para posterior simulação matemática:

- A.** Escolha do modelo.
- B.** Modelar a bacia em um modelo que possa representar toda a dinâmica do escoamento que ocorre em uma bacia urbana como um sistema, dentro e fora da rede de drenagem.
- C.** Calibrar e validar o modelo para uma chuva real, com tempo de recorrência para o qual se deseja projetar obras de combate às enchentes, reproduzindo a situação atual sem intervenções.
- D.** Prever diversos conjuntos de intervenções e localizá-los de forma distribuída na bacia.
- E.** Simular, isoladamente, os efeitos de cada intervenção projetada na bacia.
- F.** Analisar preliminarmente os efeitos que cada intervenção possui, de forma a compreender seu comportamento e área de influência.
- G.** Modelar os cenários propostos em combinação destas concepções de intervenções, arranjadas duas a duas, definindo quais obras são complementares ou concorrentes entre si.
- H.** Montar outros cenários, com base nos resultados obtidos preliminarmente, em combinações 3 a 3 e, eventualmente, em outras combinações, para potencializar os efeitos dos cenários complementares, identificando as melhores combinações possíveis.
- I.** Prever as manchas de alagamento residuais que poderão ser cobertas com uma possível combinação entre uma ou outra intervenção.
- J.** Definir o conjunto possível e mais apropriado de intervenções para uma dada bacia.

Cabe ressaltar que a metodologia proposta permite verificar a concorrência ou complementaridade funcional de medidas. Portanto a busca por complementaridade espacial de forma a potencializar o efeito de cada medida, evitando superposição de efeitos, não será o propósito desta Tese.

Procedimento Metodológico

4.1. Escolha do Modelo

De acordo com ESCOLA DE ENGENHARIA (1998), a escolha de um modelo para uma dada aplicação é uma decisão fundamental dentro do próprio processo de modelação. Em outras palavras, o processo de modelação matemática não se inicia com a aplicação de um dado modelo, calibrando-o e realizando então simulações. Na verdade, o processo de modelação começa quando o modelador primeiro se depara com o problema a resolver e, então, procurando compreendê-lo, vislumbra, entre algumas possibilidades, aquela que tem potencial para conduzir aos melhores resultados. Esta é a primeira etapa da modelação e, mesmo sem resultados visíveis a princípio, é de crucial importância, constituindo a base sobre a qual se desenvolverá o presente trabalho. De forma geral, este trabalho sumariza, a seguir, os requisitos que devem ser satisfeitos pelo modelo a ser utilizado:

- O modelo deve ter capacidade de representação de toda a bacia, de forma integrada e ativa, adequando-se ao problema em questão. Note-se que não basta ser possível extrapolar para as margens os valores de níveis d'água obtidos nos canais: ruas e áreas de acumulação devem estar representadas no modelo.
- Deve haver correlação entre os processos físicos e as equações matemáticas da forma mais determinística possível, mantendo-se clareza sobre as hipóteses simplificadoras adotadas e as conseqüências que elas acarretam, de forma a se ter sempre a possibilidade de uma análise crítica dos resultados obtidos. Não é aconselhável o uso de um modelo do qual não se tenha conhecimento de suas limitações.
- O modelo deve apresentar flexibilidade para a representação de estruturas a serem projetadas dentro e fora da rede de macro-drenagem, permitindo a simulação de diferentes concepções de solução.

Com base nessas premissas, optou-se, dentre as possibilidades disponíveis, pelo uso do Modelo de Células desenvolvido na UFRJ por MIGUEZ e MASCARENHAS (1999). As características do Modelo de Células, em linhas gerais, foram apresentadas anteriormente nesta Tese. Entre os pontos que levaram a esta escolha, seu enfoque de representação bidimensional do escoamento e a possibilidade de concepções de diferentes tipos de células de escoamento que são capazes de representar a complexidade física e hidráulica em bacias urbanas, modelando e reproduzindo, com

grande flexibilidade, vários padrões de escoamento sem a necessidade de trabalhar, de fato, com equações bidimensionais, otimizando a modelação. Este modelo foi escolhido por apresentar, ainda, a capacidade de representar e trabalhar com a bacia modelada de forma integrada, tratando os problemas oriundos da rede de drenagem e também como outros problemas inerentes ao cenário urbano com a mesma importância hierárquica. De acordo com MIGUEZ (2000), não há nenhum privilégio na consideração da rede de macro-drenagem sobre os demais componentes do cenário urbano. Rios, canais e galerias são representados bem como ruas, praças, parques e quadras. Seu foco não é voltado exclusivamente para a rede de drenagem, possibilitando a interação de estruturas tipicamente urbanas com esta rede.

Como programa desenvolvido em meio acadêmico, este se encontra em permanente evolução, o que permite adequações próximas às necessidades dos casos particulares a serem estudados. Além disso, sendo produto de um estudo iniciado em 1990, ele tem as hipóteses básicas e suas limitações e condicionantes de uso claramente estabelecidas para os modeladores, o que traz uma maior segurança quanto aos caminhos a seguir desde os primeiros momentos de trabalho. Entretanto, segundo MIGUEZ (2001), na outra face da mesma moeda, justamente por ser oriundo de meio acadêmico e não comercial, este modelo traz uma pesada entrada de dados e a necessidade de manuseio dos dados de saída para a visualização gráfica dos resultados, que, originalmente, tem forma numérica, de cotas e vazões, ou simbólica, com um mapeamento esquemático da planície alagável. Destaca-se, por fim, o seu caráter sistêmico, sendo a integração do todo mais importante do que a caracterização de detalhes específicos ou isolados.

4.2. Modelação da Situação atual

A simulação da situação atual, após a calibração e validação do modelo, foi realizada considerando uma chuva uniforme sobre toda a bacia para um tempo de recorrência tomado como referência para este trabalho. Este cenário servirá de base para todas as comparações, correspondendo à situação mais crítica considerada.

4.3. Escolha e Modelação das Medidas Estruturais

Este item tem por objetivo apresentar um conjunto de obras de controle de enchentes propostas para a bacia do rio Joana e fornecer um detalhamento, em nível preliminar, destas obras propostas.

Nas últimas três décadas, muito vem sendo discutido acerca de alternativas de combate a enchentes, com destaque para medidas de controle integradas, com uma visão sistêmica da bacia, procurando preservar as condições de escoamento progressas em relação ao processo de urbanização, prevendo controles de escoamento em tempo real, aplicando medidas de melhores práticas de gerenciamento (BMP's). Medidas tradicionais são também importantes, especialmente na correção de singularidades dos canais de escoamento e/ou em complementação a medidas de reservação temporária. Nesta última combinação, por exemplo, pode ser importante drenar mais rapidamente uma dada área, enquanto medidas de amortecimento retardam o escoamento de outra área, de modo a se ter uma defasagem maior de picos, para melhor acomodamento das cheias aos canais existentes.

Dessa forma, uma grande variedade de obras seria possível, gerando uma possibilidade de combinações de difícil análise e tratamento. Nesse contexto, uma análise preliminar das condições da bacia se faz necessária para direcionamento da escolha das intervenções de trabalho neste primeiro momento. Esta escolha inicial, a ser desenvolvida durante o transcurso deste projeto não deve ser considerada definitiva. Mais propriamente, ela deve ser vista como o primeiro passo na avaliação de um problema de difícil solução, de grandes proporções, com desdobramentos sócio-econômicos variados, cuja continuidade dos estudos deve permitir a evolução deste trabalho no sentido de se chegar a um plano diretor de drenagem urbana e a confecção de um manual de drenagem.

Analisando a bacia em estudo, destacam-se as seguintes observações:

- a bacia encontra-se fortemente urbanizada;
- há pouco espaço para a construção de medidas de armazenamento temporário de maior porte;

- a rede de macro-drenagem existente apresenta trechos de galerias sob lotes, em locais de difícil acesso, com curvas em ângulo reto, estrangulamentos e outras interferências sobre as seções de escoamento;
- parte considerável das encostas encontra-se ocupada por favelas, em um processo danoso de substituição de vegetação natural por sub-moradias em áreas de risco;
- a qualidade da água encontrada na rede de drenagem apresenta parâmetros similares aqueles encontrados em despejos de esgotos, estando, portanto, deteriorada;
- não foram obtidas informações sobre os lençóis subterrâneos, não sendo conhecida a posição do nível d'água do lençol freático.

Dadas estas observações, algumas escolhas foram então direcionadas:

- em função do nível de alagamentos encontrados na situação atual da bacia, medidas de amortecimento foram consideradas essenciais;
- regiões próximas aos pés de encostas, em áreas ainda pouco ocupadas, foram consideradas locais propícios para a implantação de reservatórios de amortecimento das contribuições das cabeceiras dos rios, diminuindo o aporte de água para as regiões alagáveis;
- o reflorestamento de encostas foi previsto como medida educativa – embora seu uso possa ser utópico em boa parte das encostas desprovidas de vegetação, onde hoje já existe ocupação por favelas, tendo algumas comunidades recebido inclusive obras do programa municipal “Favela-Bairro”, a adoção desta medida pretende mostrar o quanto o desmatamento de encostas pode ser nocivo para o sistema;
- nas regiões mais baixas, mais urbanizadas, as praças e parques públicos foram considerados como locais de possíveis amortecimentos, em um arranjo espacial distribuído sobre a bacia – embora o uso de reservatórios temporários em praças possa sofrer resistência da comunidade circunvizinha, esta pode ser uma oportunidade urbanística de revitalização das praças, agregando mais um uso, associado ao controle de enchentes, caracterizando uma paisagem multi-funcional;
- áreas privadas, eventualmente propícias à construção de reservatórios temporários, tais como estacionamentos de mercados e shoppings, não foram contempladas exatamente por não serem públicas e, portanto, não estarem automaticamente a disposição do poder público;

- tendo em vista a qualidade da água encontrada na rede de drenagem, os reservatórios previstos devem trabalhar como reservatórios de detenção, portanto, secos na ausência de chuva, e não como reservatórios de retenção – embora estes últimos, conceitualmente, poderem ser utilizados também no tratamento da qualidade da água, seria crítico ter praças com lagos permanentes com águas com características próximas às dos esgotos domésticos;
- medidas de infiltração foram descartadas, em áreas públicas ou em nível de lotes, com a desconexão de escoamentos da rede de drenagem, pelo desconhecimento do nível do lençol freático na bacia;
- medidas em nível de loteamento, entretanto, podem ser bastante benéficas pelo controle do escoamento na fonte, o que leva à proposição da construção de reservatórios também nos lotes, especialmente na parte média da bacia;
- dadas as características de intensidade da chuva, a retenção em telhados também foi descartada pela sobrecarga que adviria desta consideração;
- medidas tradicionais também foram consideradas importantes, tanto pela existência de singularidades no escoamento, como pela existência de projetos de canalização, propostos no âmbito do programa municipal de obras “Rio-Cidade”, com previsão concreta de implantação, que foram então considerados para avaliação dos seus efeitos sobre o sistema;

Tendo em vista esta discussão sucinta aqui apresentada, foram escolhidas as seguintes intervenções para o tratamento do problema de enchentes urbanas na bacia em questão:

- Medidas de controle distribuído
 - Reservatórios de praças/parques
 - Reflorestamento
- Medidas na Microdrenagem
 - Reservatórios de lotes
- Medidas na Macrodrenagem
 - Reservatórios de encosta
 - Canalizações tradicionais e obras de desvios

Na seqüência de estudos, será apresentado um detalhamento para as intervenções propostas, sendo detalhadas as intervenções em termos de introdução destas intervenções no modelo matemático de células de escoamento.

RESERVATÓRIOS DE ENCOSTA

A criação de cenários de simulação para este tipo de intervenção foi feita no âmbito de ESCOLA DE ENGENHARIA (1998 e 2000) através de mudanças pontuais nos arquivos que representam o cenário de situação atual, substituindo-se a vazão afluente não-amortecida, calculada pelo modelo matemático através da contribuição das células de encostas às células da bacia modelada, pelas vazões efluentes amortecidas de cada um dos reservatórios projetados. Para tanto foram realizados os seguintes procedimentos:

- Identificação das células de encosta que contribuem para o reservatório em análise;
- Retirada da célula de encosta para fins de eliminar a sua vazão afluente não amortecida;
- Inclusão de um arquivo de condição de contorno tipo vazão com as descargas efluentes amortecidas projetadas, associando este arquivo à célula de rio ou de galeria que anteriormente recebia a célula de encosta retirada no passo anterior.

REFLORESTAMENTO

A proposta de reflorestamento tem como objetivo reduzir o volume de águas superficiais escoando pela bacia, bem como retardar estes escoamentos pelo favorecimento do processo de infiltração e interceptação na copa das árvores.

As áreas consideradas passíveis de reflorestamento foram aquelas que atualmente se encontram degradadas bem como aquelas que respondem por ocupações irregulares, especialmente em encostas, onde também ocorrem riscos de desmoronamentos, relativas ao processo de favelização, que vem se constituído em fenômeno comum em núcleos urbanos de países do terceiro mundo.

O reflorestamento de áreas favelizadas é um processo difícil e caro, com desdobramentos sociais importantes que devem ser analisados não só por uma ótica técnica, mas também sócio-político-econômica. Neste trabalho, porém, discute-se os resultados desta ação sob uma ótica técnica, mostrando os benefícios deste tipo de intervenção sobre o controle do processo de enchentes urbanas e fornecendo uma informação importante para a avaliação do desempenho desta medida mitigadora.

No caso da bacia do rio Joana, o reflorestamento previsto abrange as vertentes dos rios:

- Urubus, afluente do rio Joana pela margem esquerda;
- Jacó e Perdido, formadores do Joana;
- Andaraí, afluente do rio Joana pela margem direita;

Este cenário simula o efeito da recuperação da cobertura florestal sobre as encostas no amortecimento de cheias, sendo construído a partir de mudanças pontuais apenas nos arquivos que representam o cenário de situação atual, através da mudança do coeficiente de escoamento superficial em todas as células de encosta passando seus valores para 0,30, visto que o presente modelo não leva explicitamente em consideração a infiltração e a abstração inicial.

RESERVATÓRIOS DE AMORTECIMENTO EM PRAÇAS

A criação de cenários de simulação para este tipo de intervenção é feita através de mudanças pontuais nos arquivos que representam o cenário de situação atual, subtraindo-se a área da praça de sua célula original e criando-se duas novas células:

- Célula de reservatório relativa à própria praça - criada a partir da diminuição de pelo menos 1,5 metro da cota do fundo da nova célula criada a partir da célula original, com orifício de saída dos reservatórios apresentando diâmetro de saída capaz de impedir o vertimento da praça para o tempo de recorrência adotado no trabalho.
- Célula de calçada- criada a partir do perímetro da praça com largura de uma calçada e altura fixa de 0,15 metro sobre a cota da rua adjacente.

Reservatórios em Praças:

- Funcionam como um reservatório (cela tipo 3)
- Armazenam água dos escoamentos superficiais da região do seu entorno
- Podem receber águas de galerias próximas
- Podem verter para a calçada

Configuração esquemática no modelo na situação atual :

- Célula A, contendo uma praça e que receberá o reservatório:
 - Célula superficial - tipo 2
 - Ligação do tipo Planície com suas vizinhas superficiais, neste caso hipotético, as células B2, C, e D
 - B2 liga com B1 através de uma ligação tipo bueiro, sendo B1 a galeria de drenagem que passa sob B2 (figura 4.1).

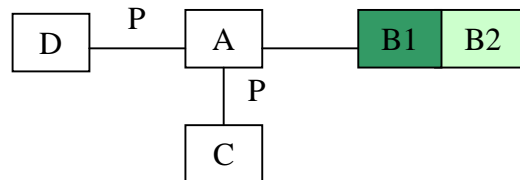


Figura 4.1 - Configuração atual

Configuração topológica modificada para introdução da praça no modelo:

- Célula A:
 - Dividida em 3 células: reservatório de praça, calçada ao redor da praça, ruas e lote do entorno que costavam na célula original (figura 4.2).
 - Introduce-se a célula de microdrenagem para comunicação com B1

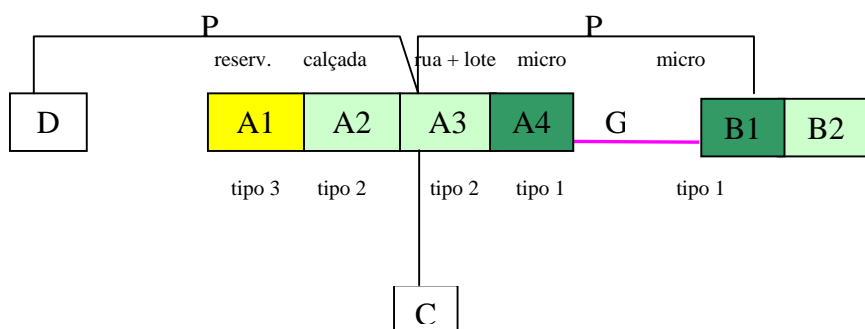


Figura 4.2 - Configuração modificada

Características da célula de reservatório tipo 3:

- Área de armazenagem: área da praça
- Volume útil – área da praça x 1,5m
- N° de pontos na tabela cota x área – 2 pontos (1 vazio, outro cheio – caixote)

Novas ligações :

- A1:
 - Verte ou recebe vertimentos de A2 ou A3 diretamente, dependendo das cotas do nível d'água em cada uma destas células
 - Liga com A4 através de uma ligação tipo orifício

- A2:
 - Recebe vertimento de A1 ou verte para A1 em caso de vertimento generalizado na região ou extravazamento do reservatório em larga escala.
 - Recebe vertimento ou verte para A3, a partir do alagamento das ruas, de meio fio a meio fio, ou funcionamento como vertedouro de segurança da praça.

- A3:
 - Recebe vertimento de A2 ou A1 ou verte para estas células
 - Liga com A4 através de bueiros
 - Liga com B2, C, e D através de planícies superficiais

- A4:
 - Liga com A1 através de orifícios
 - Liga com A3 através de bueiros
 - Liga com B1 através de galeria

MICRO-RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO EM LOTES

Esta concepção de projeto constitui-se de uma série de pequenos reservatórios, em nível dos loteamentos, antes de sua carga na micro-drenagem, cuja implantação pode ser eventualmente estendida também a pequenos espaços livres, tais como praças ou jardins. Têm a função conjunta de retardar o tempo de concentração e atenuar os picos dos hidrogramas de saída, permitindo a recuperação da capacidade de amortecimento perdida pela bacia devido à urbanização que impermeabiliza suas áreas. Sua implantação também permite outros usos, tais como a possibilidade de disponibilizar água para irrigação do quintal, lavagem de superfícies e automóveis, entre outros.

Cada reservatório simulado possui dimensões de 1.0 x 1.0 x 1.0 m, equivalente a implantação de uma caixa d'água comercial com saída em um orifício de 1 polegada de diâmetro, para a rede de drenagem mais próxima do lote. Quando o reservatório se enche inicia um vertimento para o próprio lote e, depois, para as calçadas das ruas.

Esquema de Simulação de Reservatórios de Retenção em Lotes

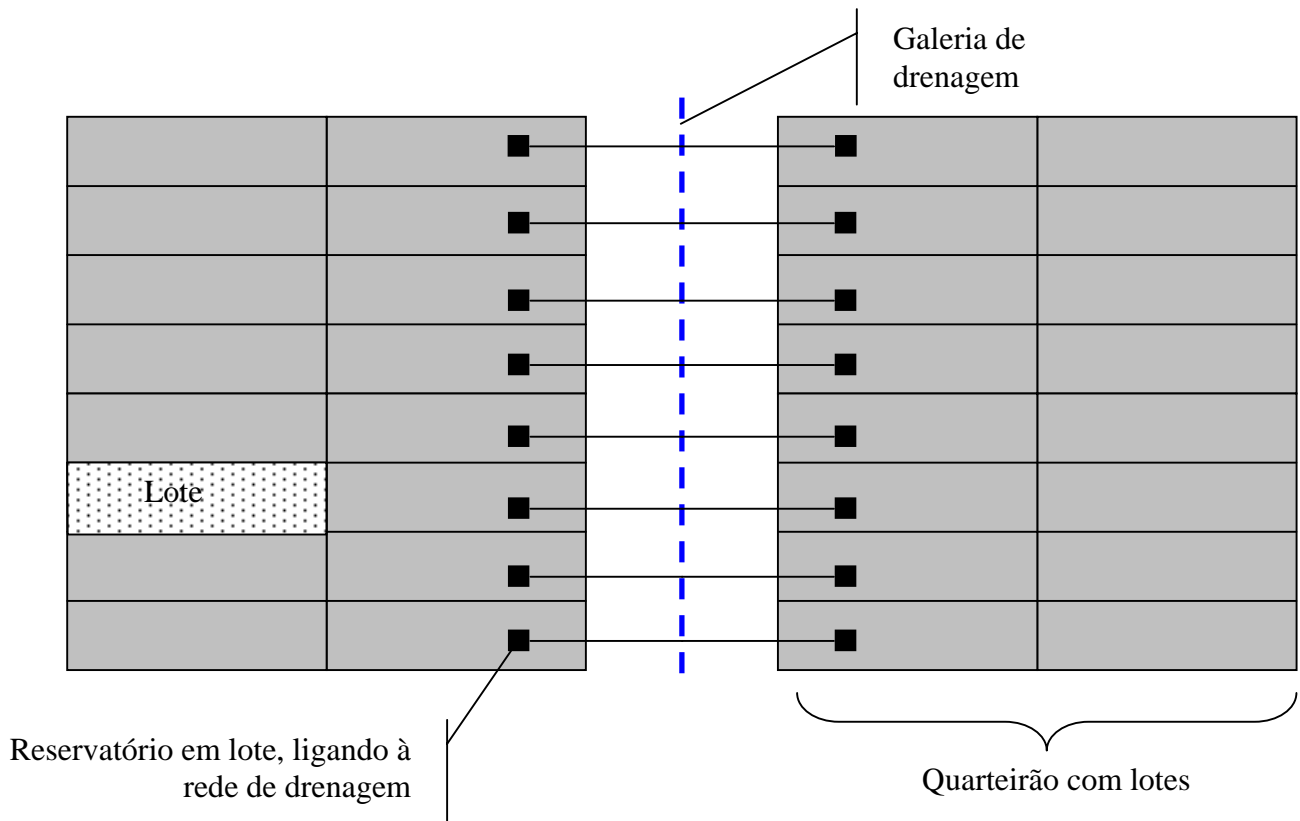


Figura 4.3 - Esquema de simulação dos reservatórios em lotes

Reservatórios em lotes:

- Funcionam como um reservatório (cela tipo 3)
- Armazenam água parte da vazão produzida no próprio lote
- Saída por orifício para a rede de drenagem
- Verte para o interior do próprio lote

Configuração topológica atual :

- Célula A :
 - Célula superficial – tipo2
 - Ligação tipo Planície com suas vizinhas neste caso hipotético, as células B2, C, D e E.
 - B2 liga com B1 através de uma ligação tipo bueiro

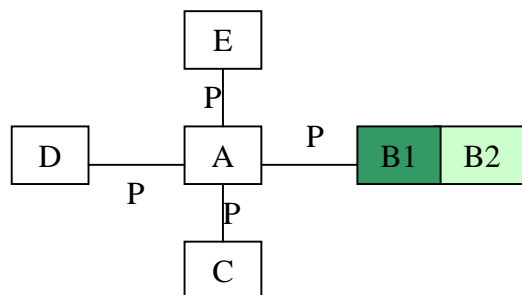


Figura 4.4 - Configuração atual

Configuração topológica modificada para introdução dos reservatórios de lote:

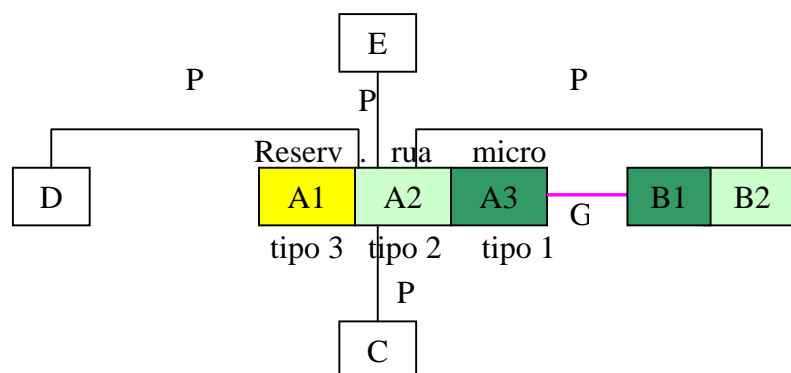


Figura 4.5 - Configuração modificada

- Célula A :
 - Dividida em 2 celas: reservatórios de lote, e ruas e calçadas que costavam na célula original (figura 4.5).
 - Introduz-se a célula de microdrenagem para comunicação com B1

Características da célula de reservatório tipo 3:

- Área de armazenagem: nº de cisternas x vol. de 1 cisterna
- Nº de cisternas – 1 por lote
- Nº de lotes em 1 cela
 - $[\text{área total da célula A} - \text{área de A2 (m}^2\text{)} / \text{Área do Lote-padrão (15 x 30m)}]$
 - Contar o nº de lotes
 - Nº de pontos na tabela cota x área – 2 pontos (1 vazio, outro cheio – caixote)

Novas ligações :

- A1:
 - Verte ou recebe de A2
 - Liga com A3 através de ligação tipo O
- A2:
 - Recebe vertimento de A1
 - Liga com A3 através de bueiros
 - Liga com B2, C, D e E através de planície
- A3:
 - Liga com A1 através de ligação tipo O
 - Liga com A2 através de bueiros
 - Liga com B1 através de galeria

INTERVENÇÕES TRADICIONAIS

A intervenção tradicional, aqui representada por aumento na área da seção de galerias, é um dos cenários mais simples de montagem, visto que para sua modelação não é necessário que se criem ou se excluam células no cenário atual. A criação de cenários de simulação para este tipo de intervenção é feita através de mudanças pontuais nos arquivos de entrada do modelo que representam o cenário de situação atual, substituindo-se o diâmetro das galerias antigas, pelo novo diâmetro projetado para futuras galerias bem como todas as mudanças inerentes a esta alteração, como as novas áreas, cotas de fundo e teto das mesmas. Para tanto são realizados os seguintes procedimentos:

- Identificação das células de galerias envolvidas no funcionamento da macrodrenagem da região em questão;
- Realizar as mudanças supracitadas;

4.4. Procedimento de Análise

Cenários simulados individualmente contendo cada uma das 5 intervenções propostas

De uma forma geral, as análises conduzidas neste item têm por objetivo simular isoladamente o funcionamento das intervenções propostas quando em comparação com a situação atual, apontando, após a avaliação de seus efeitos locais e globais, os possíveis benefícios de suas implantações.

Cenários Simulados de 5 intervenções combinadas duas a duas.

As análises propostas neste item têm por objetivo simular a combinação do funcionamento entre o conjunto de intervenções combinadas entre si duas a duas quando em comparação com a situação atual, verificando seus efeitos funcionais, bem como a verificação de concorrência ou complementaridade dos efeitos de mitigação de cheias provocadas pela implantação das intervenções. A partir da observação destes resultados serão direcionadas combinações 3 a 3 de obras que sejam complementares e benéficas ao funcionamento do sistema.

Cenários Simulados de 5 intervenções combinadas 3 a 3.

A partir da definição obtida no item anterior, a respeito de quais intervenções possuem efeitos concorrentes e quais possuem efeitos complementares, a combinação funcional de intervenções 3 a 3 têm por objetivo a escolha da melhor configuração de cenários, em termos de combate às cheias, a partir da análise dos efeitos espacialmente distribuídos destas intervenções na bacia quando comparados com a situação atual. A partir deste momento, poderão ou não existir novos cenários 4 a 4, se pertinentes, em caso de possibilidades de novas complementações funcionais.

5. ESTUDO DE CASO: A BACIA DO RIO JOANA

5.1. Caracterização da bacia

A área de estudo refere-se à bacia do rio Joana, tributário do rio Maracanã e, em seqüência do canal do Mangue, local onde se tem larga base de dados disponível (ESCOLA DE ENGENHARIA, 1998 e 2000). Localizada na cidade do Rio de Janeiro, encaixada em uma região de planície costeira e cercada por encostas do maciço da Tijuca, sofre regularmente com enchentes provocadas por chuvas convectivas típicas de verão. Esta situação decorre, em parte, desta característica da bacia, aliada a uma ocupação desordenada das suas encostas e a uma rede de drenagem antiga e hoje insuficiente, face ao aumento e aceleração dos escoamentos superficiais, em virtude do próprio processo de urbanização. A Praça da Bandeira, próxima ao centro da cidade, em região baixa, é uma área crítica, fortemente urbanizada, para onde convergem as contribuições das bacias de drenagem dos rios que deságuam no Canal do Mangue.

Os principais afluentes ao Canal do Mangue são os rios: Maracanã, Joana, Comprido, Trapicheiro e Papa-Couve, que drenam áreas da bacia que se distinguem pela diversidade ocupacional e ambiental (Figura 5.1). A rede de macro-drenagem freqüentemente extravasa para eventos de chuvas intensas. Nestas ocasiões, nitidamente também as ruas funcionam como canais, passando a complementar a macro-drenagem.

A unidade fisiográfica do Canal do Mangue com cerca de 42 km² de área total tem seu exutório na Baía de Guanabara, na região portuária da Cidade. Contido nesta bacia, o rio Joana, por sua vez, possui cerca de 11 Km² e abriga bairros tradicionais da Cidade, como São Cristóvão, Maracanã, Vila Isabel, Andaraí, Tijuca, Grajaú, além de pontos destacados da cidade, como, o Estádio Mário Filho (Maracanã), o antigo Jardim Zoológico, hoje Parque Recanto do Trovador, a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), entre outros.

Em relação a sua cobertura pode-se dizer que aproximadamente metade da Bacia é pesadamente ocupada com áreas impermeabilizadas, típicas de uma área urbana, grande parte localizada em região de planície sedimentar; a outra metade, de modo geral, é composta por paisagens de encostas cobertas por florestas e parcialmente ocupadas por

favelas (Figura 5.3). Estas favelas, muitas vezes em situação de risco para as próprias comunidades, contribuem para agravar as condições de escoamento superficial, seja pela substituição da vegetação natural, ou pela incorporação de lixo e sedimentos ao escoamento superficial, que acabam por se depositar em áreas baixas, podendo obstruir a rede de drenagem.

O rio Joana é formado pelos rios Perdido e Jacó, recebendo contribuições, à medida que caminhamos para jusante da bacia, do rio Urubus e das galerias das Ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem pela margem esquerda e Andaraí pela margem direita (figura 5.3)

O trabalho de divisão da bacia em células foi desenvolvido sobre mapas na escala 1:2.000, resultando em um conjunto de 1019 células de escoamento para a situação atual da bacia do canal do Mangue (MIGUEZ, 2001). Destas 1019 células, 400 referem-se a bacia do rio Joana (figura 5.4). A figura 5.2 mostra o mapa de uso do solo na bacia, tomado como base para a definição dos coeficientes de escoamento superficial. A figura 5.3 mostra as intervenções propostas para a bacia. A figura 5.4 mostra a divisão em células e, esquematicamente, a topologia associada.

Figura 5.1 - Foto aérea da região que engloba as bacias que contribuem para o Canal do Manguê, com rios principais esquematicamente indicados.

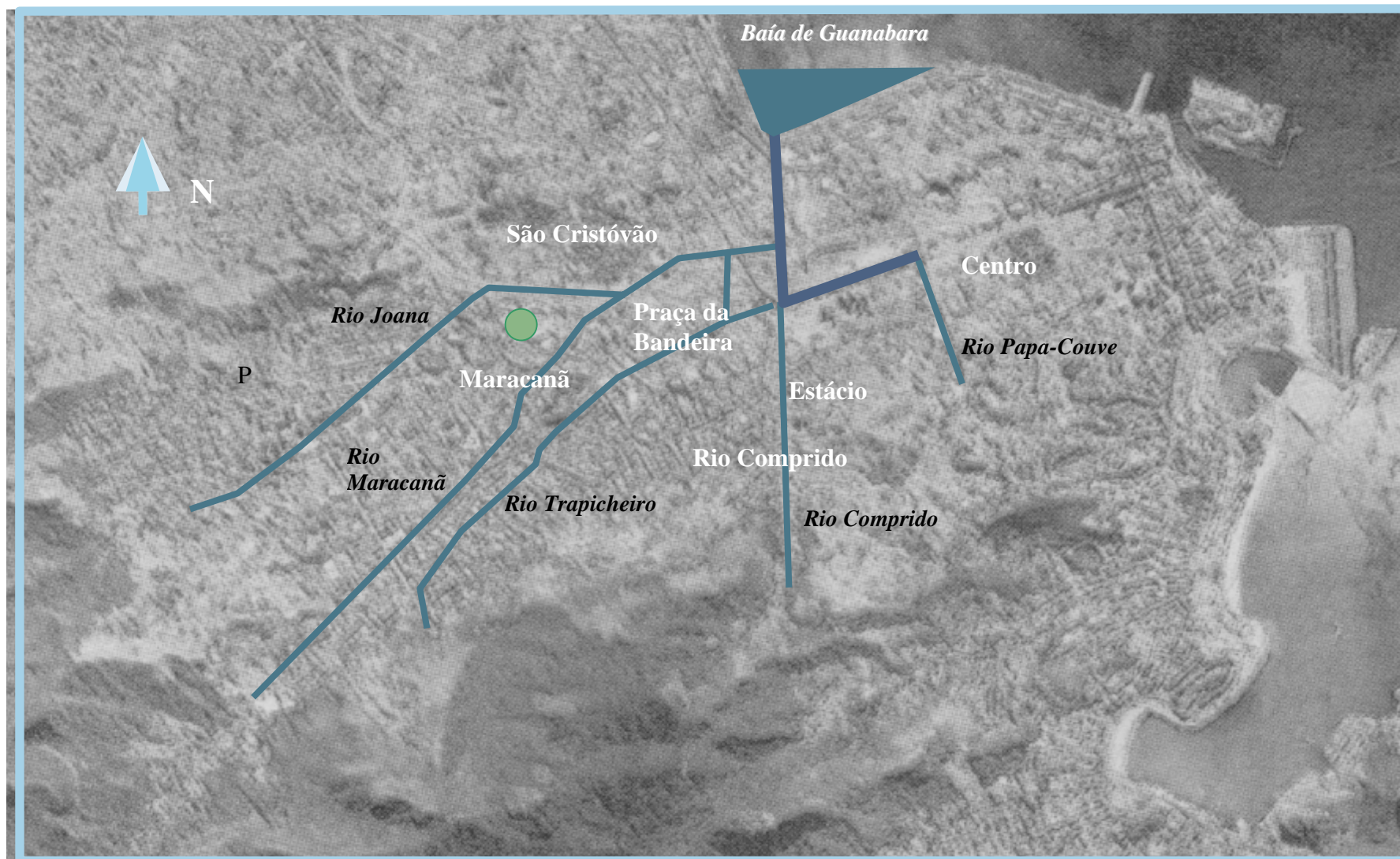


Figura 5.2 - Mapa de usos do solo da bacia do Canal do Mangue.

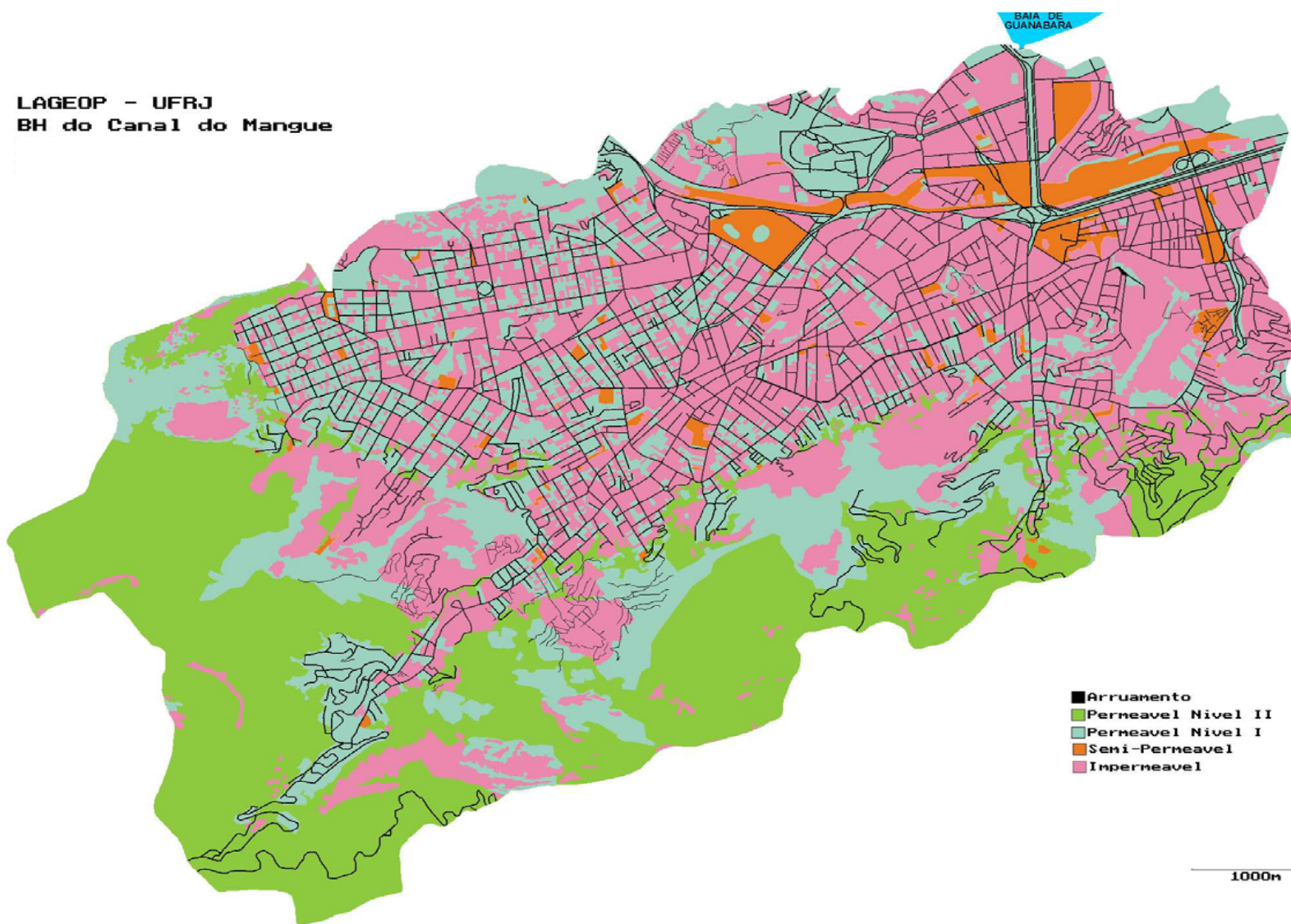
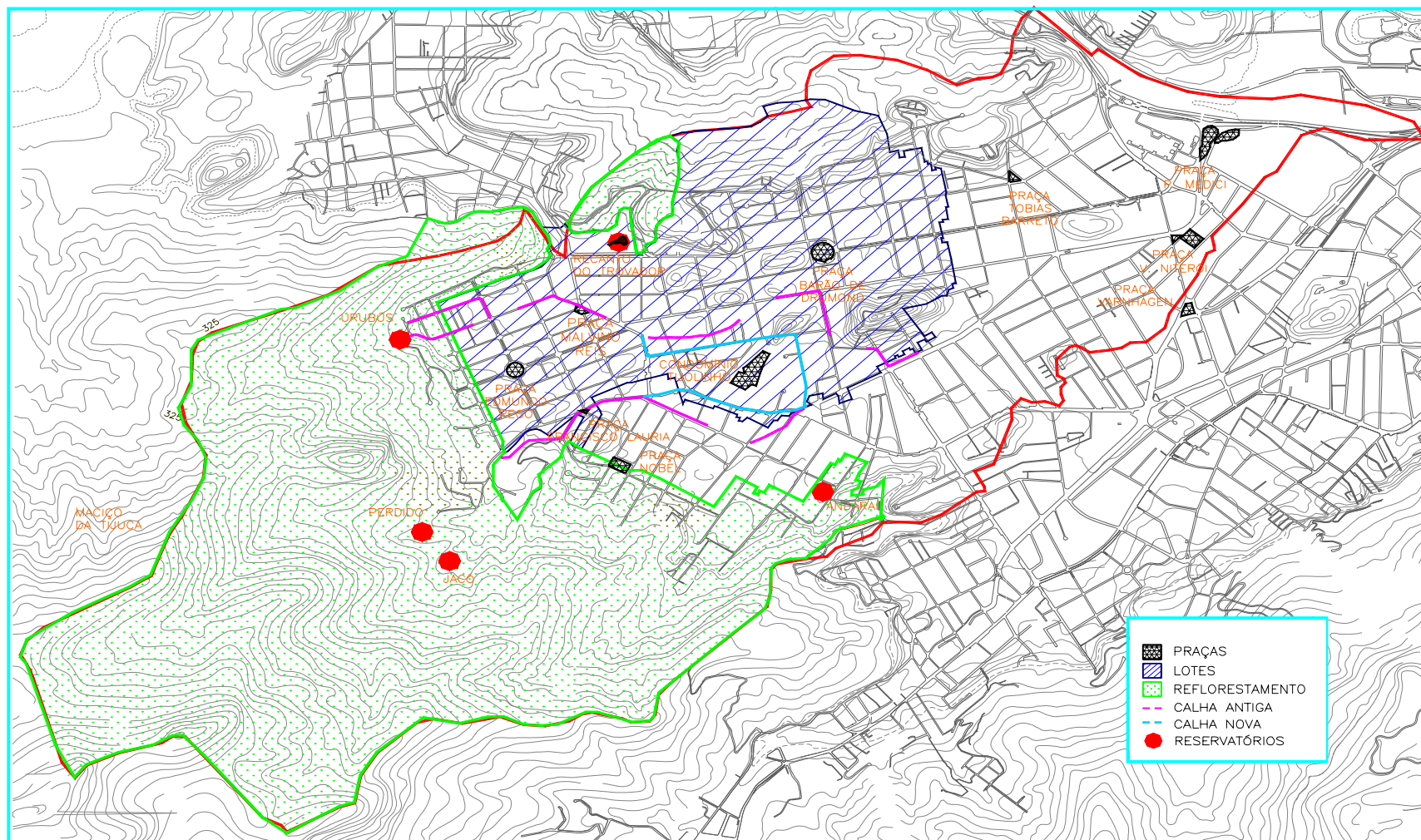


Figura 5.3 - Mapa com o contorno da bacia do rio Joana com o posicionamento do conjunto de obras proposto.



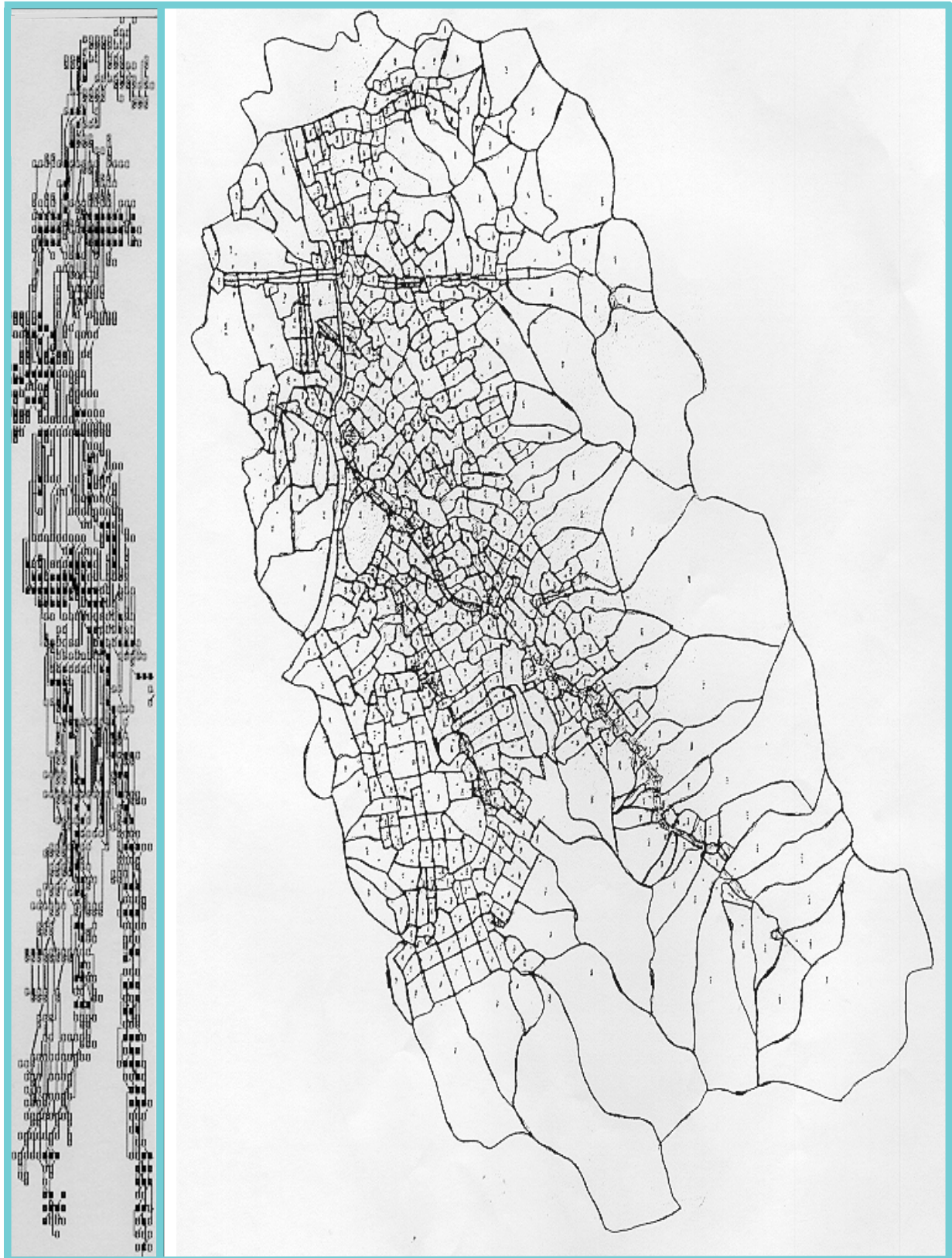


Figura 5.4 - Representação esquemática da divisão da bacia do Canal do Mangue em células e do esquema topológico associado.

5.2. Calibração

O processo de calibração de um modelo matemático refere-se a fase de ajuste de parâmetros deste modelo, para que ele possa reproduzir a realidade de um dado caso particular observado, a fim de garantir consistência e confiabilidade para a fase posterior de simulação de cenários diversos. Este processo permite conhecer melhor o funcionamento da área em estudo, traduzindo tanto quanto possível este funcionamento para a realidade modelada MIGUEZ (2001). O presente caso sob estudo, relaciona-se à aplicação do modelo de células ao caso da bacia do rio Joana, afluente do Canal do Manguê. O trabalho de calibração foi desenvolvido no âmbito do projeto Canal do Manguê (ESCOLA DE ENGENHARIA, 1998), cabendo nesta Tese apenas a avaliação dos projetos das obras e a simulação das mesmas.

O evento escolhido para a calibração refere-se ao de uma precipitação ocorrida entre a noite do dia 16 de fevereiro de 2000 e a madrugada do dia 17, com cerca de 100 mm, mais concentrada em menos de duas horas de duração, na região do Andaraí, e com menos de 80 mm, distribuídos em cerca de 4 h, na região da Praça da Bandeira. Para caracterização da condição de contorno de jusante, considerou-se uma senóide, com comprimento de onda de 12 horas, com altura de onda da ordem 1,00 m, máxima amplitude ocorrendo pouco depois das 2:00 h e das 14:00 h, e cotas de NA referidas ao zero do IBGE, consistentes com os mapas utilizados na divisão da bacia em células. O resultado obtido na calibração para o posto do rio Joana é mostrados a seguir (figura 5.5). Nota-se, neste resultado, uma boa qualidade de ajuste no rio Joana.

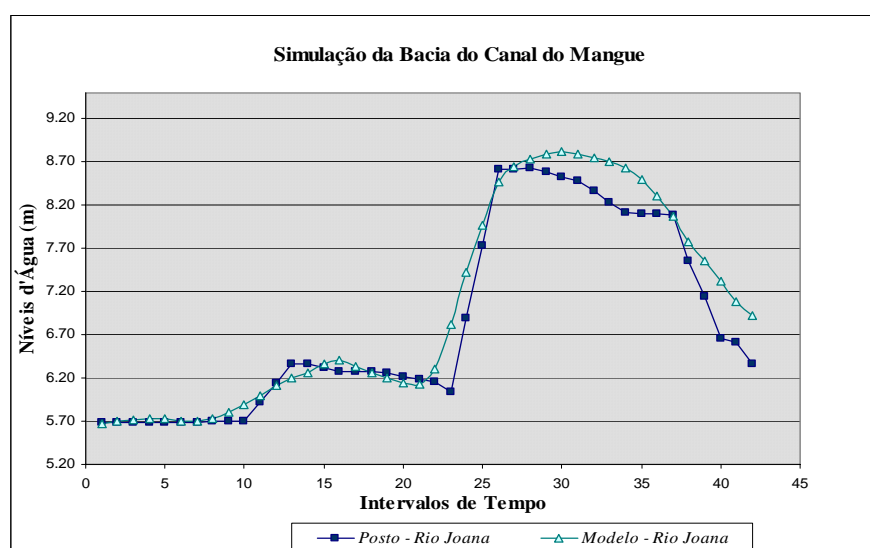


Figura 5.5 - Calibração no posto do rio Joana

5.3. Caracterização e Localização das Medidas Estruturais na Bacia

Reservatórios de encosta

Este cenário simula o efeito do funcionamento de um arranjo de 4 reservatórios de amortecimento de cheias posicionados nas encostas da bacia do rio Joana (figura 5.3), todos projetados no âmbito de ESCOLA DE ENGENHARIA (1998 e 2000):

- Reservatório de amortecimento temporário no parque Recanto do Trovador;
- Reservatório de amortecimento no rio Jacó;
- Reservatório de amortecimento no rio Perdido;
- Reservatório de amortecimento no rio Andaraí;

Reflorestamento

Este cenário foi concebido modificando os coeficientes de escoamento superficial (run-off) das células de encostas correspondentes aos locais preconizados para o reflorestamento, passando seus valores originais para 0,3 (tabela 1). A área projetada para o reflorestamento pode ser observada na figura 5.3.

Tabela 1 - Coeficientes de escoamento superficial antes e após reflorestamento

Célula	Área total	C atual	C flor
165	623.500,00	0,54	0,3
167	176.417,64	0,55	0,3
168	73.807,38	0,47	0,3
174	19.281,57	0,47	0,3
187	237.427,00	0,6	0,3
188	35.047,09	0,62	0,3
189	51.000,00	0,71	0,3
192	115.008,89	0,62	0,3
194	67.787,95	0,71	0,3
368	206.662,00	0,7	0,3
856	80.000,00	0,6	0,3
1301	1.500.000,00	0,35	0,3
1305	1.100.000,00	0,35	0,3
1309	900.000,00	0,7	0,3

Reservatórios de Praças

Este cenário simula o efeito do funcionamento de um arranjo de 11 reservatórios de amortecimento de cheias em planícies urbanas (figura 5.3), posicionados nas seguintes praças localizadas na bacia do rio Joana:

- Praça Barão de Drumond;
- Pça Edmundo Rego;
- Pça Malvino Reis;
- Pça Niterói;
- Pça Nobel;
- Pça Prof. Lauria;
- Pça Presidente Médici;
- Pq Recanto do Trovador;
- Pça Tobias Barreto;
- “Condomínio Tijolino”;
- Pça Varnhagem, que na verdade pertence a bacia do rio Maracanã em local onde ocorre transposição de vazões para o rio Joana.

Reservatórios de Lotes

Cenário criado introduzindo uma série de reservatórios de amortecimento nos próprios lotes da bacia, para verificar os efeitos da introdução destes reservatórios, que captam e amortecem as águas que precipitam sobre os loteamentos. Procurou-se se ater a reservatórios apenas no bairro do Grajaú por ser este mais alto, evitando chegar a locais onde alagamentos mais fortes submergiriam os lotes e seus reservatórios (figura 5.3).

Intervenção Tradicionais

Este cenário foi construído com o intuito de modificar as calhas do rio Urubus e Joana de forma a aumentar a capacidade de descarga de seus leitos em setores da bacia onde, no cenário atual, os escoamentos encontravam-se prejudicados por passagens impróprias, com suas galerias afogadas (figura 5.3).

Para o rio Urubus foi projetada pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro uma nova calha, pois a atual se apresenta insuficiente e, em alguns trechos, passa por dentro de lotes. Neste caso procurou-se implantar uma nova galeria para comportar as vazões oriundas das encostas e também corrigindo seu traçado, fazendo-a correr por sob ruas e logradouros em toda a sua extensão, encurtando o comprimento da galeria que passa a escoar, na altura da rua Barão do Bom Retiro, pela rua Nossa Senhora de Lourdes e em seguida pela rua Via Lactea até encontrar o rio Joana a céu aberto na Av. Maxwuel.

Para o rio Joana foi projetada, e realmente implementada, também pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, uma nova seção transversal, pois a antiga se apresentava insuficiente. Neste caso procurou-se implantar uma nova galeria para comportar as vazões oriundas das encostas a partir do final da rua Borda do Mato, passando a escoar pela rua Barão de Mesquita até a altura da rua Via Lactea, onde a galeria encontra o rio Joana a céu aberto. A galeria antiga, que corria, depois do final da rua Borda do Mato, pela rua Uberaba continua funcionando, porém não mais conectada com o trecho da rua Borda do mato, drenando assim uma área menor.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. Pontos de Controle

Os resultados a seguir são apresentados por cotogramas que apresentam os níveis d'água no centro da célula em função do tempo de simulação. A seleção das células da bacia do rio Joana a serem plotadas se baseou na observação dos pontos mais críticos da área modelada. Também foram escolhidas células representativas do rio Joana, tanto em seu escoamento a céu aberto como em galeria, incluindo-se, também, algumas células dos principais afluentes deste rio (figura 6.1), destacando-se o rio Urubus escoando em galeria.

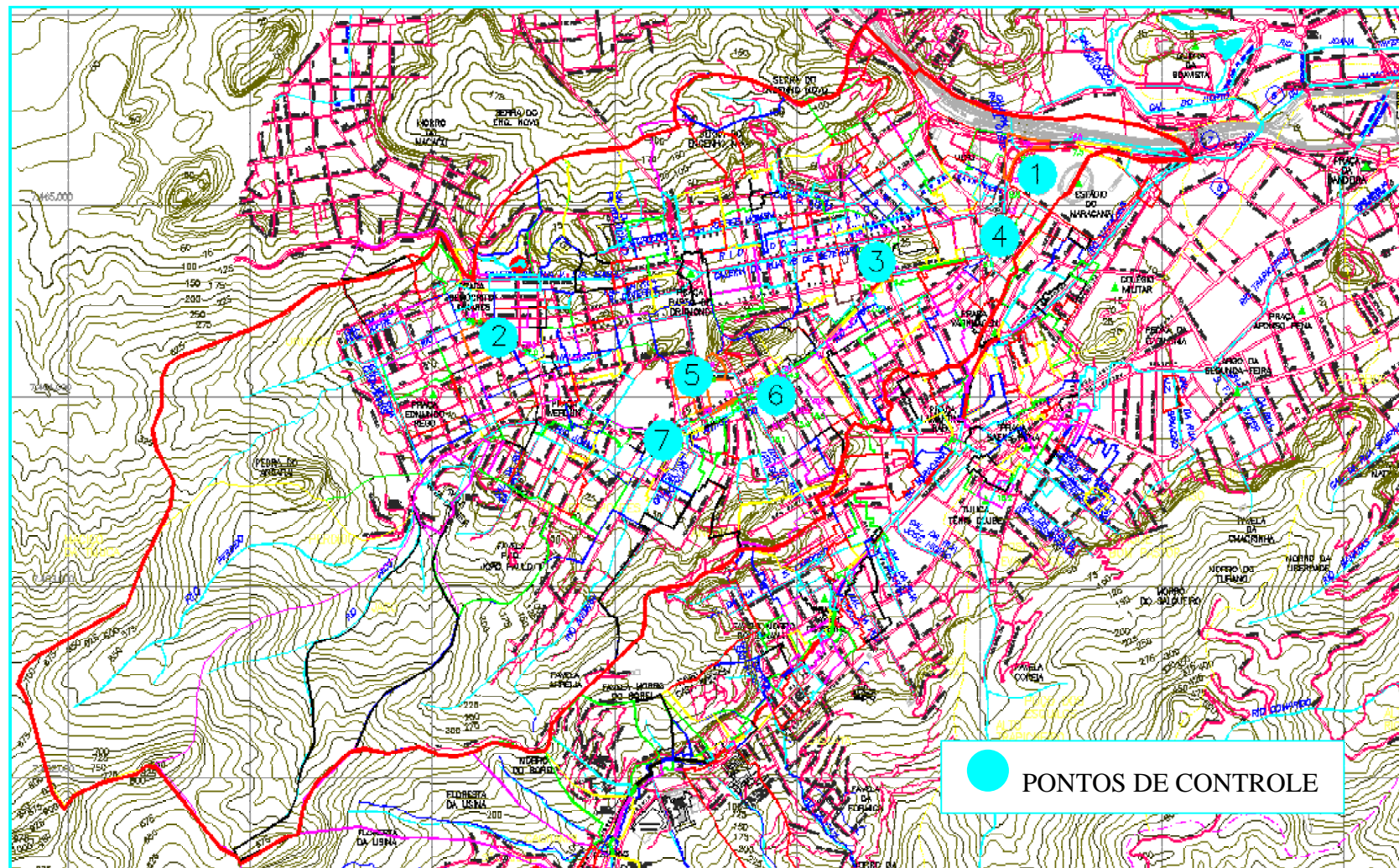
Na planície urbana foram escolhidos locais que representassem pontos de problemas significativos quanto aos alagamentos verificados na situação atual na área modelada.

No primeiro ponto de controle tem-se duas células escolhidas: 77 e 78, correspondendo respectivamente ao rio Joana a céu aberto e a planície adjacente ao mesmo, ambas localizadas na parte baixa da bacia após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem, próximas ao estádio do maracanã (figura 6.2).

A figura 6.3 apresenta o segundo ponto de controle com a célula 762 sendo a célula considerada, localizada na parte alta da bacia, na região do bairro Grajaú, próxima à praça Malvino Reis, na sub-bacia do rio Urubus, na esquina das ruas Prof. Valadares e Barão do Bom Retiro.

Na seqüência tem-se as células 36 e 37 como células do terceiro ponto controle, em região localizada na parte média-baixa da bacia, correspondendo respectivamente ao rio Joana a céu aberto na Av. Eng. Otacílio Negrão de Lima no trecho entre as ruas Gonzaga Bastos e Pereira Nunes e a planície contendo a galeria na qual o rio Joana entra na seqüência da célula 36 (figura 6.4).

Figura 6.1 - Mapa com o contorno da bacia do rio Joana e posicionamento dos pontos de controle.



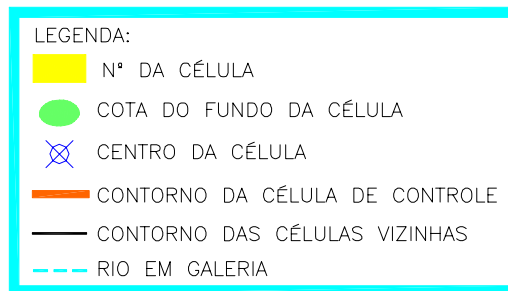
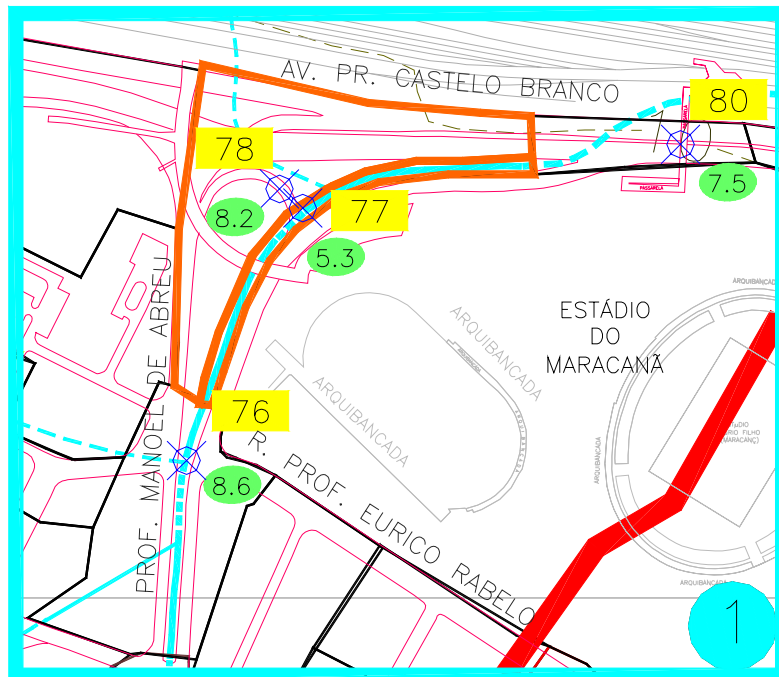


Figura 6.2 - Células de controle 77 e 78 localizadas na parte baixa da bacia.

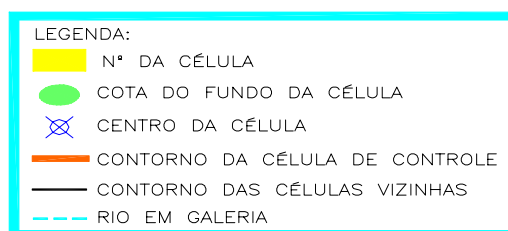
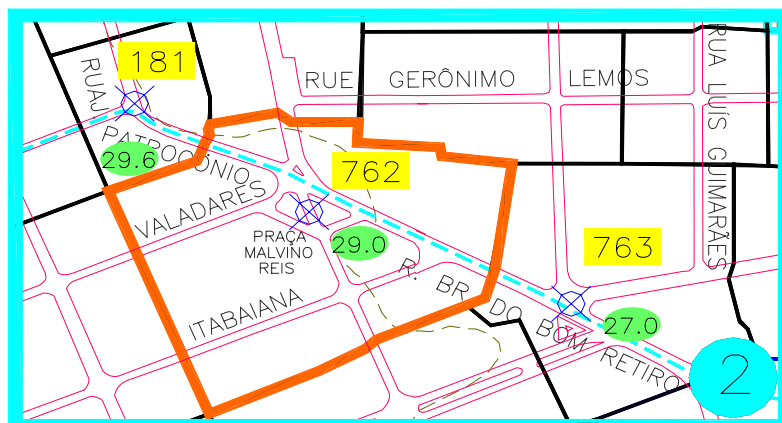


Figura 6.3 - Célula de controle 762 localizada na parte alta da bacia.

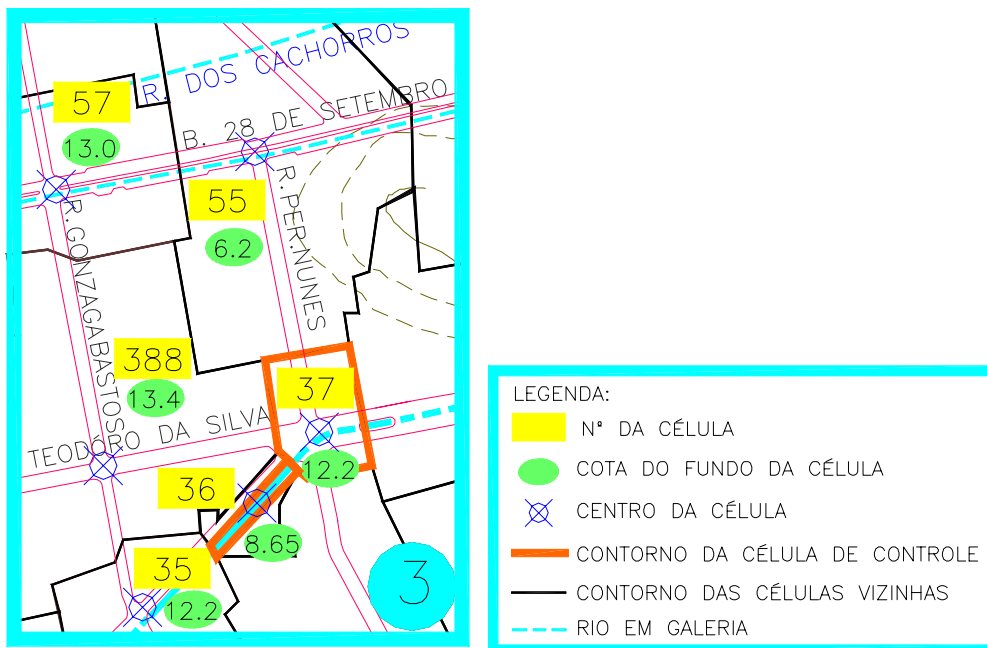


Figura 6.4 - Células de controle 36 e 37 localizadas na parte média-baixa da bacia.

O ponto de controle número 4, localizado na parte baixa da bacia, corresponde a uma região subsequente ao ponto de controle anterior, após saída do rio Joana da galeria na Av. Professor Manuel de Abreu, passando, dessa forma, a escoar a céu aberto novamente. A célula de controle em questão é a 42 (figura 6.5).

A figura 6.6 apresenta o quinto ponto de controle, com as células 769 e 28 sendo as células observadas, localizadas após a confluência das sub-bacias dos rios Jacó, Perdido, Andaraí e Urubus, na parte média-alta da bacia, na região do bairro do Andaraí próximo ao Shopping Iguatemi, correspondendo, respectivamente, à planície do rio Joana e ao rio Joana a céu aberto.

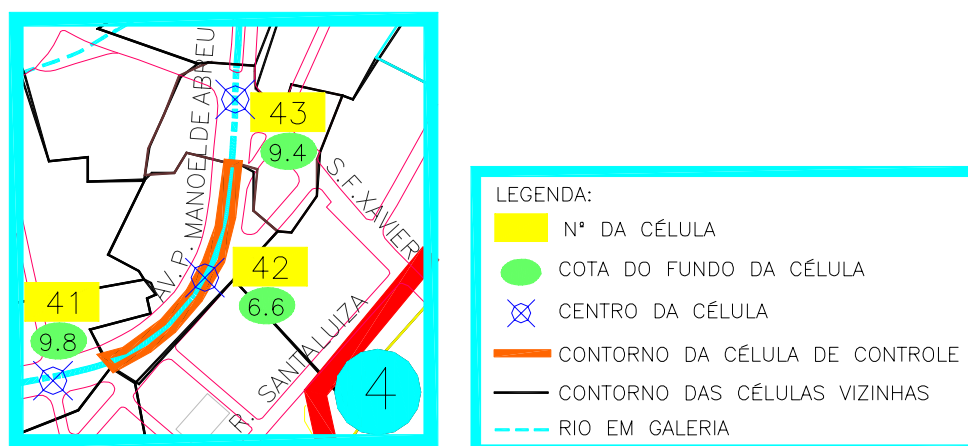


Figura 6.5 - Célula de controle 42 localizada na parte baixa da bacia.

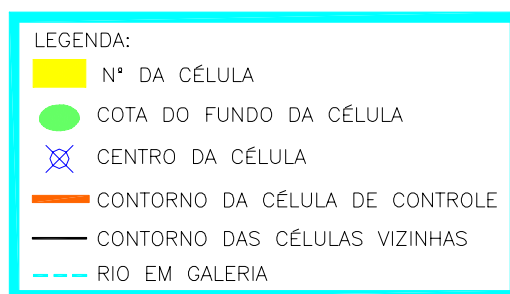
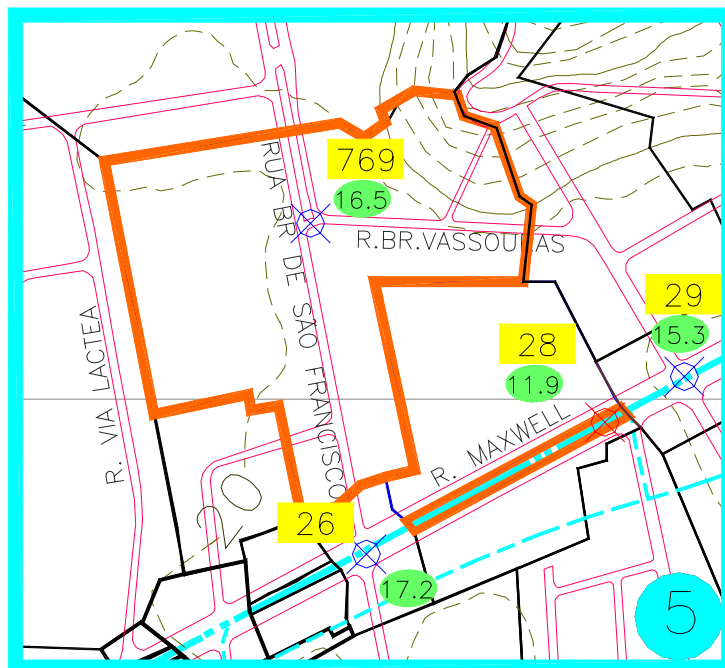


Figura 6.6 - Células de controle 28 e 769 localizadas na parte média-alta da bacia.

O ponto de controle número 6 corresponde a um local mais a jusante do que àquele representado pelo ponto de controle anterior, localizado na rua Maxwell, na planície do rio Joana, no trecho entre as ruas Uruguai e Amaral, próximo ao supermercado Boulevard/Extra (figura 6.7).

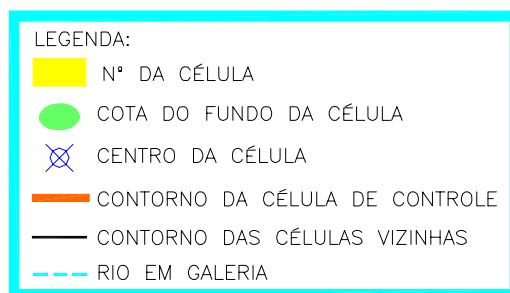
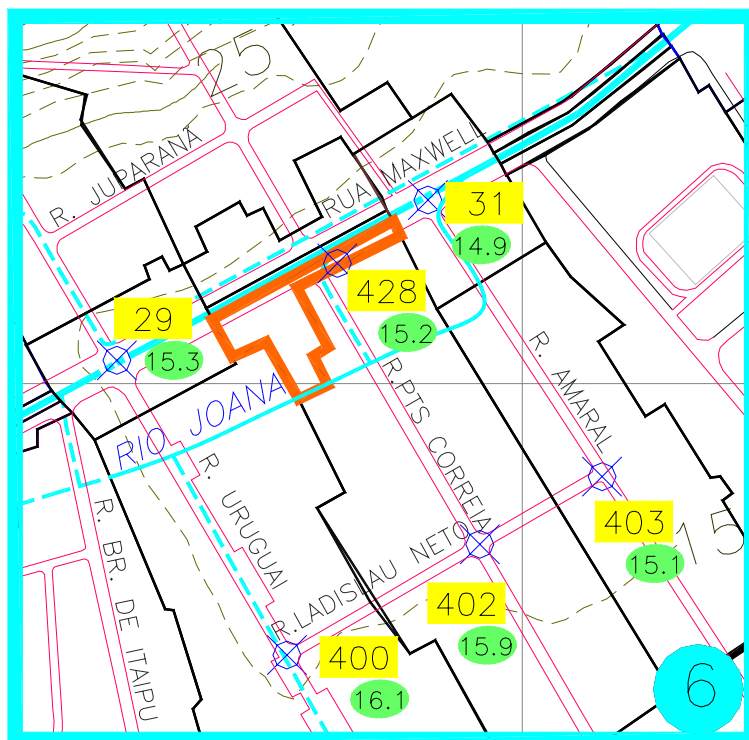


Figura 6.7 - Célula de controle 428 localizada na parte média da bacia.

O sétimo e último ponto de controle escolhido corresponde a planície do rio Joana, localizada após a confluência dos rios Jacó e Perdido, formadores do rio Joana e do rio Andaraí, na parte alta da bacia, na esquina das ruas Barão de Mesquita com Paula Brito, região próxima a favela do Andaraí (figura 6.8)

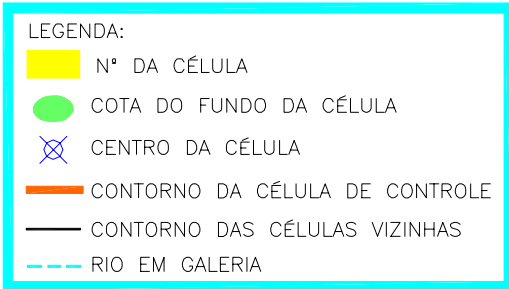
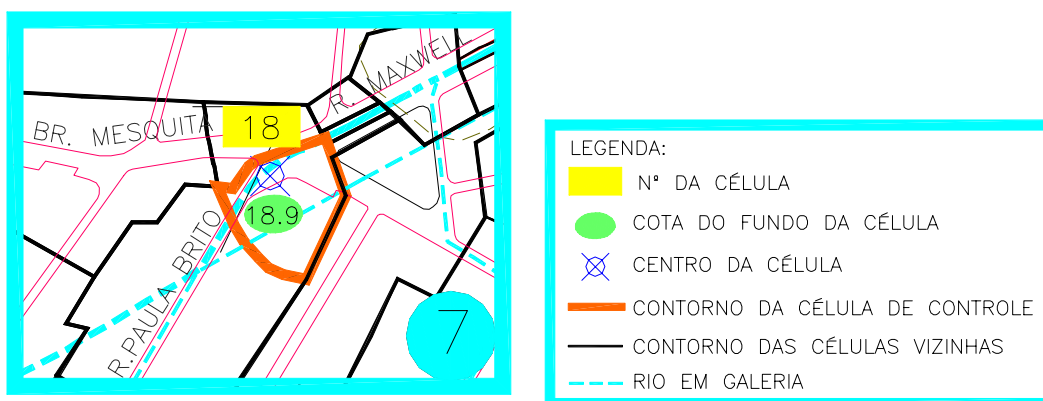


Figura 6.8 - Célula de controle 18 localizada na parte alta da bacia.

6.2. Simulação de cenários de intervenções propostas individualmente

6.2.1. Reservatórios de encosta

Os reservatórios projetados para a bacia do rio Joana, pelo que se pode observar nos gráficos apresentados a seguir, em função dos altos níveis de alagamento que ocorrem na situação atual e de seu volume útil, diminuem significativamente os alagamentos na planície urbana localizada próxima aos mesmos, embora não propague significativamente seus efeitos benéficos de amortecimento de cheia por grandes extensões, diminuindo paulatinamente estes efeitos até a saída da bacia. Isto decorre do fato de que grandes alagamentos ocorrem hoje nas planícies do rio Joana e, como resultado, a melhoria em calha só passa a ser sentida quando estes alagamentos são minimizados de forma generalizada. Outra causa desta observação, relacionada à diminuição dos efeitos dos reservatórios de encosta para jusante, decorre da própria incorporação de áreas não protegidas por reservatório algum à medida que a área de drenagem vai aumentando ao se avançar em direção ao exutório da bacia, como se pode observar nos cotogramas dos pontos de controle distribuídos ao longo da bacia do rio Joana descritos no item 6.1.

No ponto de controle número 7 (P7), evidencia-se uma redução de 40cm no nível d'água de pico da cheia, decorrente do funcionamento a contento destes reservatórios nesta região da planície urbana localizada a montante da bacia, embora com a evidência de um alagamento significativo decorrente da incorporação de áreas de encosta que não foram protegidas e pela própria produção local de escoamento. Nesta região, pela margem direita do rio Joana, existem várias ocupações irregulares de encostas (figura 6.9).

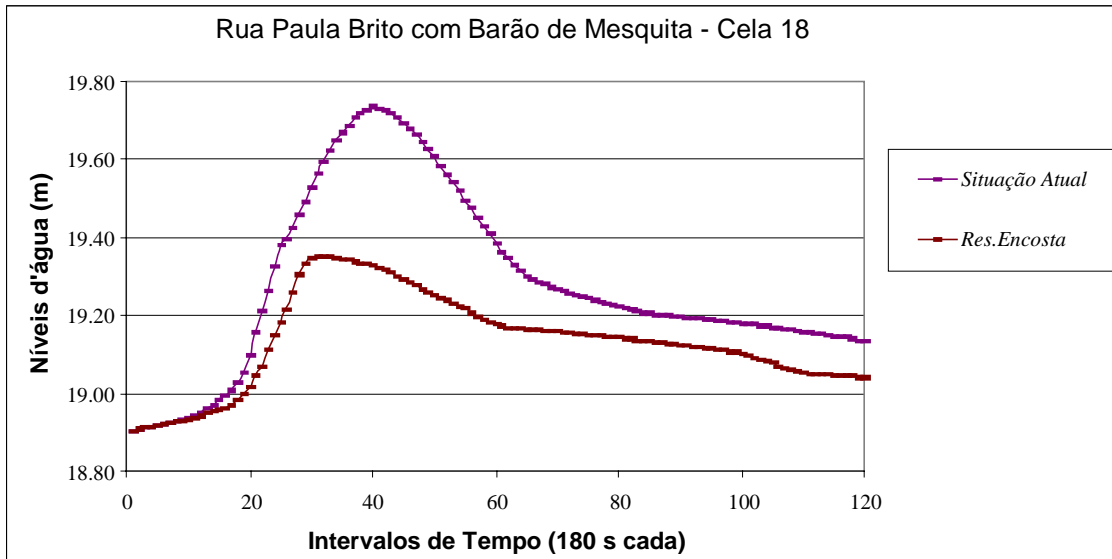


Figura 6.9 - Planície do rio Joana. Célula localizada um pouco mais distante dos reservatórios Perdido e Jacó e próximo ao do Andaraí.

Na região de montante da sub-bacia do rio Urubus, representada pelo ponto de controle número 2 (P2), em célula localizada próximo ao reservatório do Recanto do Trovador, observa-se a redução de aproximadamente 10cm do nível d'água no pico da cheia decorrente do funcionamento a contento deste reservatório, também nesta região, mesmo com o aporte de uma transposição de vazões vinda de bacia vizinha, ao norte, através do sistema de drenagem da estrada Grajaú-Jacarepaguá (figura 6.10).

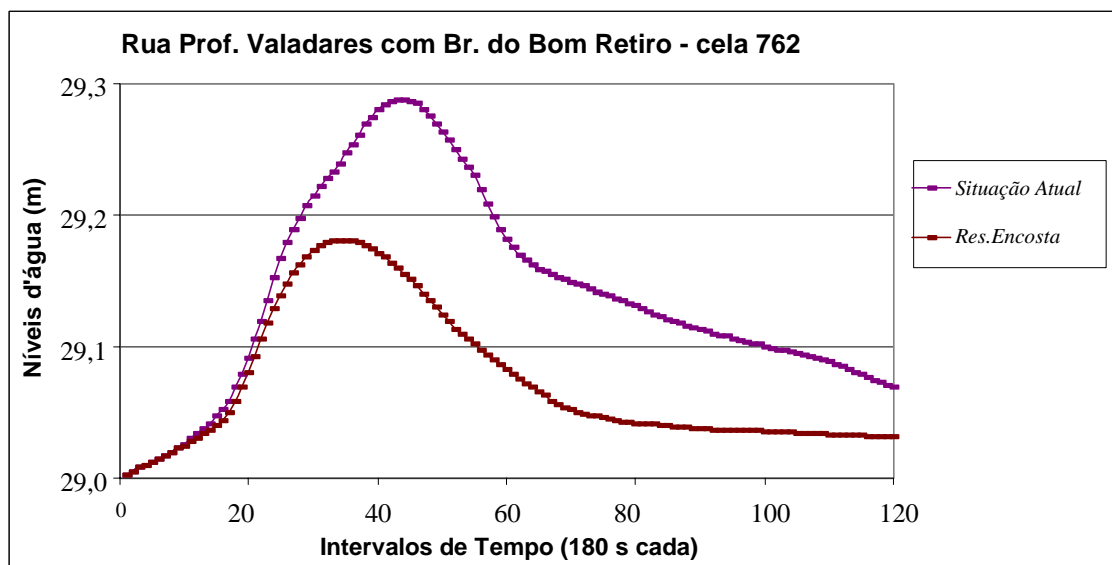


Figura 6.10 - Planície do rio Joana. Célula localizada próximo ao reservatório do Recanto do Trovador, na sub-bacia do rio Urubus.

Caminhando em direção ao exutório da bacia, em célula localizada mais distante do reservatório de encosta do Recanto do Trovador, na região média-alta da bacia correspondente ao quinto ponto de controle (P5), evidencia-se a redução de 20cm nos

alagamentos nesta região, embora com a manifestação de um grande alagamento decorrente da incorporação de vazões de áreas da planície urbana que não foram protegidas à medida que nos distanciamos das encostas (figura 6.11).

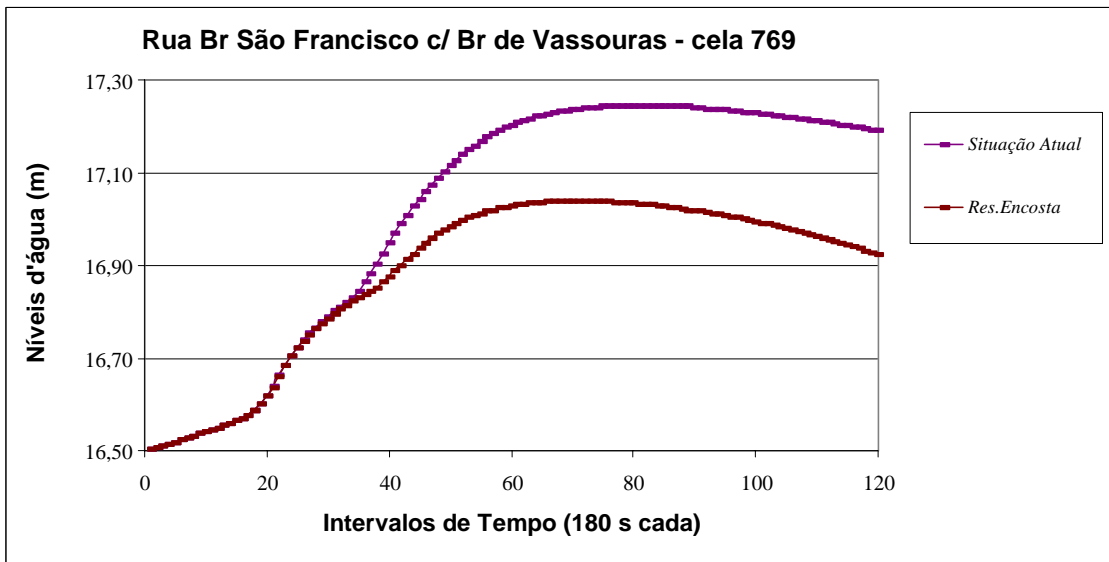


Figura 6.11 - Planície do rio Joana. Célula localizada relativamente distante do reservatório do Recanto do Trovador, na sub-bacia do rio Urubus.

Observando P5 na célula 28, percebe-se que a soma dos efeitos dos reservatórios na calha do rio Joana escoando a céu aberto produz uma relativa eficiência com uma redução de 30cm do nível d'água na calha do rio no pico da cheia (figura 6.12).

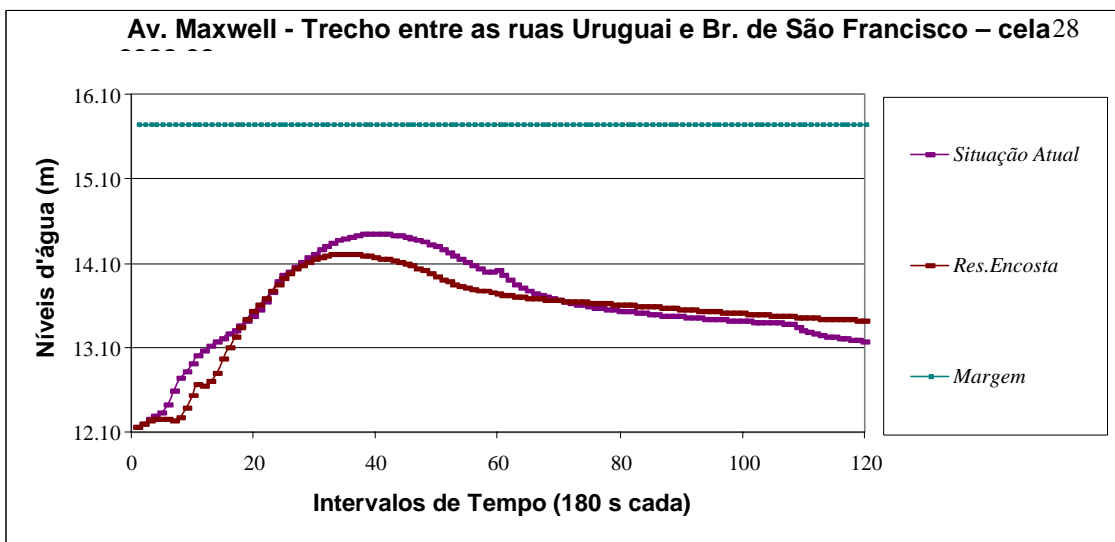


Figura 6.12 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No trecho médio da bacia representada pelo ponto de controle número 6 (P6), denota-se a pouca redução dos alagamentos devido à grande distância que separa este ponto dos reservatórios, embora ainda dentro da área de influência dos mesmos, demonstrado pela

diminuição do tempo de permanência do pico da cheia, como pode ser visto na figura 6.13.

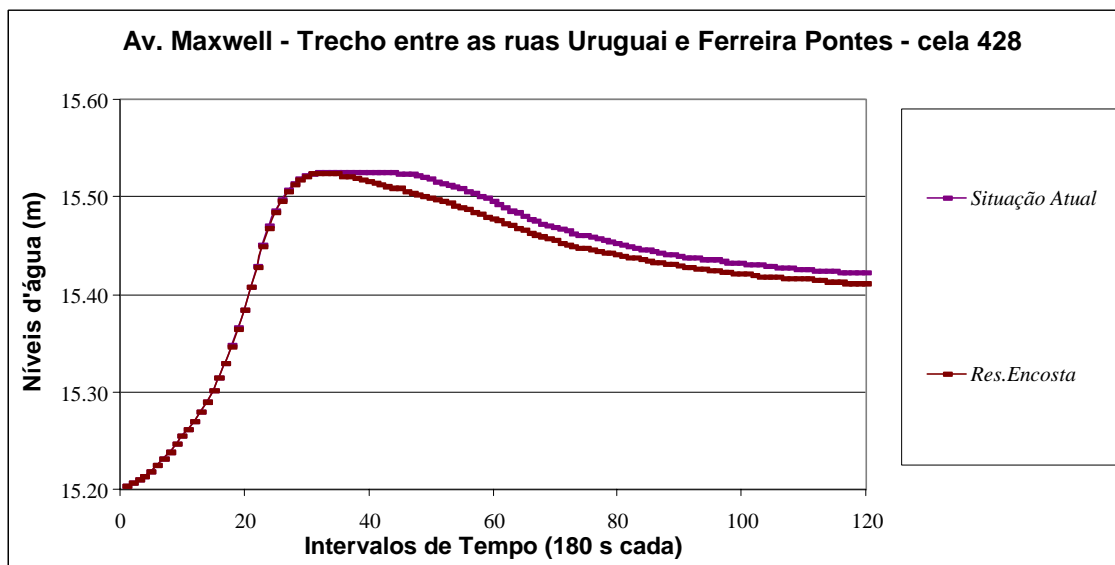


Figura 6.13 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada distante dos reservatórios Perdido, Jacó, Recanto do Trovador e do Andaraí.

No trecho localizado mais próximo ao terço inferior da bacia, correspondente ao ponto de controle 3 (P3), pode-se observar, ainda, uma relativa eficiência, com uma redução de 30 cm do nível d'água na calha do rio no pico da cheia (figura 6.14).

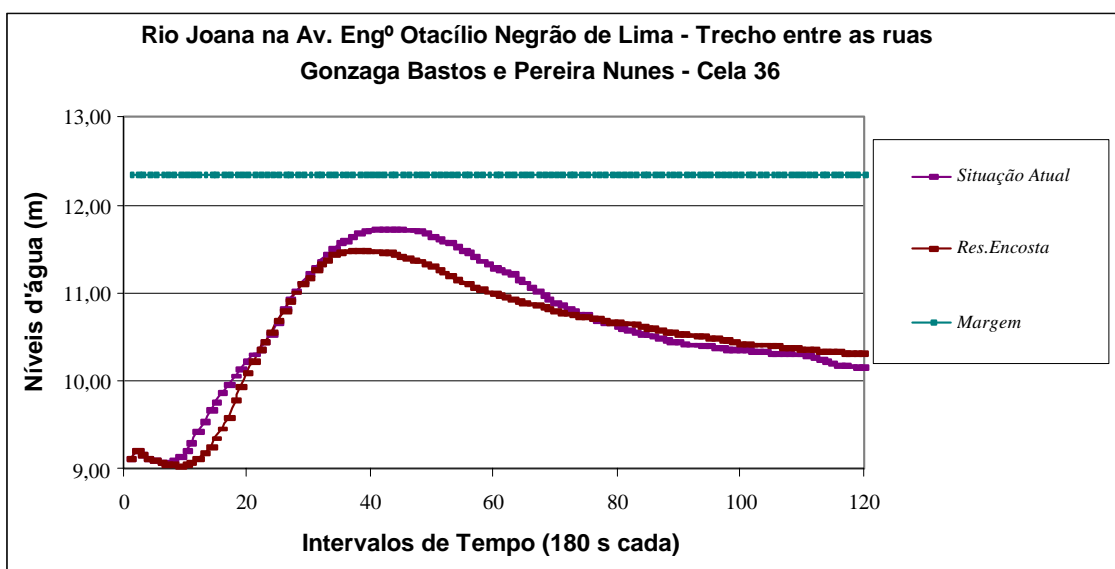


Figura 6.14 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

Após a saída do rio Joana em galeria na Av. Professor Manuel de Abreu, já no terço inferior da bacia em região correspondente ao ponto de controle 4 (P4), próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel, verifica-se uma pequena

antecipação no pico da cheia, por conta da incorporação de vazões oriundas do afogamento da galeria da rua Visconde de Santa Isabel nesta região que recebe as descargas do reservatório do Recanto do Trovador (figura 6.15).

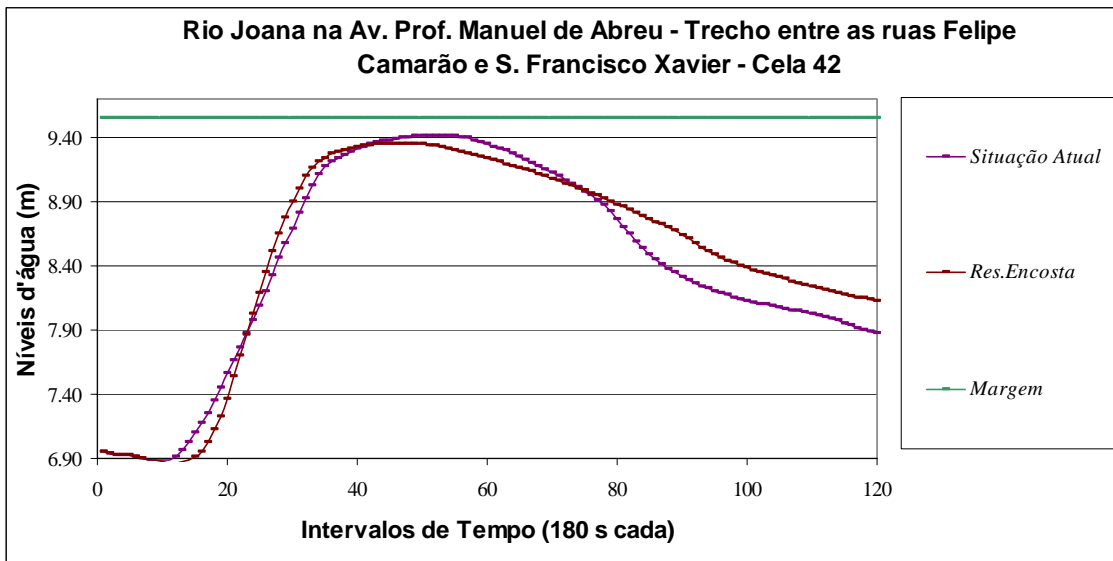


Figura 6.15 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

A situação da planície urbana na região correspondente a P3, localizada bem distante dos 4 reservatórios projetados é crítica. Pode-se observar a manutenção dos alagamentos que já ocorriam antes das intervenções nesta região, devido a incorporação de vazões oriundas do afogamento da galeria da rua Visconde de Santa Isabel nesta região e daqueles escoamentos que não foram amortecidos pelos reservatórios (figura 6.16).

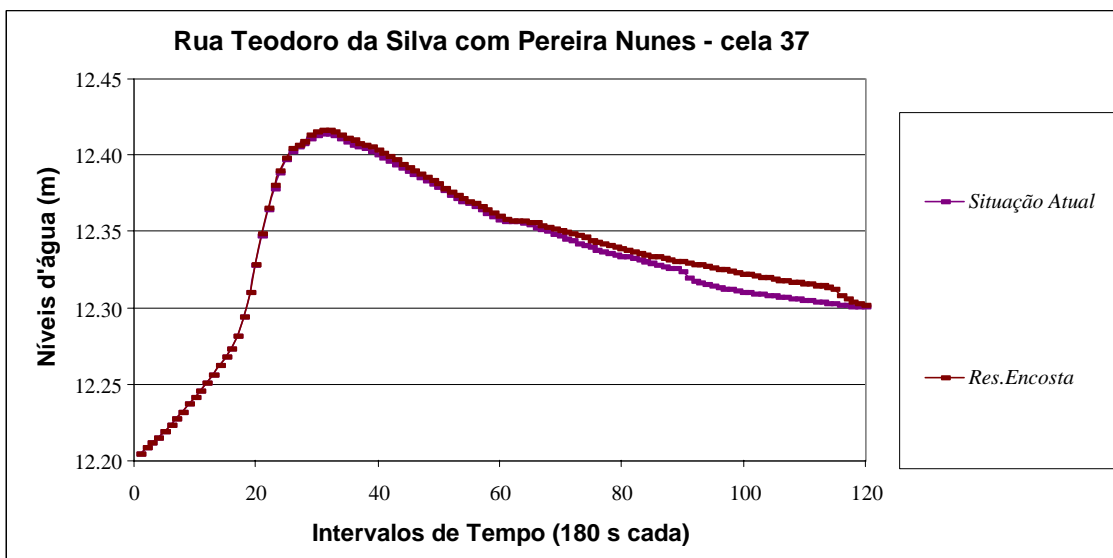


Figura 6.16 - Planície do rio Joana. Célula localizada bem distante dos reservatórios Perdido, Jacó, Recanto do Trovador e do Andaraí.

No trecho final da bacia em região correspondente ao ponto de controle número 1 (P1), após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem, nota-se que os reservatórios não apresentam reduções significativas do nível d'água na calha (figura 6.17). A combinação de efeitos proporcionada pela modificação dos tempos de viagens das águas que foram armazenadas pelo reservatório de encosta do Recanto do Trovador vindas de várias encostas no bairro de Vila Isabel, que anteriormente corriam livremente para as ruas e lá se acumulavam de forma generalizada, percorrendo caminhos diversos, e agora são disponibilizadas de forma concentrada e potencializada na galeria da rua Visconde de Santa Isabel, geram uma pequena antecipação e achatamento do pico do cotograma.

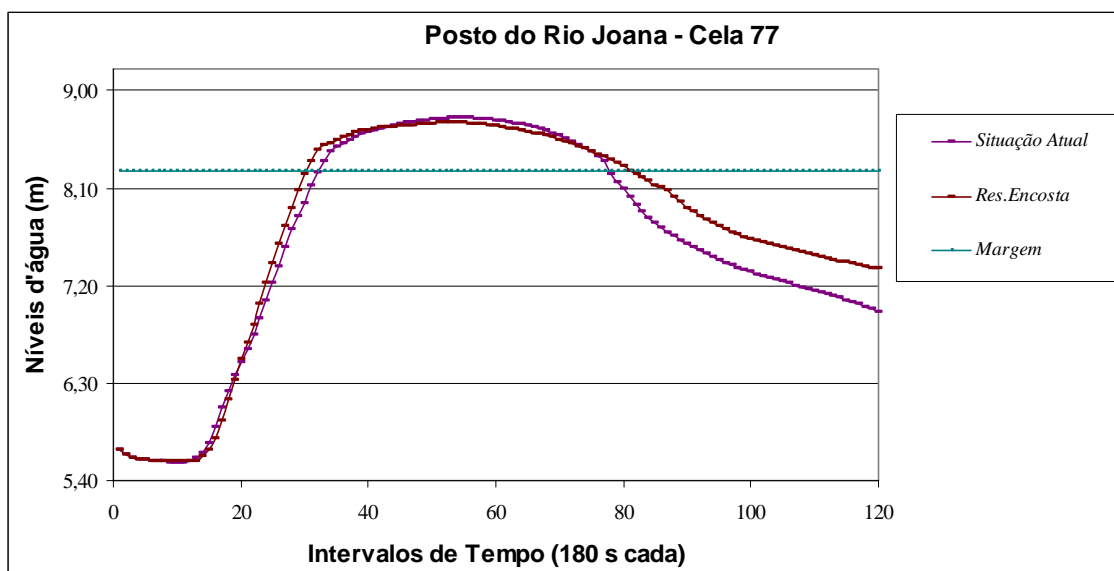


Figura 6.17 - Rio Joana saindo de galeria e escoando a céu aberto, próximo a sua foz no rio Maracanã.

A situação da planície urbana no P1 é crítica, mostrando que nesta região os reservatórios combinam efeitos que não se traduzem em benefícios concretos, apresentando, a esta altura, reduções de alagamento da ordem de 5cm (figura 6.18).

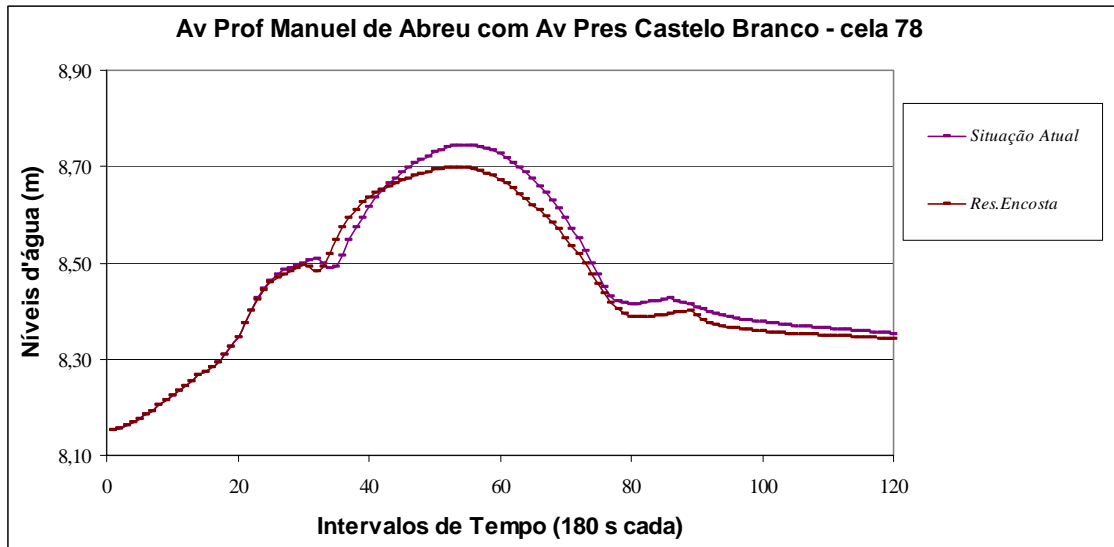


Figura 6.18 - Planície do rio Joana em seu terço final, célula adjacente à célula 77.

Tendo sido analisado o comportamento dos reservatórios projetados para a bacia do rio Joana nos pontos de controle, escolhidos como críticos em termos de alagamento, observa-se que mesmo com a introdução destas medidas mitigadoras, os alagamentos ainda foram significativos em várias regiões. Quando se compara de forma sistêmica a condição pregressa de alagamentos na bacia com a da modificada pelos reservatórios, percebe-se que ocorre uma troca: a área urbana que, alagada, funcionava como um reservatório temporário indesejável, passa a alagar menos, ficando este volume retido no reservatório de encosta, gerando grandes benefícios locais, embora os propagando para jusante por extensões menores do que as desejáveis.

6.2.2. Reflorestamento

Em função da situação pregressa de alagamentos de sua planície, o reflorestamento preconizado para as encostas do rio Urubus, sub-bacia do rio Joana, com as encostas ocupando uma área de 1,4 km², apresentando uma cobertura vegetal relativamente densa em alguns pontos, mostra resultados apenas regulares de redução de alagamentos na planície urbana localizada em seu terço inicial, melhorando sua performance à medida que nos aproximamos do terço médio da bacia. As células 165, 168 e 174, que correspondem à região mais alta da sub-bacia, têm coeficiente de run-off em torno de 0,5 como pode ser observado na tabela 1 no item 5.3. Já as células 188, 189, 192 e 194, que correspondem ao terço médio da sub-bacia, possuem coeficiente de run-off de 0,65, em média, devido a favela do Morro dos Macacos. Portanto ao mudarmos os respectivos coeficientes para 0,30 seria natural que a região inferior apresentasse melhores resultados.

As encostas do rio Perdido e Jacó, formadoras do rio Joana, mesmo já possuindo uma cobertura vegetal expressiva, apresentam resultados mais satisfatórios de redução de alagamentos no terço de montante, devido sua área ser maior (2,6 km²) quando comparada com as encostas formadoras do rio Urubus. Soma-se a isto, o fato da encosta do morro do Andaraí, que possui uma área de 1,2 km², estar hoje parcialmente ocupada por favela, possuindo alto coeficiente de run-off, como pode ser notado nas células 187, 368, 856 e 1309 que correspondem a este trecho. Portanto, a ação de reflorestamento nesta região é muita benéfica em termos de redução de alagamento.

No terço final da bacia, onde os efeitos destas diferentes encostas se somam, benefícios ainda são adquiridos de forma satisfatória como se pode observar a partir da análise dos pontos de controle apresentados na seqüência.

Em P7, nota-se uma redução de 15 cm do nível d'água no pico da cheia decorrente, principalmente, do reflorestamento das encostas do rio Andaraí, embora com a verificação de um alagamento ainda significativo devido provavelmente a efeitos locais (figura 6.19). Nesta região próxima ao rio Andaraí, pela margem direita do rio Joana, existem várias ocupações irregulares de encostas que, com a ação do reflorestamento, passam a retirar a água do sistema de drenagem durante a passagem da cheia.

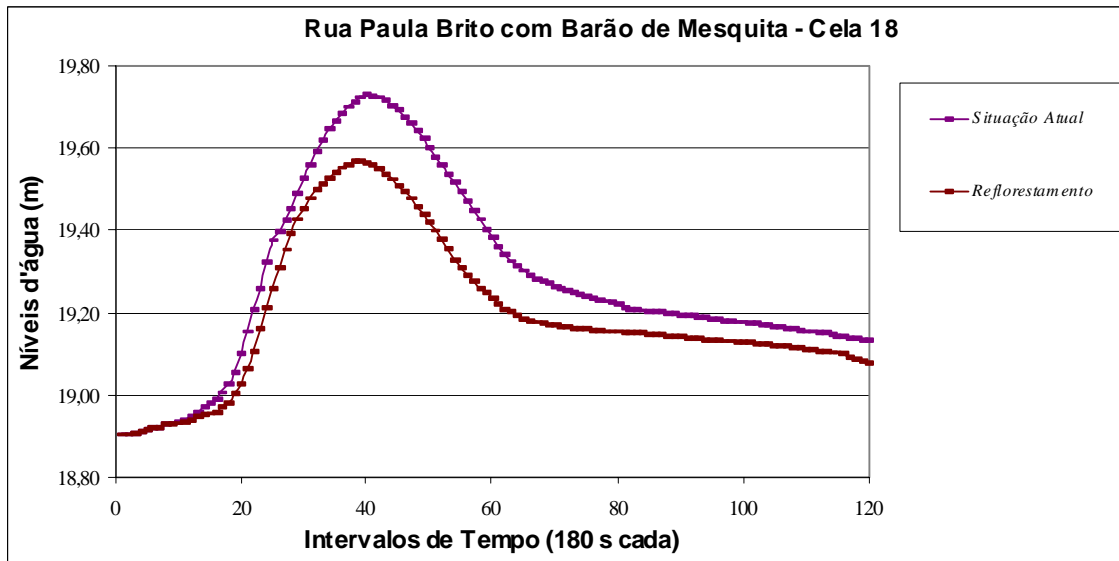


Figura 6.19 - Planície do rio Joana. Célula localizada um pouco mais distante das encostas do rio Perdido e Jacó e próxima à do Andaraí.

Em P2, em célula localizada próximo ao parque Recanto do Trovador, observa-se uma relativa redução do pico da cheia e uma boa redução de volume total escoado (figura 6.20). Contudo, por si só, esta intervenção não resolve os problemas de alagamento nesta região, sendo, entretanto, uma atraente medida que pode ser complementada com outra pelo fato de retirar água do sistema e retorna-la muito depois da passagem da cheia, contribuindo para a função de recarga de lençóis subterrâneos.

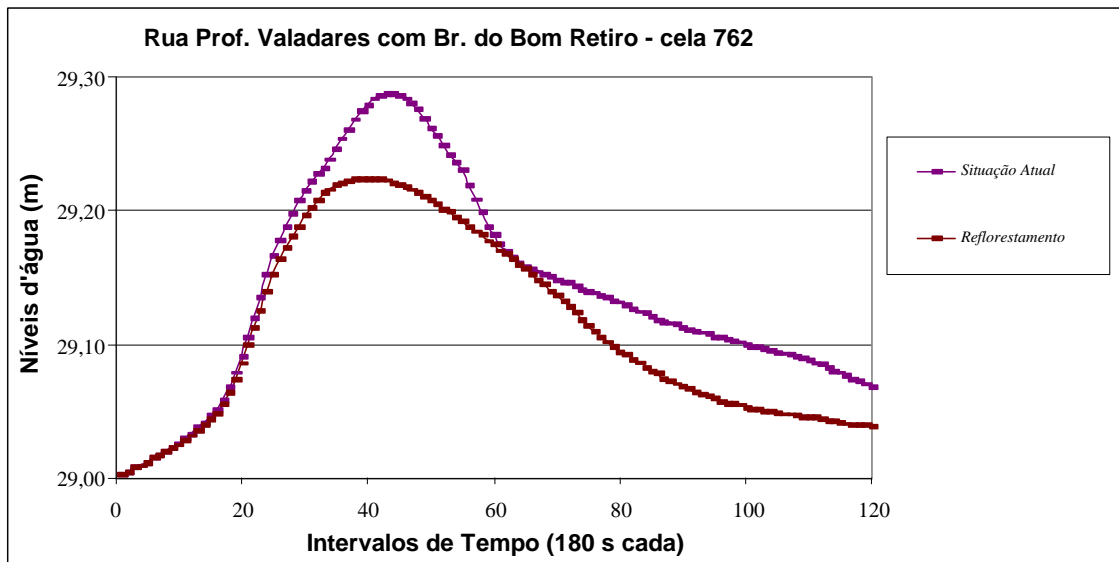


Figura 6.20 - Planície do rio Joana em seu terço inicial. Célula localizada próxima à encosta do Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

No P5, em região localizada mais distante das encostas reflorestadas, na sub-bacia do rio Urubus, nota-se uma redução de 15cm dos alagamentos nesta região embora com a

incidência de um alagamento significativo devido à chuva que cai no próprio local, à medida que se afasta das encostas (figura 6.21).

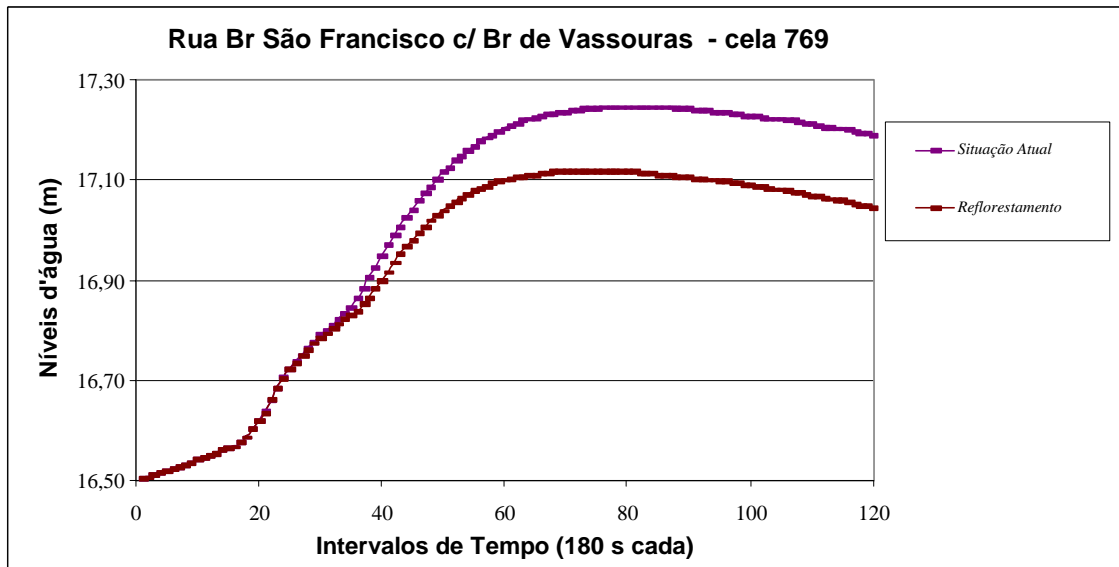


Figura 6.21 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada próxima à encosta do Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

Observando a calha do rio no terço médio da bacia no P5, verifica-se a soma dos efeitos dos reflorestamentos no rio Joana escoando a céu aberto, demonstrando uma relativa eficiência com a redução de 30cm do nível d'água na calha do rio no pico da cheia (figura 6.22).

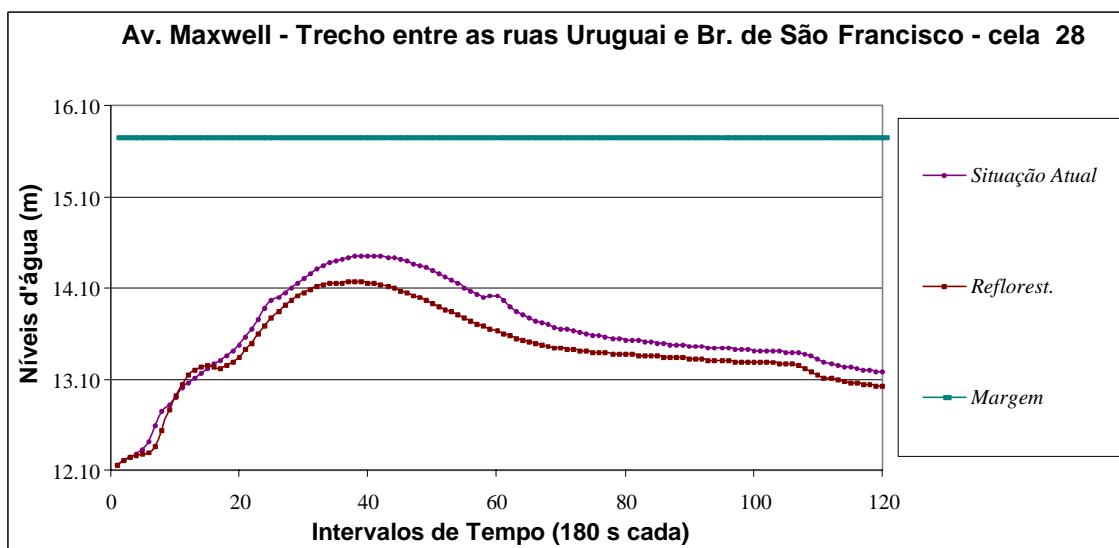


Figura 6.22 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No P6, em célula localizada distante dos reflorestamentos, evidencia-se a pouca redução dos alagamentos nesta região devido à grande distância que separa este ponto da ação

do reflorestamento e à incorporação de vazões oriundas da margem direita do rio Joana no trecho que não teve suas encostas reflorestadas (figura 6.23).

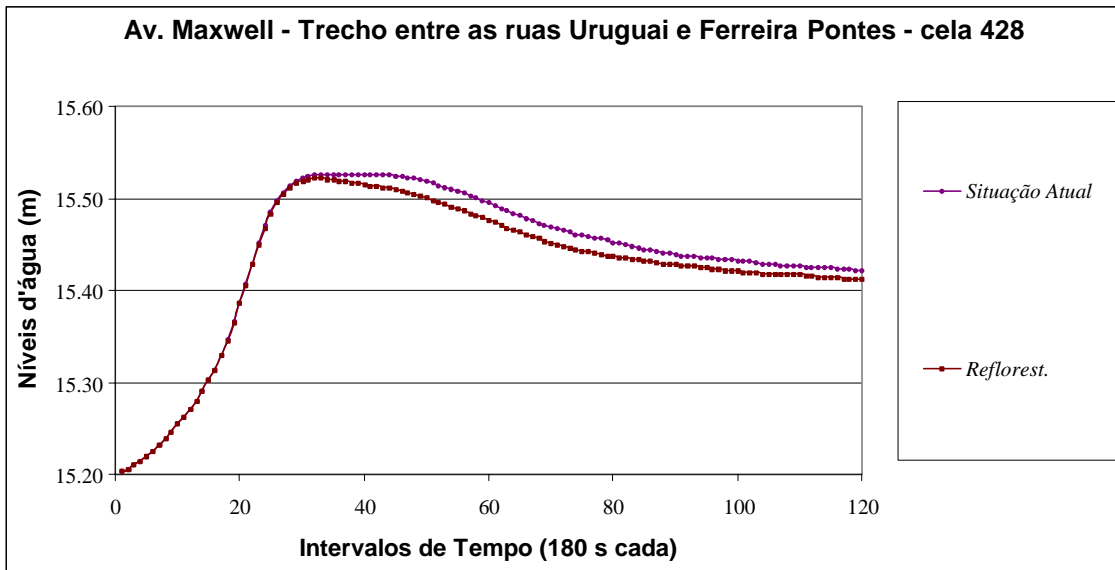


Figura 6.23 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada distante à ação dos reflorestamentos.

No P3, em célula localizada mais próxima ao terço inferior da bacia, pode-se observar uma relativa eficiência com uma redução de aproximadamente 30cm do nível de água na calha do rio, por conta da soma dos efeitos benéficos proporcionados por todos os reflorestamentos projetados na bacia (figura 6.24).

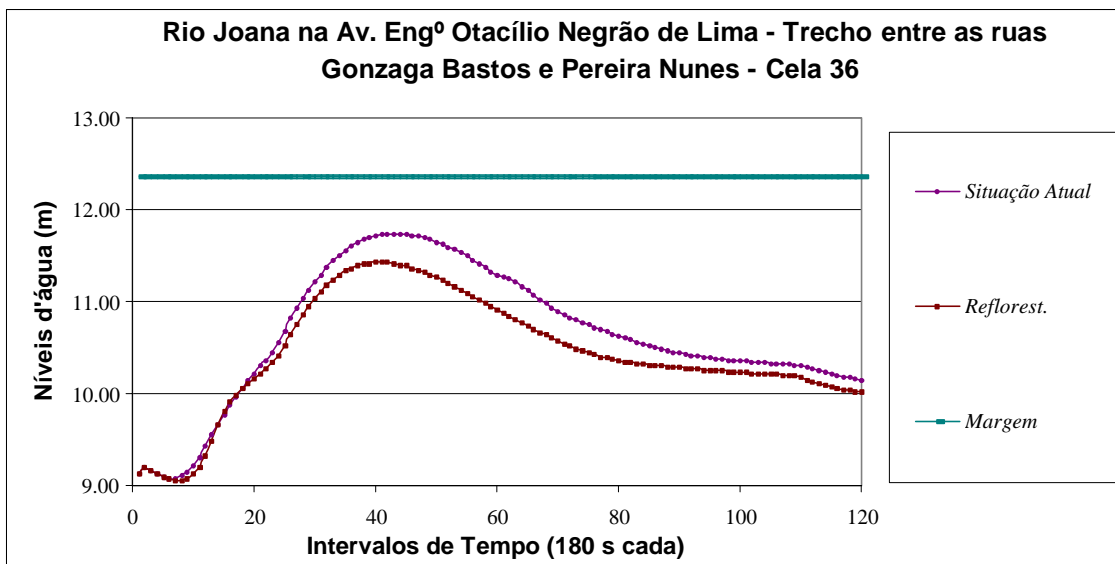


Figura 6.24 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

A situação da planície urbana no P3 é crítica, em termos de alagamento, devido à vazões oriundas de regiões da planície urbana localizadas próximas a esta célula que não foram reflorestadas (figura 6.25).

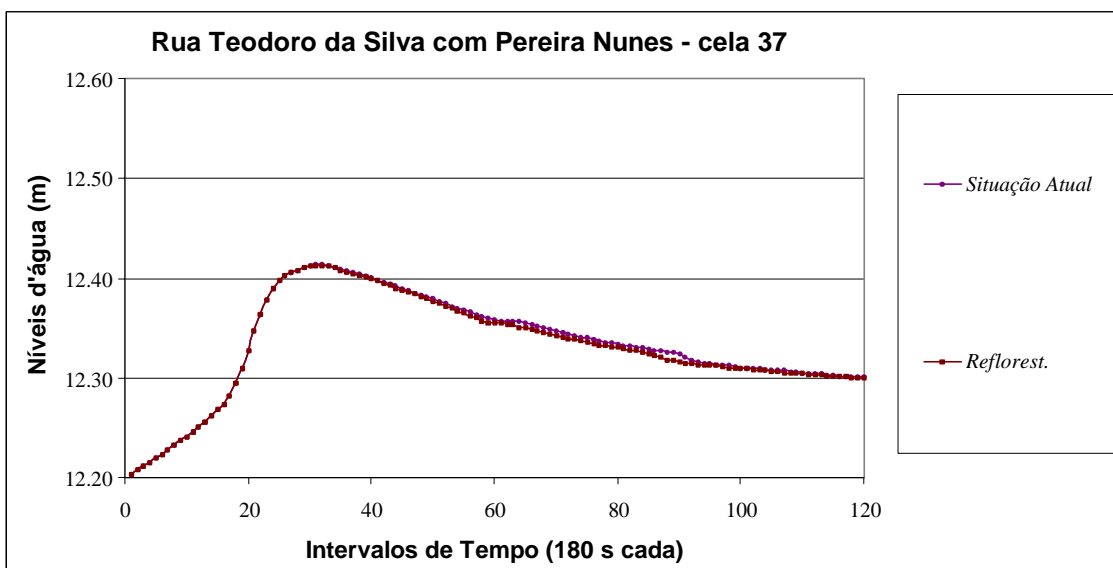


Figura 6.25 - Planície do rio Joana. Célula localizada distante à ação dos reflorestamentos.

Após a saída do rio Joana em galeria na Av. Professor Manuel de Abreu, já no terço inferior da bacia no P4, próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel, nota-se uma redução de 20cm no pico da cheia e uma boa redução de volume total escoado de água na calha durante a passagem da cheia (figura 6.26).

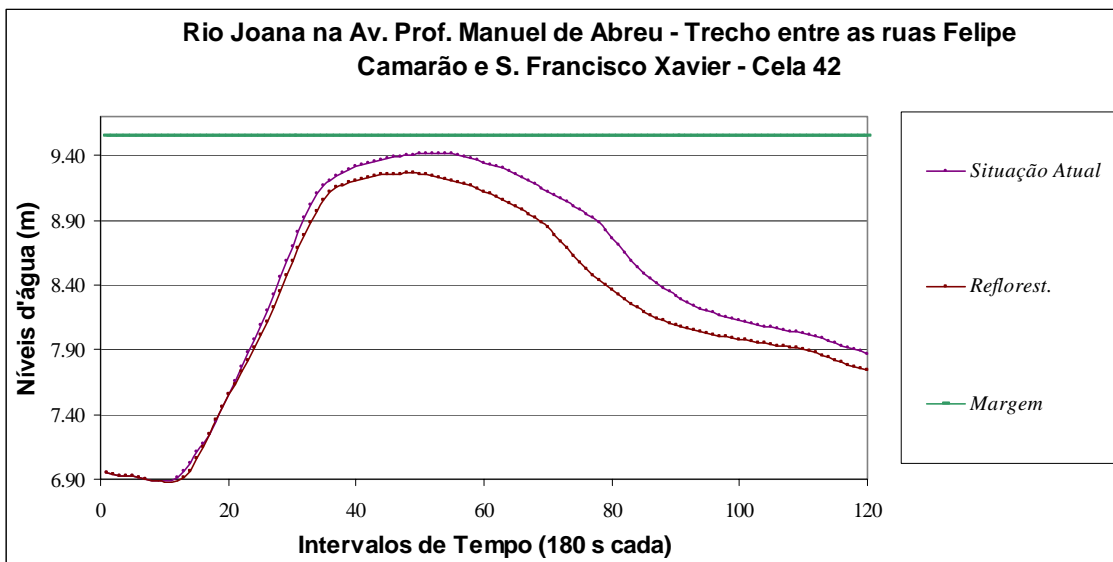


Figura 6.26 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

No trecho final da bacia, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem no P1, com volumes reduzidos pelo efeito do reflorestamento em encostas no bairro de Vila Isabel, notam-se reduções significativas no volume total escoado e de 15cm no nível d'água na calha (figura 6.27).

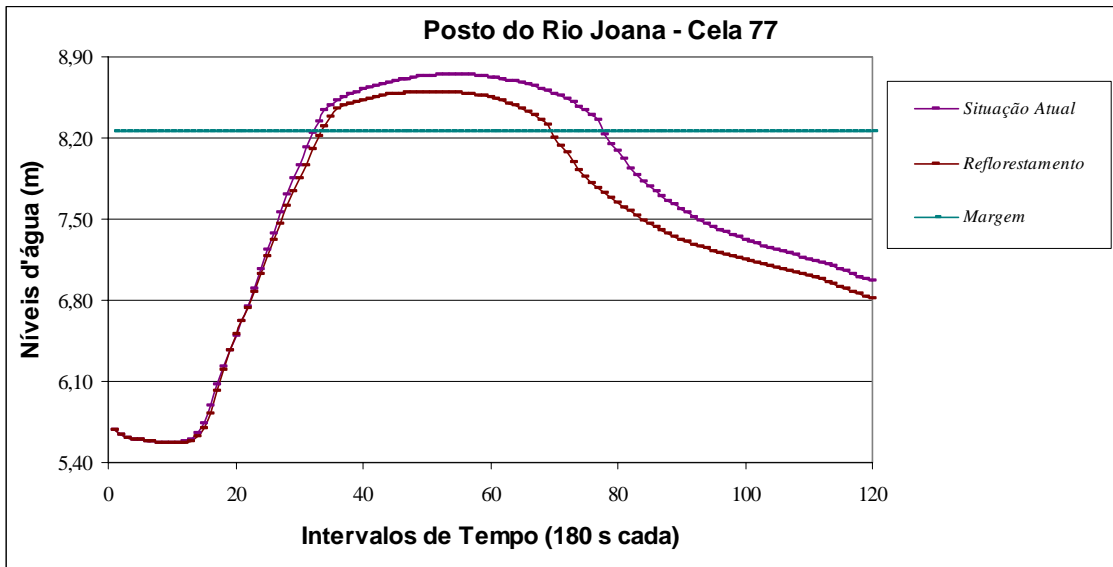


Figura 6.27 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem.

A situação da planície urbana no P1, embora crítica, mostra que os reflorestamentos preconizados para a bacia combinam efeitos que se traduzem em benefícios concretos de redução de pico, da ordem de 30cm, e de volume total escoado durante a passagem da cheia, embora apresente ainda grande alagamento na rua, que não foi possível ser controlado apenas por esta medida, por ser um alagamento que teve origem fora das encostas reflorestadas, com águas que precipitaram e escoaram na própria planície urbana e a partir do próprio vertimento do rio Joana no trecho (figura 6.28).

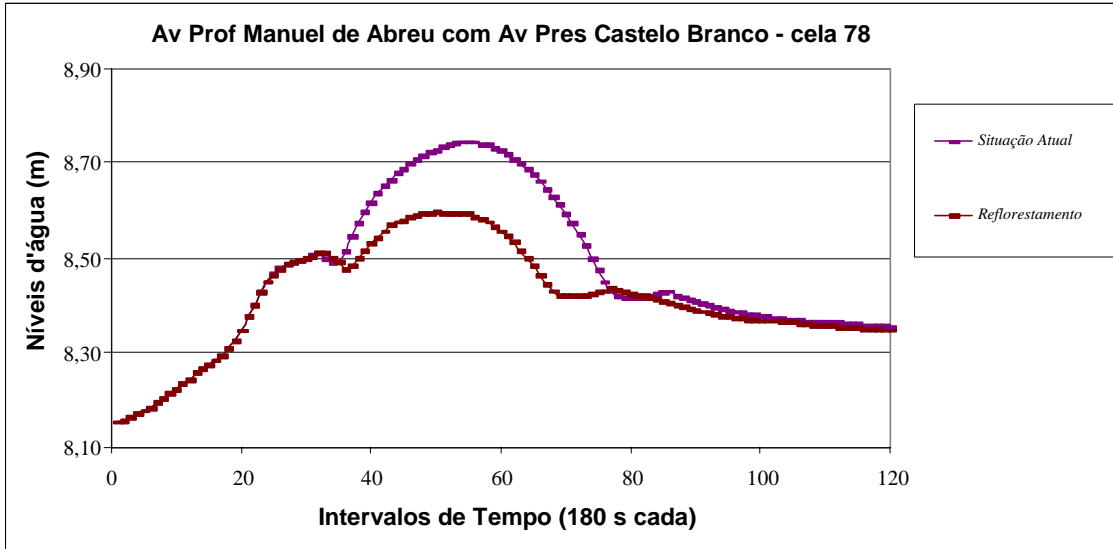


Figura 6.28 - Planície do rio Joana em seu terço final, célula localizada logo adiante da célula 77, relativa ao posto fluviométrico do rio.

Tendo sido analisado o comportamento dos reflorestamentos projetados para a bacia do rio Joana nos pontos de controle escolhidos para observação de alagamentos, percebe-se que mesmo com a introdução destas medidas mitigadoras, ainda permanecem alagamentos significativos. Quando se compara de forma sistêmica a condição pregressa de alagamentos na bacia com a da modificada pelos reflorestamentos nota-se que aqui, assim como nos reservatórios de encosta, também ocorre uma troca: a área urbana que, alagada, funcionava como um reservatório temporário indesejável, passa a alagar menos, ficando este volume retido nas encostas reflorestadas, gerando benefícios que se distribuem na planície urbana e são razoavelmente propagados para jusante por grandes extensões durante a passagem da cheia.

6.2.3. Reservatórios em praças

Os reservatórios em praças projetados na bacia do rio Joana encontram-se espacialmente distribuídos na malha urbana, conforme pode ser visto e identificado na figura 5.3. Na parte alta da bacia, nas bordas dessa malha, os reservatórios em praças ficam sujeitos a contribuições não controladas de grandes áreas de encosta que, aliados a condição pregressa de funcionamento da rede de drenagem e ao seu moderado volume útil, faz com que a resposta destes dispositivos seja menos sentida nessa região. Já na parte média-baixa da bacia, onde as contribuições chegam de modo mais controlado, tendo inclusive ficado parcialmente retidas na malha de reservatórios, estes funcionam a contento e em sintonia com a rede de micro-drenagem. A planície urbana apresenta níveis de alagamentos bem reduzidos quando comparados com a situação atual. Na parte baixa, entretanto, onde há extravasamento da calha, a praça localizada nesta região tem seu funcionamento totalmente comprometido.

No P7, embora ocorra uma pequena redução do pico da cheia devido à incorporação de vazões que não foram amortecidas pelos reservatórios das praças Nobel e Professor Francisco Lauria, observa-se uma significativa redução dos alagamentos nesta região da planície urbana localizada a montante da bacia (figura 6.29), devido à redistribuição do volume total escoado durante a passagem da cheia para intervalos de tempo superiores aos simulados nesta Tese, ficando este volume retido nestas praças e liberados paulatinamente, em função dos dispositivos de saída, nas galerias das redes de macrodrenagem.

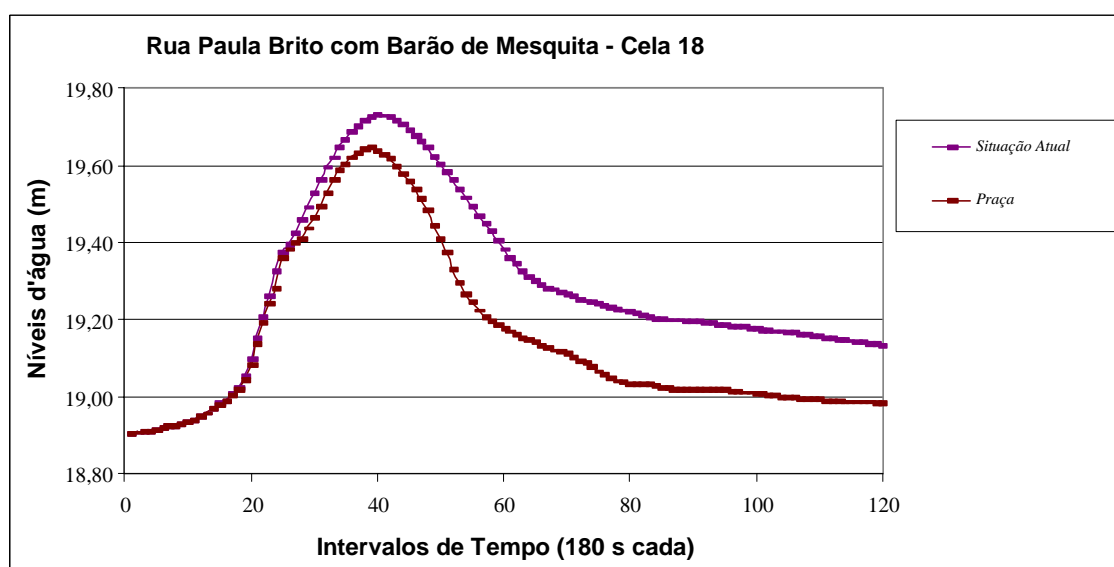


Figura 6.29 - Planície do rio Joana próximo ao limite de seu terço inicial.

No P2, em célula localizada próximo aos reservatórios da praça Edmundo Rego e do Parque Recanto do Trovador, e adjacente ao da praça Malvino Reis, evidencia-se uma boa redução do pico da cheia e uma redistribuição do volume total escoado (figura 6.30), mesmo com o aporte de uma transposição de vazões vinda da bacia vizinha, ao norte, através do sistema de drenagem da estrada Grajaú-Jacarepaguá. Contudo, por si só, estas intervenções não resolvem os problemas de alagamento nesta região, sendo, entretanto, uma atraente medida ao atuar no pico da cheia, quando os transtornos causados à população são máximos e num momento em que as praças e parques não são utilizados.

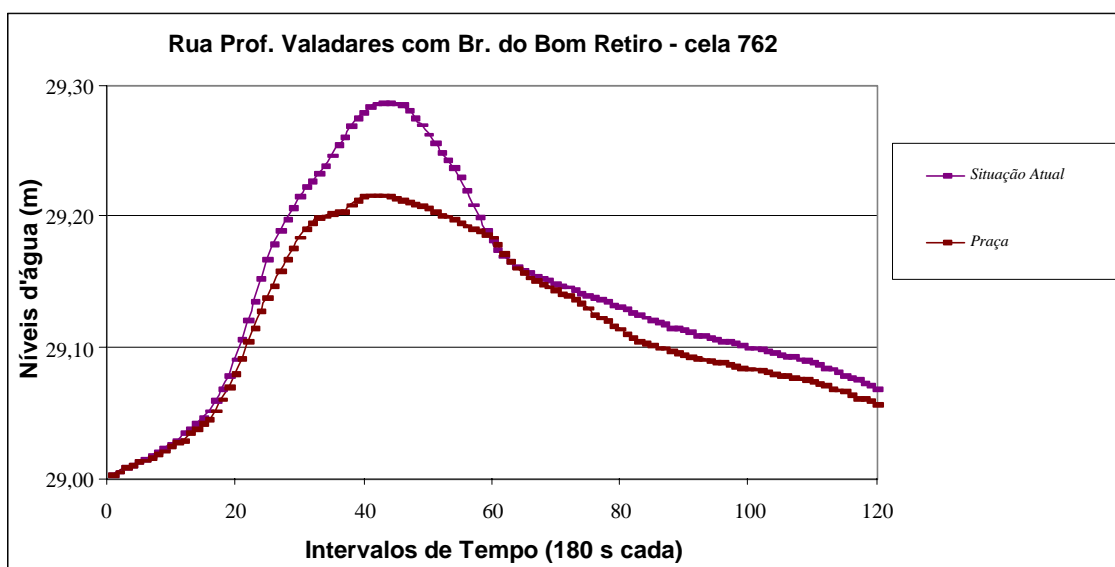


Figura 6.30 - Planície do rio Joana em seu terço inicial.

No P5, localizado próximo ao reservatório da praça Barão de Drumond, na sub-bacia do rio Urubus, observa-se uma significativa redução dos alagamentos. Isto decorre da combinação de efeitos proporcionados pela redução do tempo de viagem das águas armazenadas pelos reservatórios de montante e do próprio efeito deste reservatório. Há, entretanto, por outro lado, a evidência de um grande alagamento decorrente da incorporação de vazões de áreas da planície urbana que não foram protegidas pelos reservatórios localizados à montante da praça Barão de Drumond, mostrando um descompasso entre as áreas que foram protegidas e as que não foram protegidas pelos reservatórios, ficando o saldo sobre as ruas e gerando grandes alagamentos (figura 6.31). Destaca-se que este é um ponto baixo da topografia local, propenso ao acúmulo das águas vindas de áreas vizinhas.

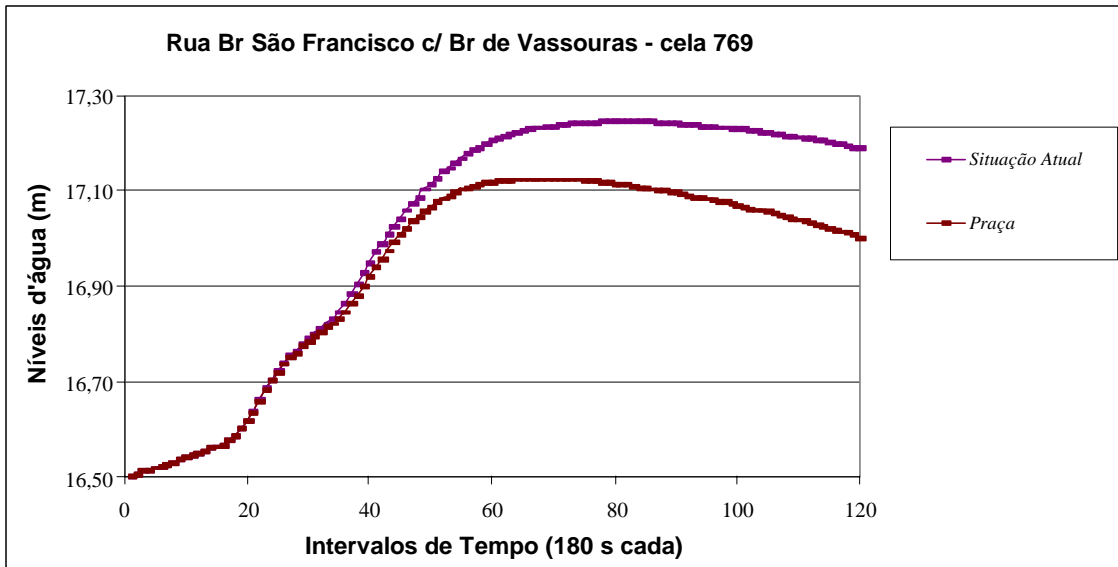


Figura 6.31 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

Observando a calha do rio Joana em P5 no terço médio da bacia, nota-se a soma dos efeitos dos reservatórios no rio Joana escoando a céu aberto e evidencia-se uma baixa eficiência na redução do nível d'água no pico da cheia, com uma redistribuição no volume total escoado em tempos posteriores ao término da simulação (figura 6.32). Isto decorre do fato destas intervenções competirem pelo uso da rede de macrodrenagem, fazendo que seus efeitos sejam percebidos pela compensação daquelas vazões que vinham pelas ruas e entravam pelos bueiros, congestionando esta rede, e que passam a entrar nos reservatórios de praças e escoar, para esta mesma rede, de forma amortecida, em função do diâmetro do orifício de saída destas praças. Para pequenas vazões a galeria de microdrenagem que sai da praça conduz estas vazões em uma situação que permanecerá muito similar à situação atual. Quando o orifício do reservatório da praça passa a restringir a saída da mesma, com o conseqüente enchimento da praça, o volume retido na praça passa a gerar benefícios concretos para rede de macrodrenagem, em função do amortecimento gerado, se esta rede, por sua vez, não estiver afogada e não vier a afogar.

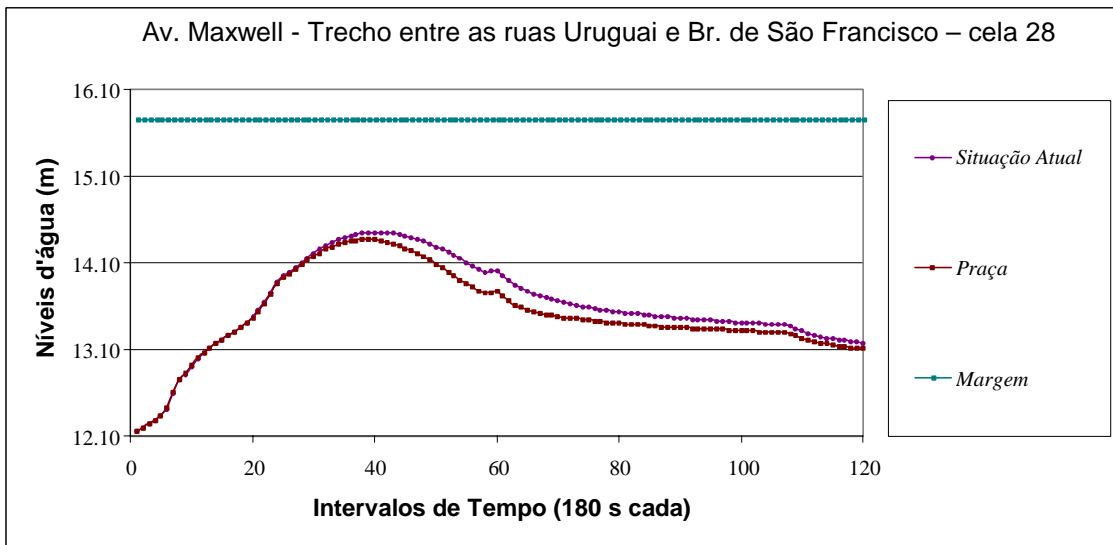


Figura 6.32 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No P6, verifica-se a pouca redução dos alagamentos devido à grande distância que separa este ponto dos reservatórios, porém com uma redistribuição considerável no volume total escoado durante a passagem da cheia em intervalos superiores aos simulados (figura 6.33).

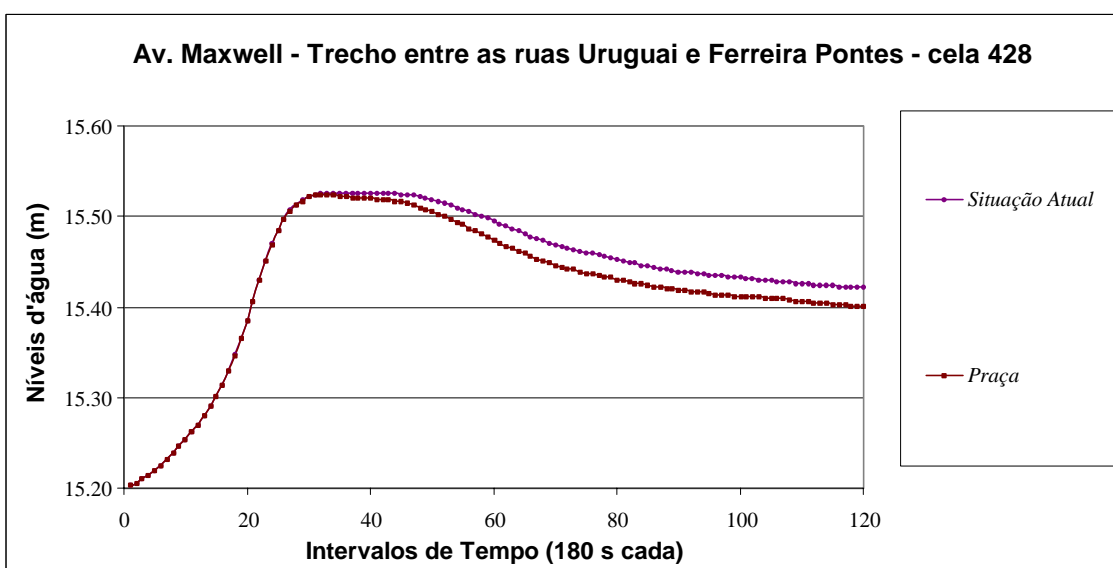


Figura 6.33 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

Em célula localizada mais próxima ao terço inferior da bacia no P3, pode-se observar uma redução de 15cm no nível de água na calha do rio (figura 6.34).

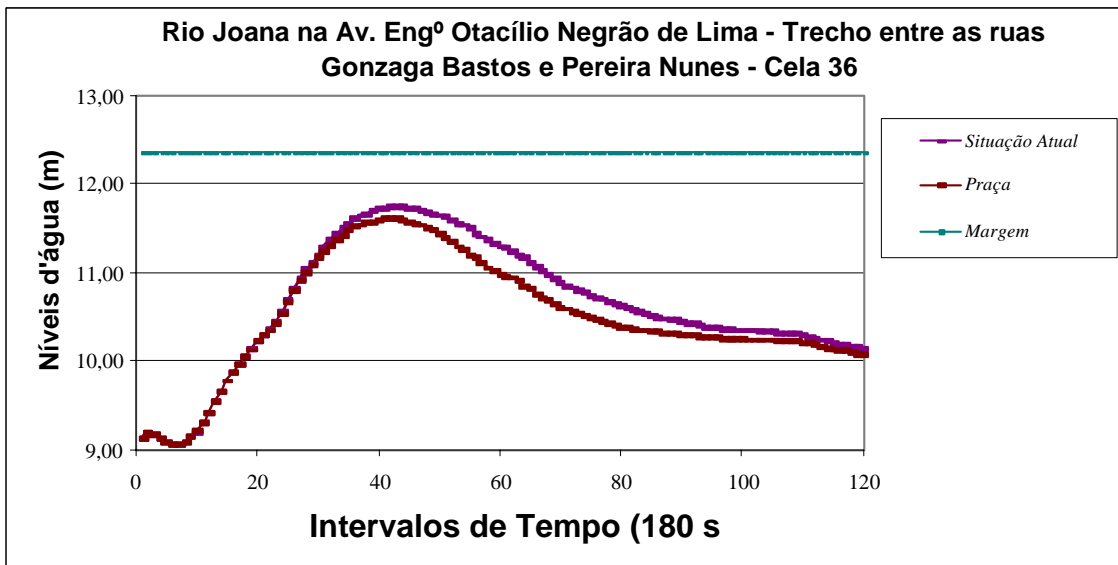


Figura 6.34 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

A situação da planície urbana em P3 é crítica, em termos de alagamento, devido à grande distância que separa este ponto dos reservatórios (figura 6.35).

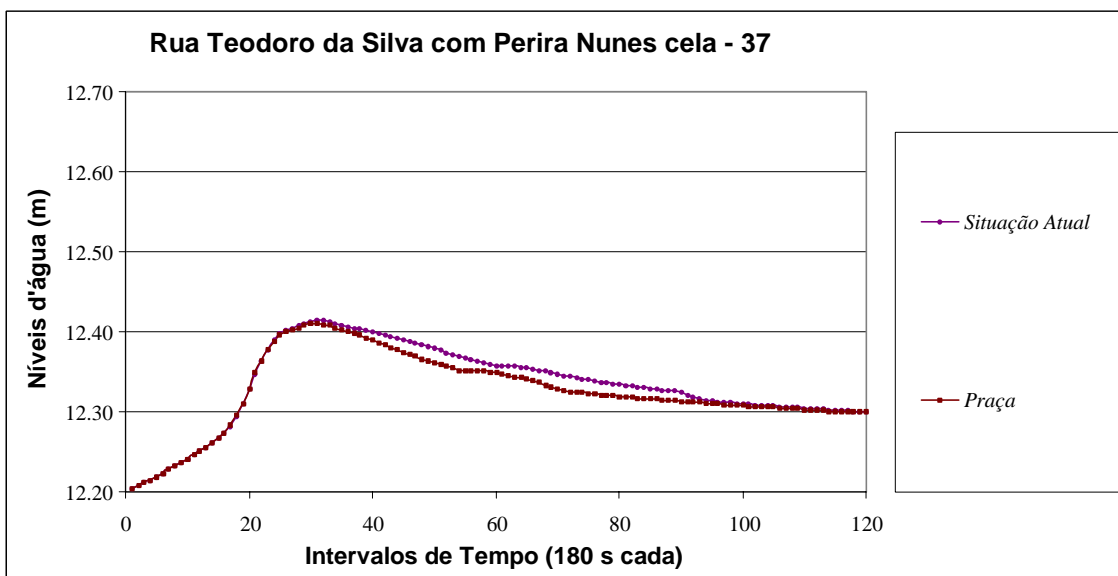


Figura 6.35 - Planície do rio Joana. Célula localizada distante da ação das praças.

Após a saída do rio Joana em galeria, na Av. Professor Manuel de Abreu, no P4, próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel, nota-se uma boa redução de pico e do volume total escoado pela calha durante a passagem da cheia, devido à propagação dos efeitos dos reservatórios de montante e pelos reservatórios das Praças Visconde de Niterói e Varnhagem que se encontram nesta região (figura 6.36).

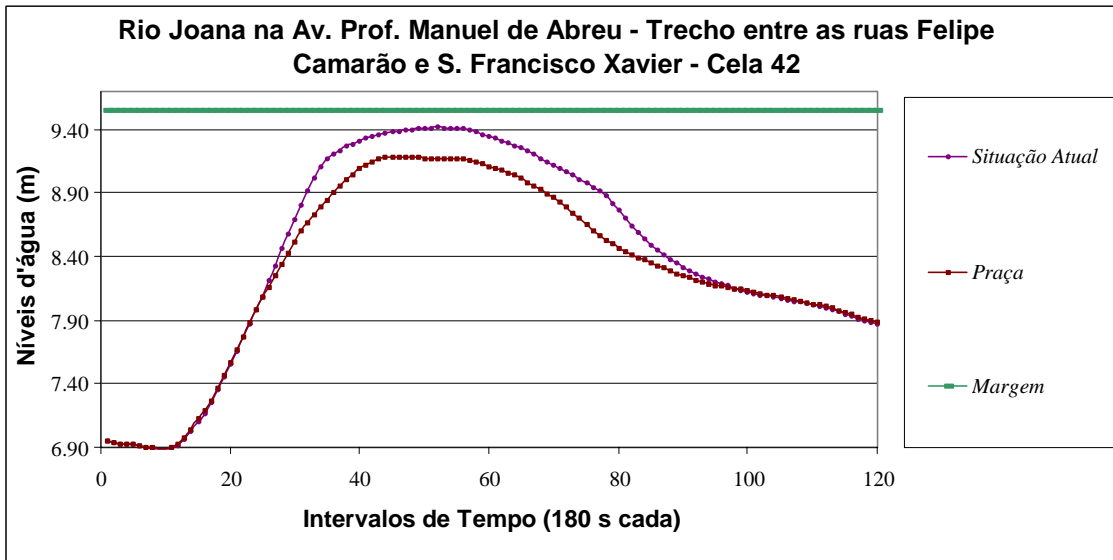


Figura 6.36 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

No trecho final da bacia no P1, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem amortecidas pelo efeito dos reservatórios das praças Recanto do Trovador, Barão de Drumond e Tobias Barreto, observam-se reduções significativas do nível d'água na calha, da ordem de 25cm. Soma-se a isto, todos os efeitos benéficos dos reservatórios de montante e o da Praça Pres. Médici adjacente a esta célula. Contudo o rio ainda verte para as ruas por uma hora e meia (figura 6.37).

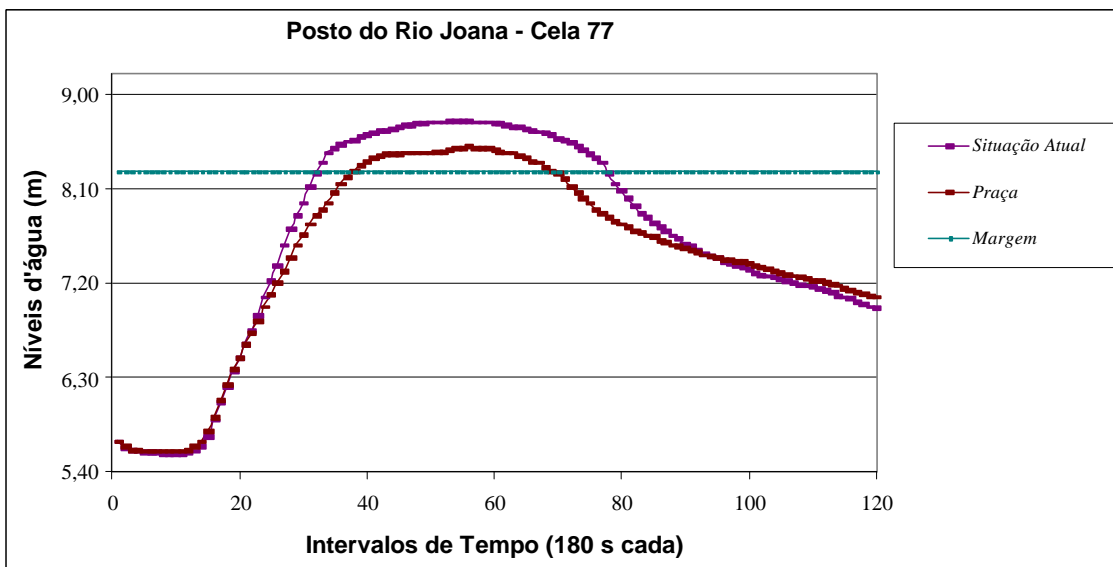


Figura 6.37 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Torres Homem e Visconde de Santa Isabel.

A situação da planície urbana no P1, embora crítica, mostra que os reservatórios de praça preconizados para a bacia combinam efeitos que se traduzem em benefícios

concretos de redução de pico e redistribuição de parte significativa do volume total escoado para tempos superiores ao da passagem da cheia (figura 6.38), embora apresente ainda pequeno alagamento residual na rua que não foi possível ser controlado por esta medida, por conta do afogamento que ocorre na praça Presidente Médici. O grande aporte d'água, oriundo do extravasamento da calha do rio Joana nesta região, compromete o funcionamento do reservatório nesta praça, que perde rapidamente a sua capacidade de armazenamento.

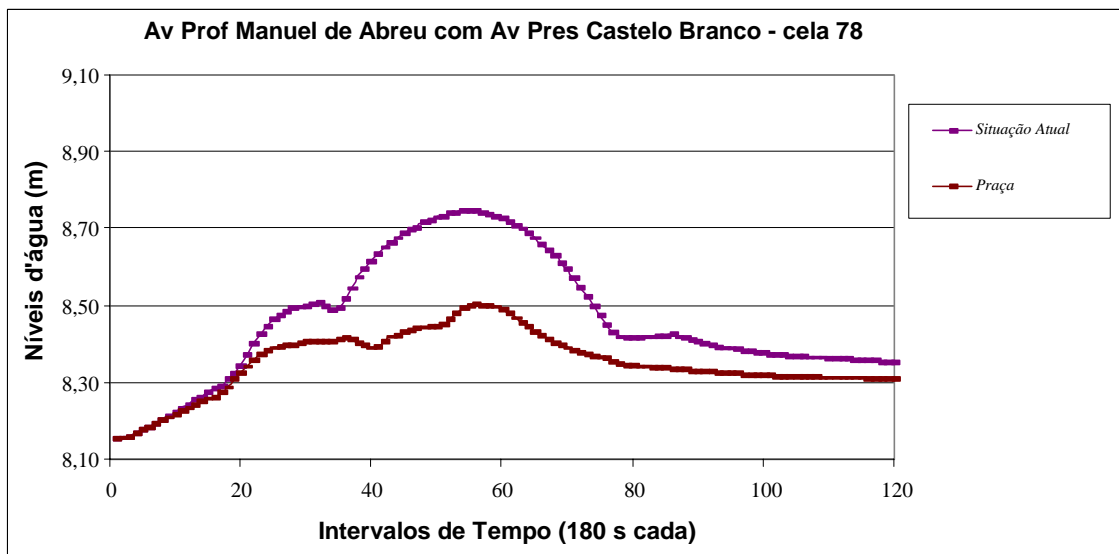


Figura 6.38 - Planície do rio Joana em seu terço final, célula localizada adjacente à célula 77.

Tendo sido analisado o comportamento dos reservatórios de praças projetados para a bacia do rio Joana nos pontos críticos escolhidos, verifica-se que mesmo com a introdução destas medidas mitigadoras, os alagamentos ainda foram consideráveis. Quando se compara de forma sistêmica a condição pregressa de alagamentos na bacia com a da modificada pelos reservatórios de praça percebe-se que ocorre uma troca: a área urbana que, alagada, funcionava como um reservatório temporário indesejável, passa a alagar menos, ficando este volume retido nos reservatórios, gerando benefícios que se distribuem na planície urbana e são razoavelmente propagados, a partir do entorno das praças, para jusante somando esforços para atingir grandes extensões durante a passagem da cheia.

6.2.4. Reservatórios de lote

Os reservatórios de lote permitem minimizar a contribuição individual deste, que é a menor parcela de urbanização. Na bacia do rio Joana, os reservatórios propostos encontram-se espacialmente disseminados na parte média e média-alta, conforme pode ser visto e identificado na figura 5.3. Em relação as suas respectivas áreas de abrangência, pode-se dizer que quando a rede de micro-drenagem funciona a contento, os reservatórios em lotes drenam, de forma distribuída, as águas que caem sobre os lotes, impedindo, de acordo com seu volume útil, que a mesma escoe diretamente para rede de micro-drenagem ou para as ruas circunvizinhas. Na parte alta da bacia, nas bordas dessa malha e sujeita às contribuições não controladas de grandes áreas de encosta, a resposta destes dispositivos é menos sentida, especialmente quando a rede não comporta adequadamente estas contribuições.

No P7, evidencia-se uma significativa redução dos alagamentos e do volume total escoado, que foi redistribuído para intervalos superiores aos simulados, durante a passagem da cheia nesta região de montante da planície urbana, embora apresente uma pequena redução de 15cm no pico da cheia devido à incorporação de vazões de áreas que não foram protegidas pelos reservatórios de lotes, correspondendo à favela do Andaraí (figura 6.39). A aparente não conservação de massa vista no gráfico se deve à própria concepção da modelação do reservatório de lote. A célula 18, por exemplo, depois de modificada, passa a representar somente as ruas e não mais as ruas e lotes, de modo que se passa a ter mais duas células superficiais, uma representando a soma dos lotes e outra representando a soma dos reservatórios. Além da retenção de parte da água nos reservatórios dos lotes que é redistribuída no tempo, há uma parte residual, sobre os próprios lotes, que é redirecionada para a rede de drenagem, através de uma terceira célula nova, agora subterrânea, reproduzindo a microdrenagem local, antes não representada em função de seu pequeno porte.

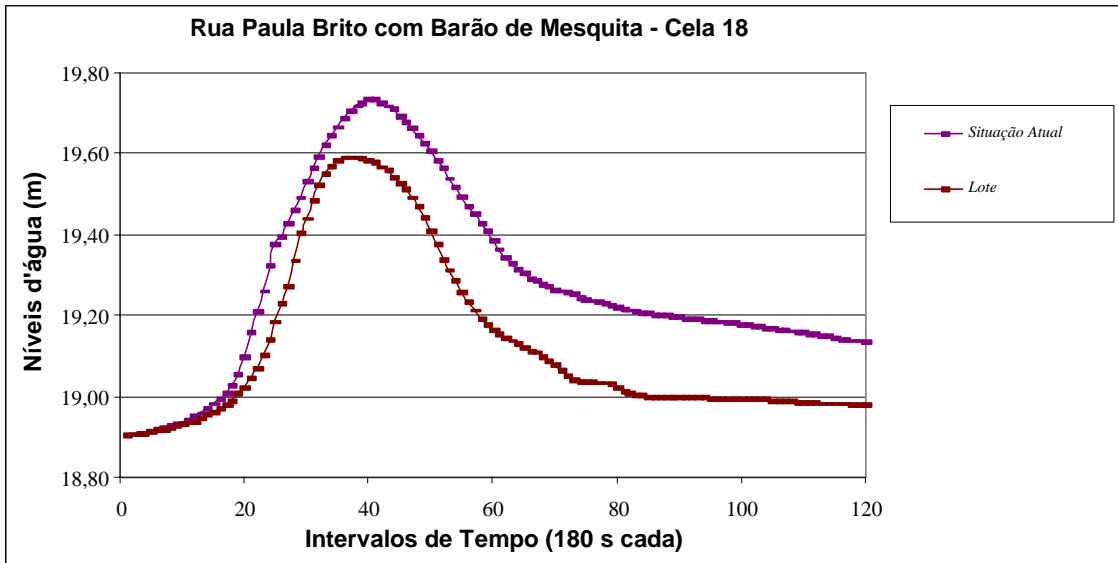


Figura 6.39 - Planície do rio Joana próximo à favela do Andaraí localizada a montante da bacia.

Na sub-bacia do rio Urubus no P2, em célula localizada próximo ao Parque Recanto do Trovador, evidencia-se uma redução eficaz do pico da cheia (figura 6.40), mesmo com o aporte de uma transposição de vazões vinda de bacia vizinha, ao norte, através do sistema de drenagem da estrada Grajaú-Jacarepaguá. Esta intervenção, neste ponto, por si só resolve os problemas de alagamento nesta região, considerando-se aceitáveis alagamentos da ordem de 10cm durante o pico da cheia.

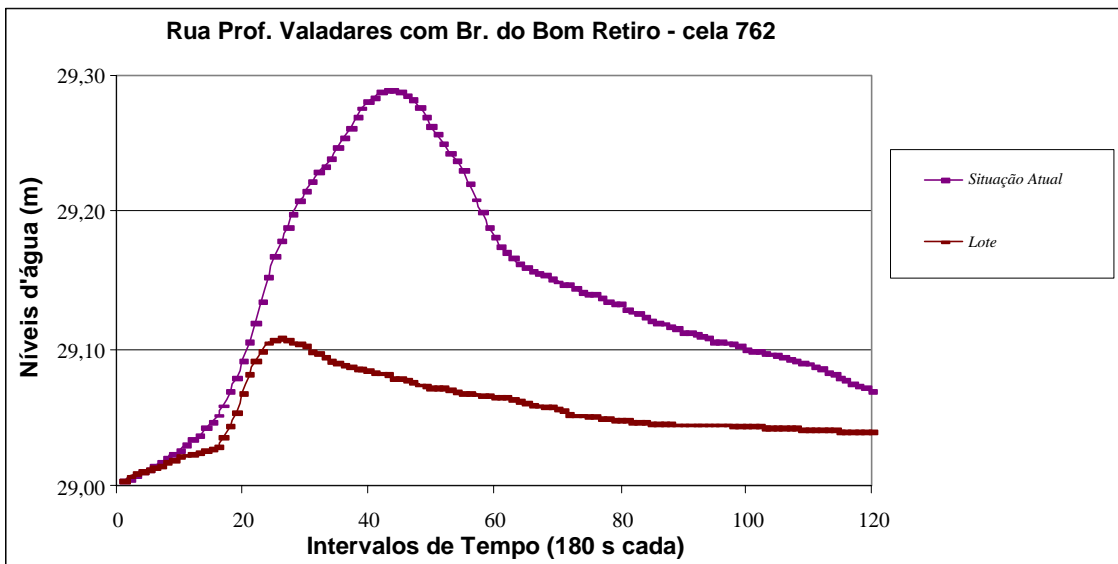


Figura 6.40 - Planície do rio Joana em seu terço inicial na sub-bacia do rio Urubus.

No P5, localizado próximo à praça Barão de Drumond, na sub-bacia do rio Urubus, observa-se uma redução considerável dos alagamentos nesta região. Isto decorre da

combinação de efeitos proporcionados pela redução do tempo de viagem das águas armazenadas pelos reservatórios de montante e do próprio efeito de armazenamento deste reservatório. Há, entretanto, a observação de um pequeno alagamento residual decorrente da incorporação de vazões de áreas da planície urbana que não foram protegidas, tais como áreas comerciais, estacionamentos, praças e as próprias ruas e calçadas (figura 6.41).

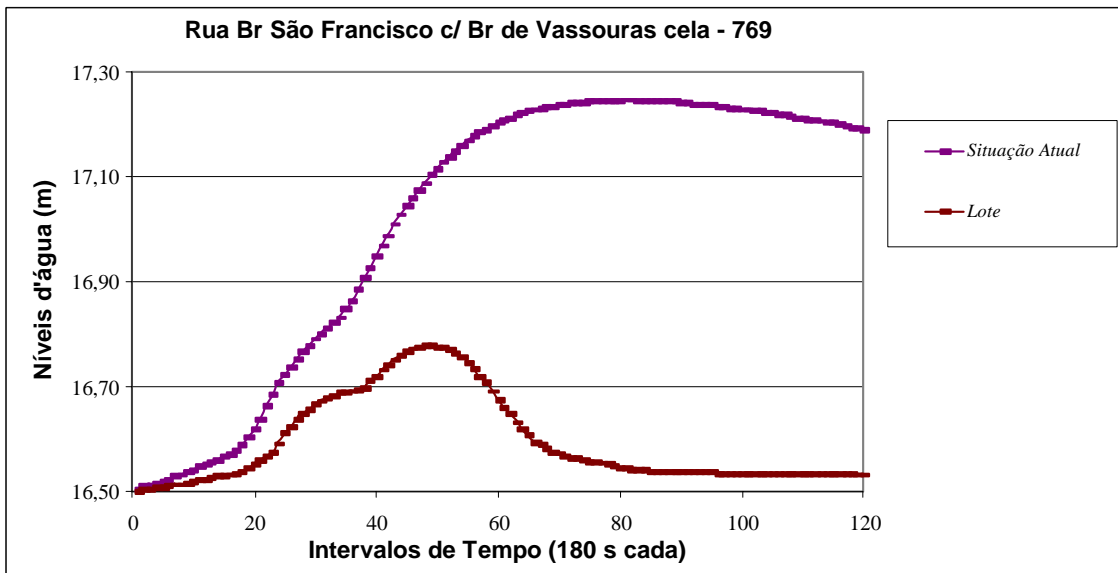


Figura 6.41 - Planície do rio Joana em seu terço médio na sub-bacia do rio Urubus.

Observando P5 na calha do rio Joana, nota-se que a soma dos efeitos dos reservatórios na calha do rio Joana escoando a céu aberto, após a confluência das sub-bacias dos rios Jacó, Perdido, Andaraí e Urubus, proporcionam uma diminuição considerável de 30cm no pico da cheia e no amortecimento do volume total escoado durante a passagem da cheia (figura 6.42). Entretanto verifica-se, de imediato, nos primeiros intervalos de tempo, uma pequena eficiência na redução do nível d'água na calha do rio. Isto supostamente ocorre pelo fato destas intervenções competirem pelo uso da rede de macrodrenagem, fazendo que seus efeitos sejam mais bem percebidos quando há a compensação, em termos de tempo de viagem, daquelas vazões que vinham dos lotes para as ruas e entram pelos bueiros, congestionando esta rede, e que passam a entrar nos reservatórios de lotes e escoar, para esta mesma rede, em função do diâmetro do orifício de saída dos mesmos. À medida que o reservatório enche e a saída do mesmo não é afogada, a situação modificada permanecerá muito similar à situação atual. Quando o orifício de saída do reservatório passa a afogar, com o conseqüente

enchimento do mesmo em função da precipitação incidente no lote, o volume retido no lote passa a gerar benefícios para esta rede de macrodrenagem como os observados a partir da primeira hora de simulação.

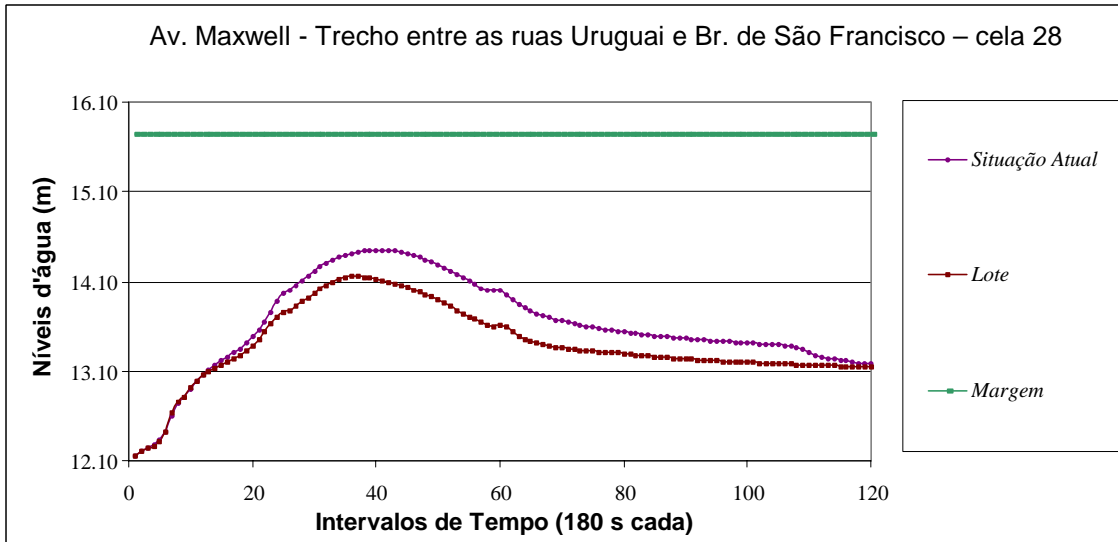


Figura 6.42 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No P6, na planície urbana, observa-se a pouca redução dos alagamentos durante a passagem da cheia (figura 6.43), devido à interferência de áreas que não foram protegidas pelos reservatórios de lotes na margem direita do rio Joana.

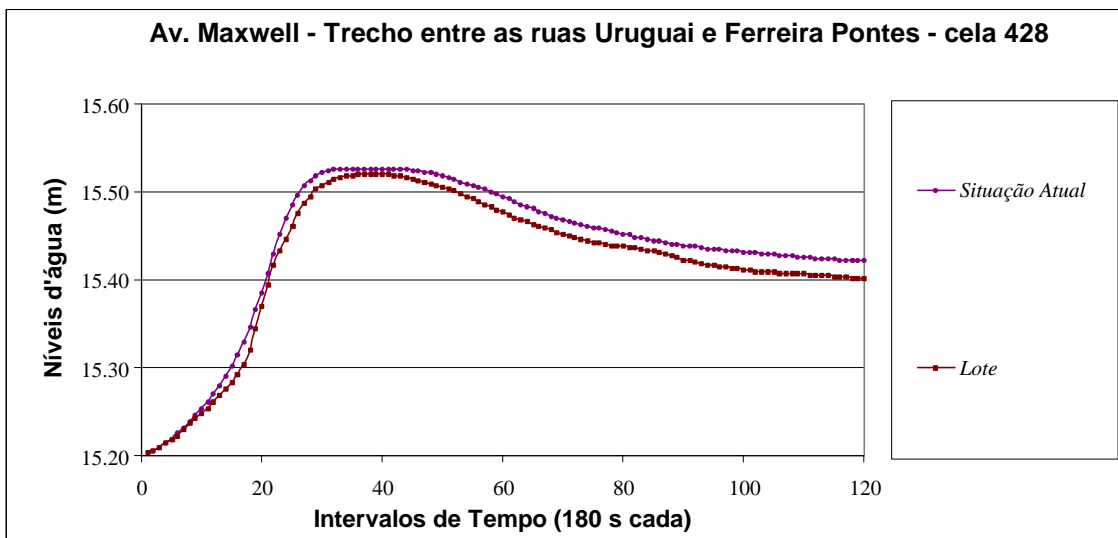


Figura 6.43 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

No P3, pode-se observar uma expressiva redução do nível de água na calha do rio pelo fato desta região apresentar na margem esquerda do rio Joana uma grande área com reservatórios de lotes (figura 6.44).

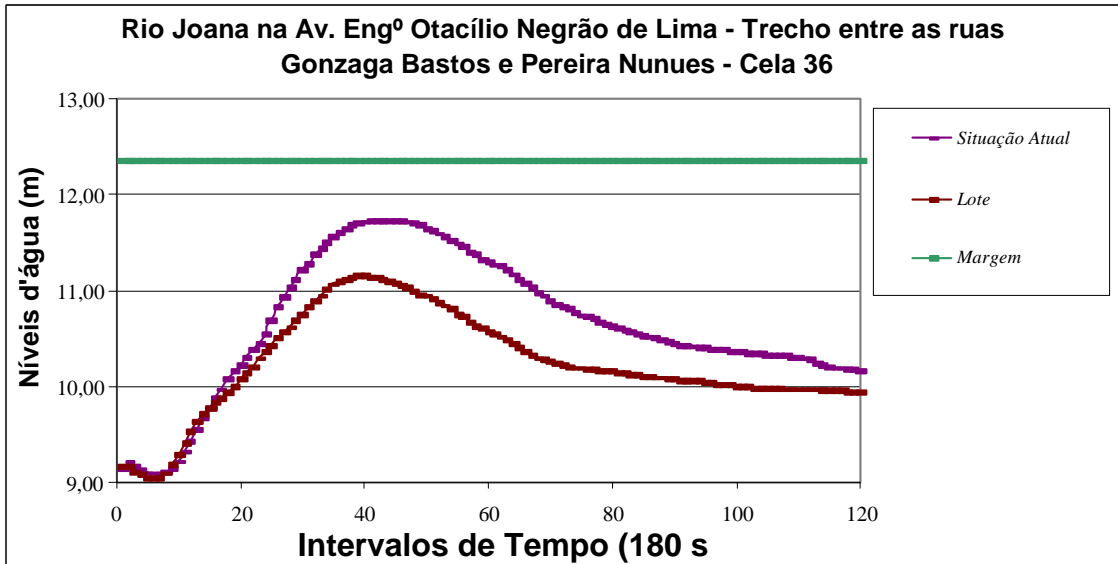


Figura 6.44 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

A situação da planície urbana no P3 é considerável, em termos de alagamento, devido à interferência de áreas não protegidas pela margem direita do rio Joana, embora os reservatórios apresentem uma redução do pico de alagamento nas ruas (figura 6.45).

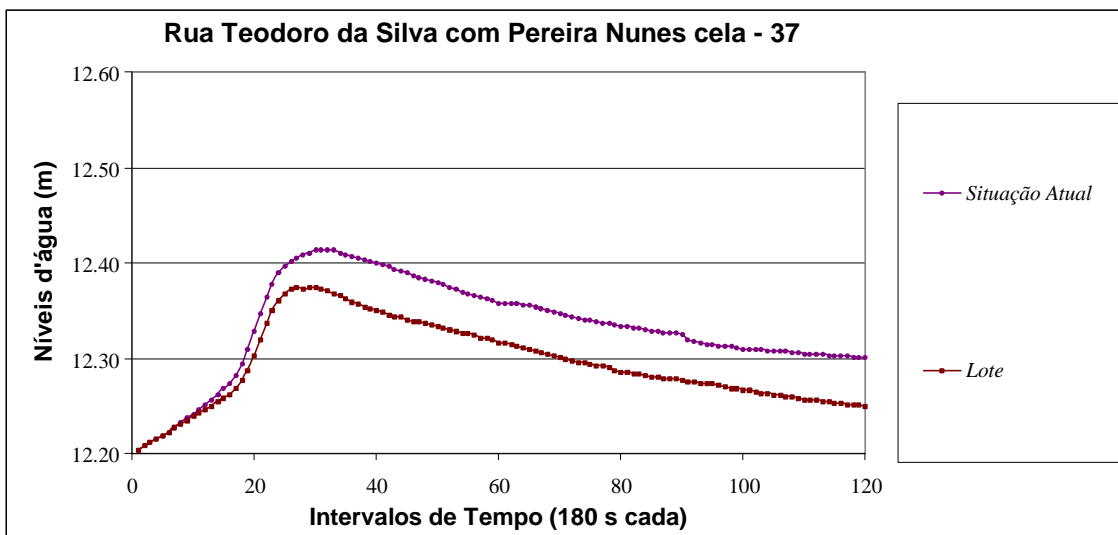


Figura 6.45 - Planície do rio Joana.

Após a saída do rio Joana em galeria na Av. Professor Manuel de Abreu, no P4, próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel, evidencia-se uma

boa redução de pico na calha e uma redistribuição significativa do volume escoado durante a passagem da cheia, devido à propagação dos efeitos dos reservatórios de montante (figura 6.46).

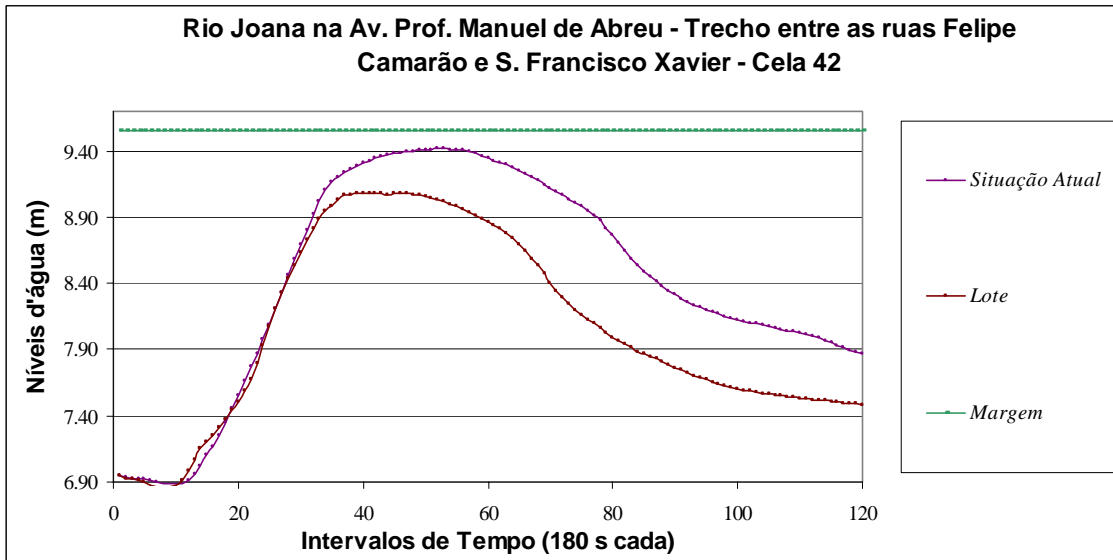


Figura 6.46 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

No trecho final da bacia, no P1, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem, nota-se reduções significativas do nível d'água na calha embora o rio verta durante uma hora e 40 minutos tempo (figura 6.47).

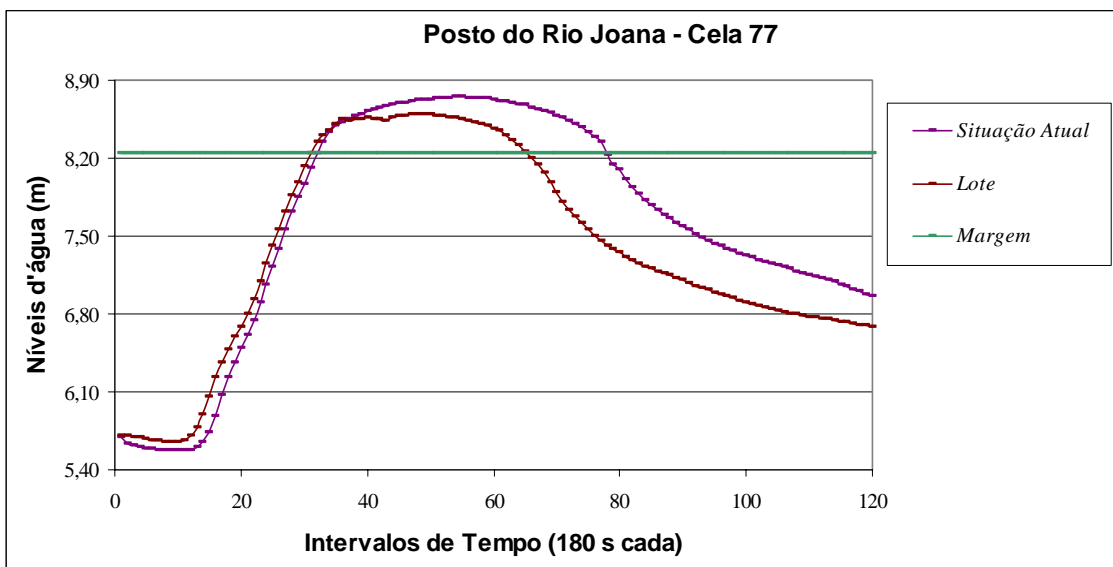


Figura 6.47 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Torres Homem e Visconde de Santa Isabel.

A situação da planície urbana no P1, embora crítica, mostra que os reservatórios de lotes preconizados para a bacia combinam efeitos que se traduzem em benefícios concretos

de redução de pico de alagamento e redistribuição do volume total em tempos consideravelmente grandes (figura 6.48), embora apresente ainda alagamentos residuais nas ruas que não foram totalmente controlados por esta concepção, em virtude do grande aporte d'água relativo ao vertimento do rio Joana.

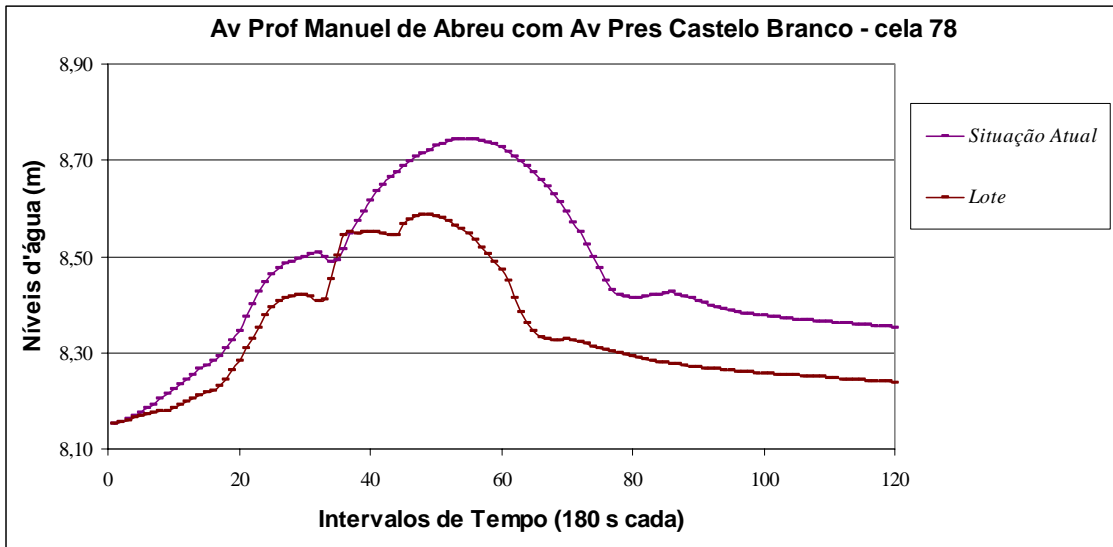


Figura 6.48 - Planície do rio Joana em seu terço final, célula localizada logo adiante da célula 77.

Tendo sido analisado o comportamento dos reservatórios de lotes projetados para a bacia do rio Joana nos pontos de controle, críticos em termos de alagamento, verifica-se que, com a introdução destas medidas mitigadoras, os alagamentos foram bastante reduzidos a montante da bacia. Quando se compara de forma sistêmica a condição pregressa de alagamentos na bacia com a da modificada pelos reservatórios de lote percebe-se que ocorre uma troca: a área urbana que, alagada, funcionava como um reservatório temporário indesejável, passa a alagar bem menos a montante, ficando este volume retido nos reservatórios, gerando benefícios que se distribuem na planície urbana e são razoavelmente propagados para jusante por grandes extensões durante a passagem da cheia.

6.2.5. Intervenções tradicionais

No caso da intervenção tradicional, a redução local de alagamentos verificada se dá pela rápida e mais eficiente transferência de vazões para as partes mais baixas a jusante da bacia. Na parte alta, então, os resultados são positivos; na parte baixa, porém, agravaram-se significativamente os quadros de alagamentos.

No P7, evidencia-se uma redução dos alagamentos nesta região da planície urbana (figura 6.49). É importante salientar que a redução do volume de alagamento se deve à proposta de desvio do rio Joana no trecho feita pela Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, na qual a galeria do rio Joana passa a correr pela rua Barão de Mesquita em vez de passar pela rua Uberaba, sendo, o novo ramal, cortado da rede antiga e conectado no rio Joana a céu aberto na altura do “Condomínio Tijolinho”, na rua Maxwell (figura 5.3). A rede antiga, não mais conectada ao rio, permanece operando, porém drenando uma área menor e coincidente, em boa parte, com a região de contribuição da favela do Andaraí.

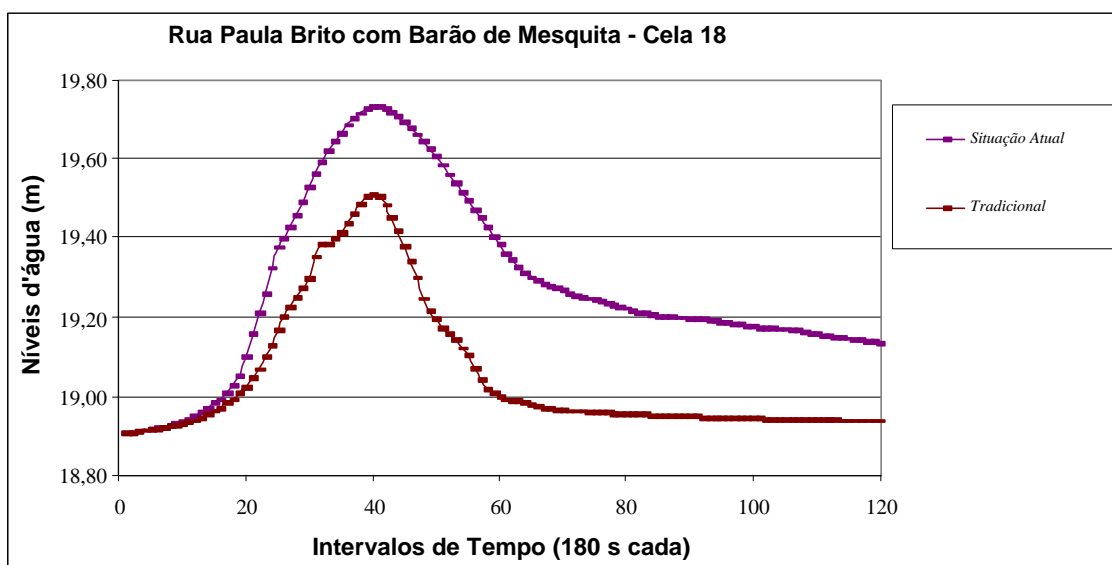


Figura 6.49 - Planície do rio Joana próximo à favela do Andaraí localizada a montante da bacia.

No P2, na sub-bacia do rio Urubus, em célula localizada próximo à intervenção projetada pela Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro que concebe, além de aumentos no diâmetro das galerias, um desvio que encurta a comprimento original do rio Urubus, evidencia-se uma boa redução do pico da cheia e nos intervalos subsequentes (figura 6.50). Contudo, por si só, esta canalização não resolve os problemas de alagamento nesta região, sendo, entretanto, uma medida que pode ser complementada por outra, pelo fato da mesma atuar drenando localmente e rapidamente o pico da cheia.

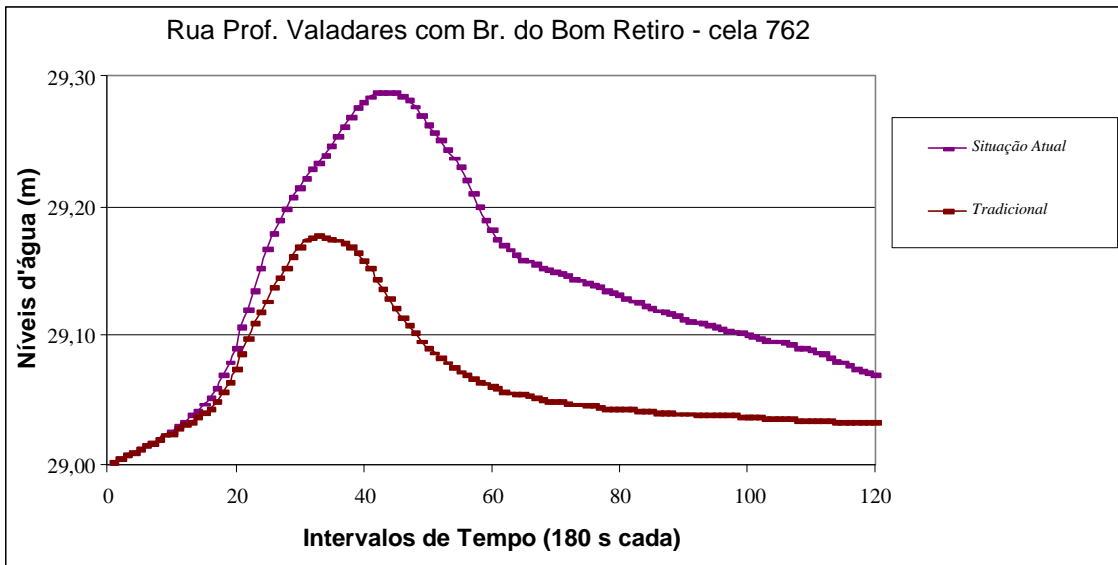


Figura 6.50 - Planície do rio Joana em seu terço inicial na sub-bacia do rio Urubus.

No P5, em célula localizada próxima a praça Barão de Drumond, ainda na sub-bacia do rio Urubus, observa-se uma redução considerável dos alagamentos nesta região. Isto decorre da combinação de efeitos proporcionados pela redução do tempo de viagem das águas que foram drenadas por uma rede de diâmetro maior (figura 6.51).

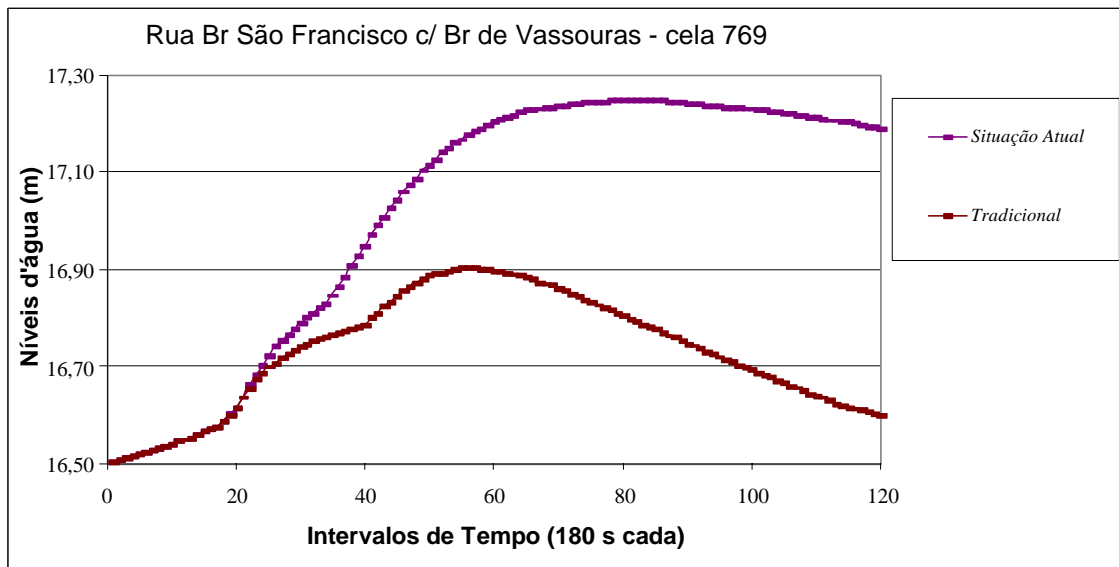


Figura 6.51 - Planície do rio Joana em seu terço médio na sub-bacia do rio Urubus.

Ainda no P5, nota-se que a soma dos efeitos das intervenções tradicionais projetadas na calha do rio Joana escoando a céu aberto, após a confluência das sub-bacias dos rios Jacó, Perdido, Andaraí e Urubus, proporciona um aumento do nível d'água na calha do rio no pico da cheia (figura 6.52). Isto decorre do fato destas intervenções normalmente acelerarem a passagem de vazões das partes altas para as baixas não se traduzindo em benefícios reais de diminuição de nível d'água em calha, somente na planície quando

não ocorrem afogamentos indesejáveis das galerias de microdrenagem a jusante, precocemente, visto que as saídas das mesmas, por competir pelo uso da rede de macrodrenagem, podem ficar bloqueadas com a chegada rápida das águas oriundas de montante (figura 6.54). Neste caso a parte da rede de drenagem de jusante, que ficou comprometida, joga vazões de volta para ruas podendo proporcionar grandes alagamentos (figura 6.55).

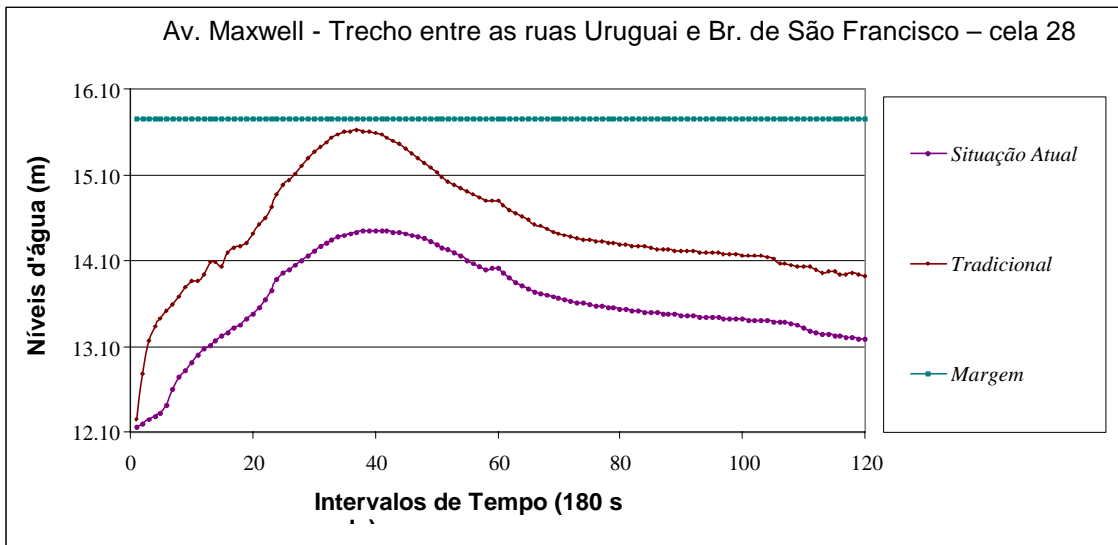


Figura 6.52 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No P6, na planície urbana, evidencia-se a pouca redução dos alagamentos, devido à interferência de áreas que não foram drenadas pela nova rede (figura 6.53).

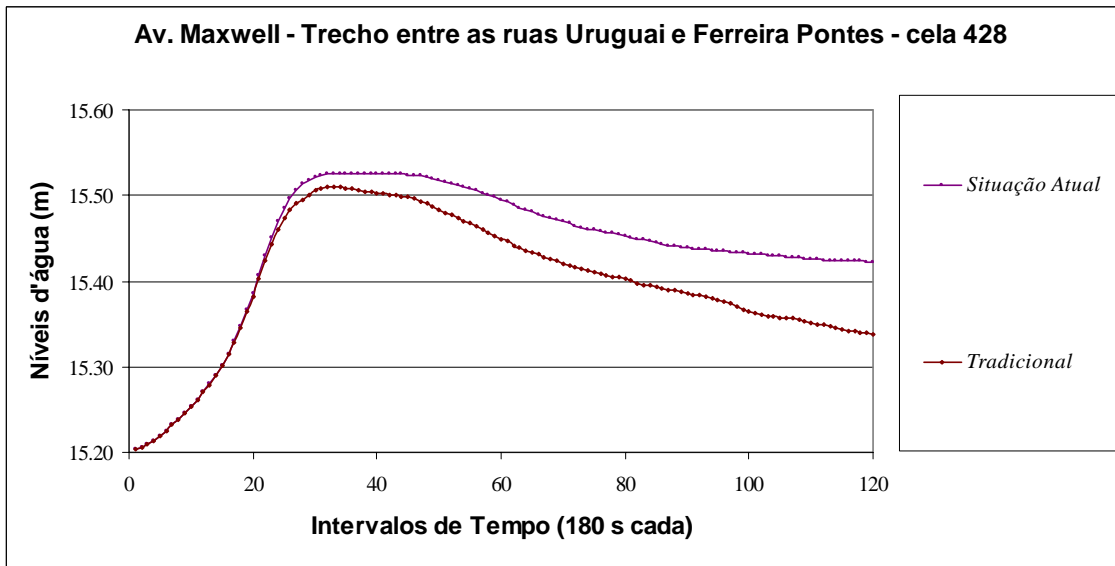


Figura 6.53 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

No P3, em célula localizada mais próxima ao terço inferior da bacia, pode-se observar uma expressiva piora do nível de água na calha do rio pelo aceleração das vazões

vindas da parte alta da bacia, proporcionando inclusive o vertimento do rio de forma significativa chegando a cerca de 70cm, sobre a margem que na condição progressiva não acontecia (figura 6.54).

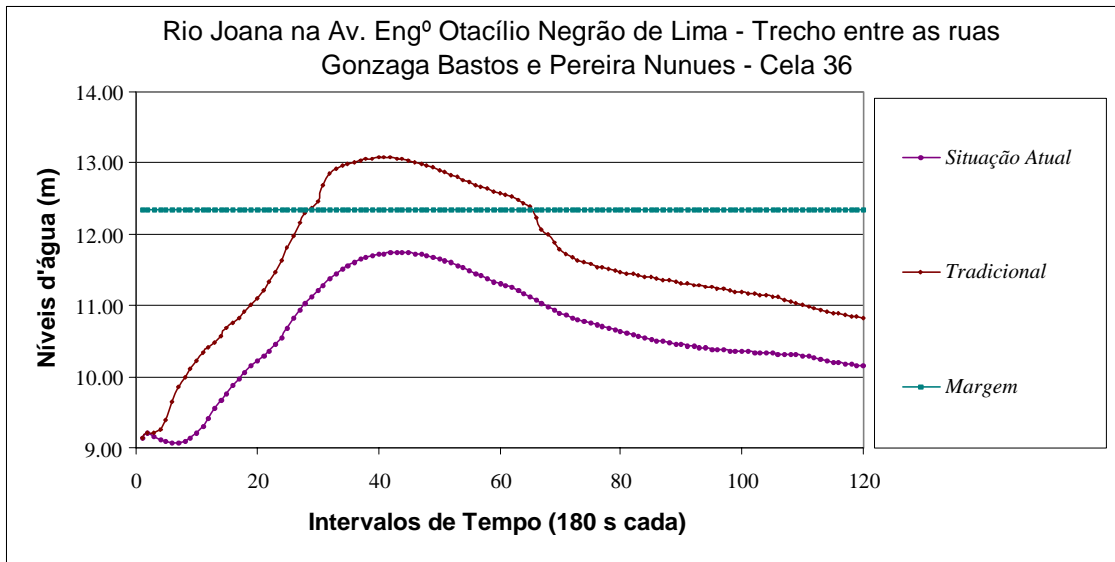


Figura 6.54 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

A situação da planície urbana no P3 é crítica em termos de alagamento, devido à interferência de áreas adjacentes que tem agora suas galerias afogadas e jogando praticamente o dobro de água para as ruas neste ponto (figura 6.55).

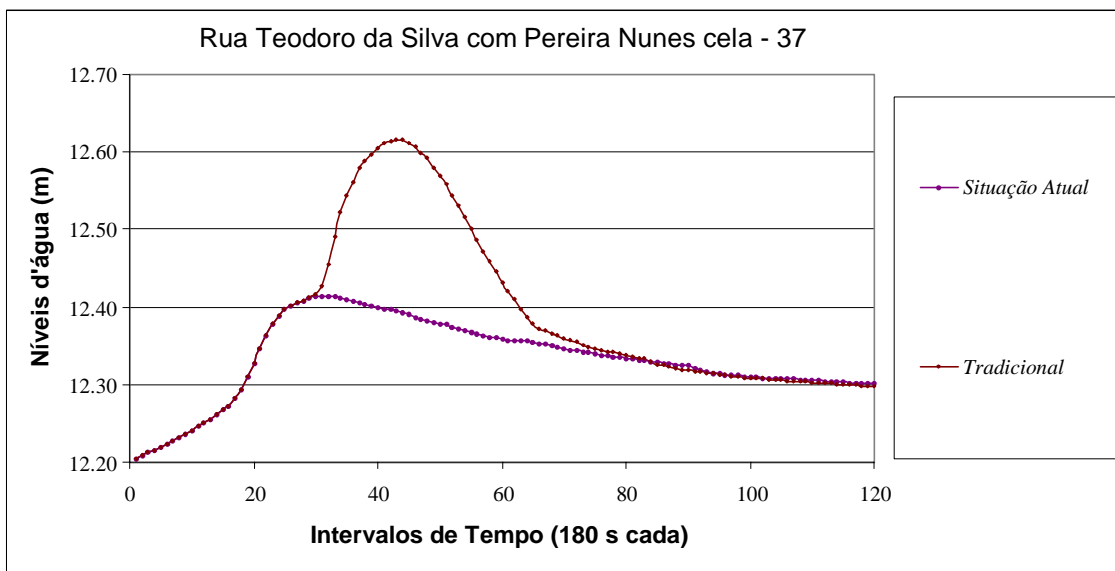


Figura 6.55 - Planície do rio Joana. Célula localizada distante das intervenções projetadas.

No P4, nota-se o extravasamento do rio para as ruas com aumento do nível d'água na calha, devido à propagação dos efeitos de afogamentos de galerias no terço médio da

bacia, havendo inclusive o vertimento de um pequeno volume d'água do rio por uma hora (figura 6.56).

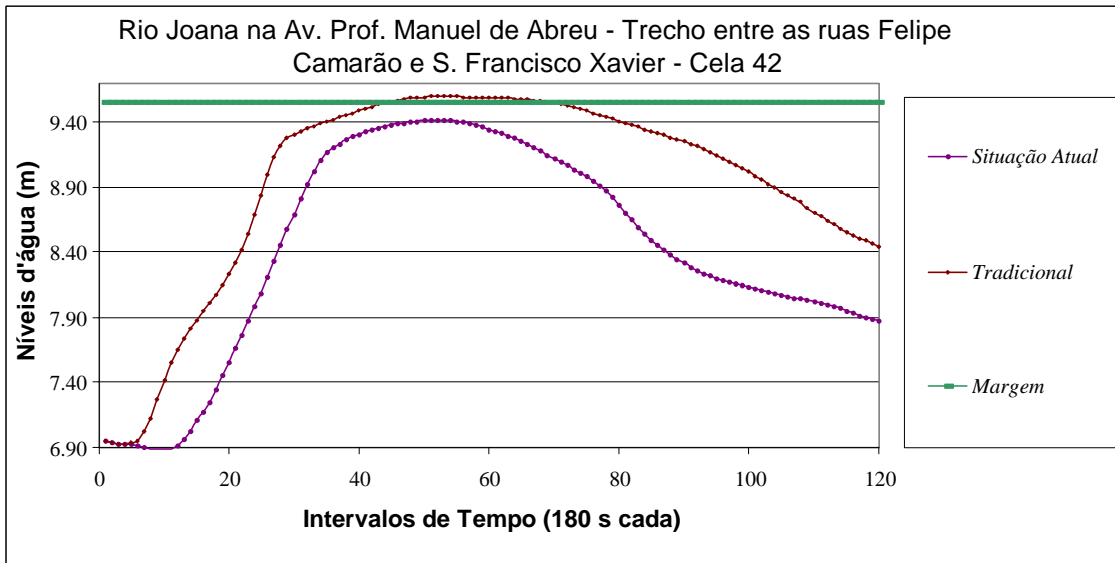


Figura 6.56 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência coma galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

No P1, com as vazões superficiais oriundas da aceleração do escoamento de montante para jusante promovida pelas intervenções tradicionais, que, por sua vez, ocasionaram o afogamento de galerias de regiões adjacentes à cela 77, nota-se o aumento significativo do nível d'água na calha, trazendo, como consequência, o extravasamento do rio por um tempo maior do que na condição pregressa (figura 6.57).

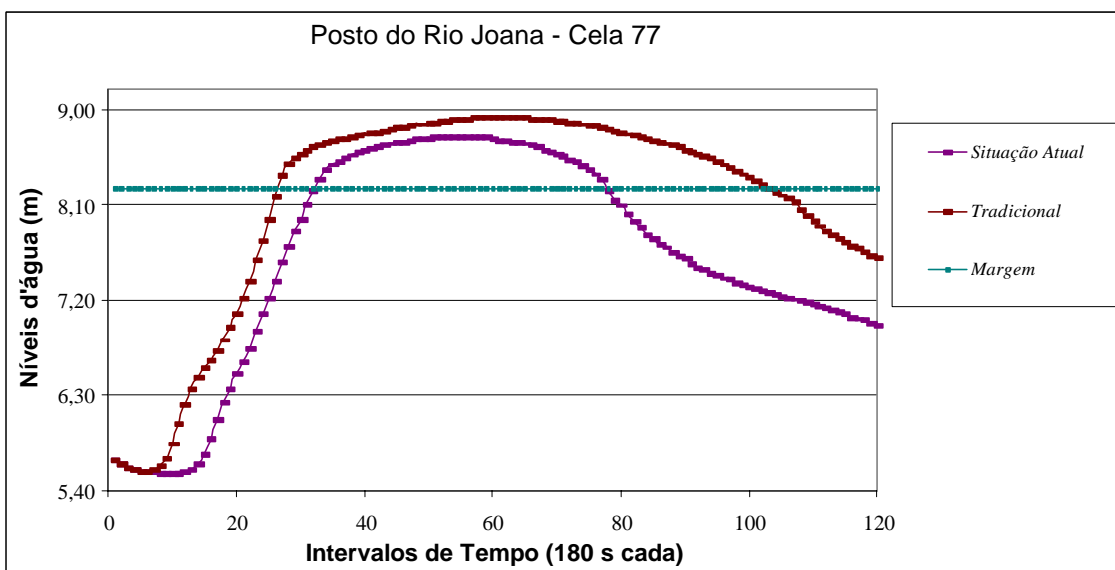


Figura 6.57 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Torres Homem e Visconde de Santa Isabel.

A situação da planície urbana em P1 é muito crítica e piorada pela introdução destas medidas mitigadoras que combinam efeitos que além de não se traduzirem em qualquer benefício concreto nesta área, pioram em muito os alagamentos nesta região durante a passagem da cheia (figura 6.58).

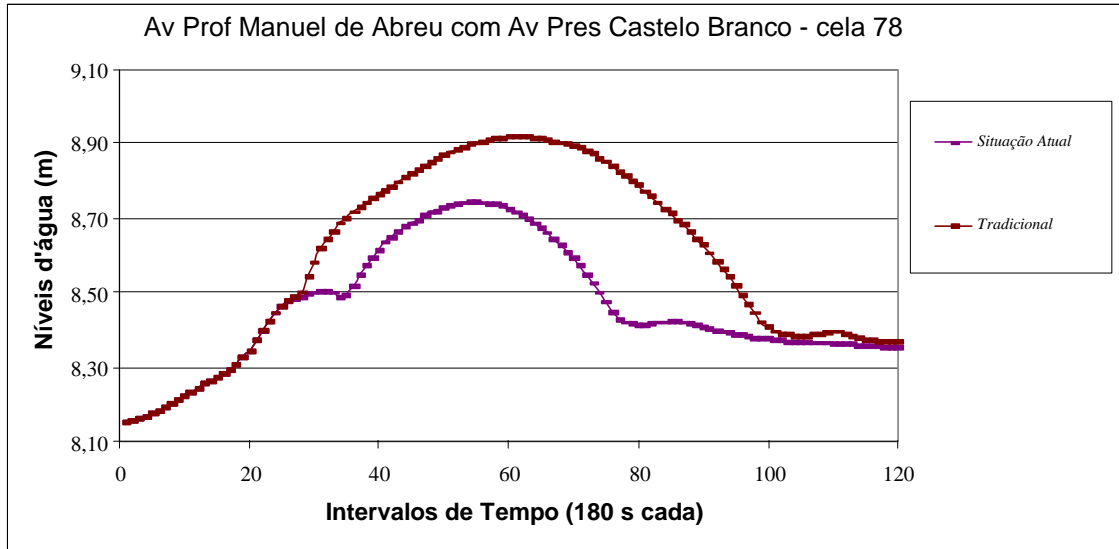


Figura 6.58 - Planície do rio Joana em seu terço final. Célula adjacente à célula 77.

Analisando-se o comportamento das intervenções tradicionais projetadas para a bacia do rio Joana nos principais pontos críticos de alagamento, percebe-se que com a introdução destas medidas pretendidas como mitigadoras, os alagamentos foram bastante reduzidos a montante da bacia e aumentados a jusante. Quando se compara de forma sistêmica a condição pregressa de alagamentos na bacia com a da modificada pelas intervenções tradicionais, nota-se que ocorre uma troca: a área urbana que, alagada, funcionava como um reservatório temporário indesejável, passa a alagar menos a montante devido a drenagem mais eficiente nesta região, ficando este volume acelerado na rede macrodrenagem, gerando benefícios locais que não se distribuem na planície urbana e não se propagam para jusante. Entretanto este aceleração promoveu o aumento do nível d'água na calha do rio, gerando afogamento da rede de microdrenagem de jusante e o conseqüente aumento do nível d'água das ruas adjacentes à área afetada, com efeitos indesejáveis sendo propagados até a saída da bacia. O rio extravasa por larga extensão e em níveis não vistos anteriormente. O resultado para o sistema é ruim e cabe lembrar que este resultado, próximo ao exutório da bacia do rio Joana se transferirá para o rio Maracanã, do qual o Joana é afluente e, mais adiante, para a própria Praça da Bandeira, região emblemática em termos de alagamento no Rio de Janeiro.

6.2.6. Análise comparativa das intervenções

As análises a seguir têm como objetivo elucidar o comportamento das intervenções por trechos no intuito de sintetizar tudo que já foi dito e apontar possíveis combinações de intervenções arranjadas duas a duas. De uma forma geral, as intervenções apresentam diferentes comportamentos ao longo da bacia do rio Joana. Logo, de forma a facilitar a análise, a bacia do rio Joana foi dividida em três distintos setores: trecho alto, médio e baixo, sendo observado pontos na calha, galeria e planície tanto no rio Joana como em seus principais afluentes.

No trecho de montante da bacia, onde as encostas estão bem próximas da calha do rio, nota-se que as intervenções constituídas pelos reservatórios de encosta, reflorestamento e alargamento da calha do rio Joana e da galeria do rio Urubus apresentam melhores resultados, uma vez que o aporte d'água oriundo das encostas é intenso, fazendo com que a resposta dos reservatórios em praças e lotes neste trecho seja menos sentida, quando a rede não comporta estas contribuições.

À medida que nos aproximamos do trecho médio, onde as vazões oriundas das encostas se faz menos impactante e são incorporadas vazões de áreas não amortecidas pelos reservatórios de encosta e o reflorestamento, as intervenções em praças e em lotes, os quais se encontram bem distribuídos neste trecho, apresentam melhores resultados de redução de alagamento nas ruas, com efeitos positivos se propagando até o trecho final da bacia.

Entretanto, no trecho baixo da bacia do rio Joana, pelo fato dos reservatórios de retenção em lotes terem sido projetados somente no trecho alto e médio, os mesmos não apresentam resultados tão expressivos de redução de alagamentos nas ruas quando comparado com os reservatórios em praças. É importante salientar que o rio Joana verte em todos os cenários neste trecho, pois sua calha não comporta, a esta altura, o excesso de vazões oriundas da parte alta da bacia e não amortecida pelas intervenções, face ao atual quadro de alagamentos que se configura na bacia para uma cheia de dez anos de recorrência.

No caso das intervenções tradicionais, como era de se esperar, estas só transferiram os alagamentos devido à rápida e eficiente drenagem de vazões que ocorrem de montante para jusante da bacia do rio Joana, face ao alargamento das seções transversais projetadas a montante.

No P7, na parte alta da bacia, como já discutido anteriormente, nota-se a eficiência das medidas que atuam prioritariamente nas encostas - como os reservatórios de encosta e o reflorestamento - ou que transferem os alagamentos para regiões mais baixas, como as intervenções tradicionais (figura 6.59). Os reservatórios em praças e em lotes nesta região não comportam as vazões oriundas das encostas tão bem como as demais intervenções.

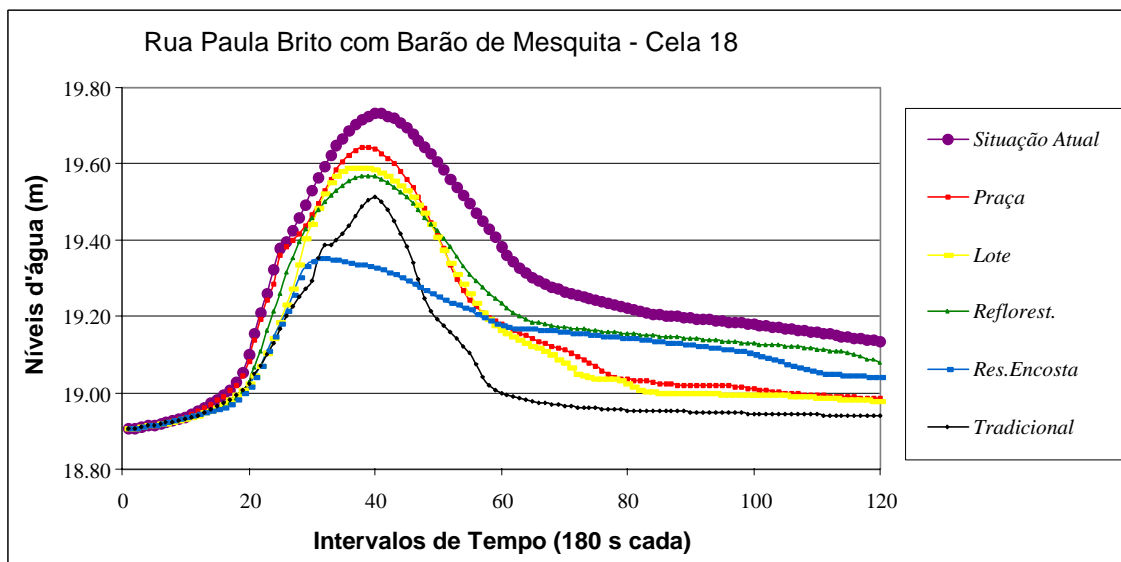


Figura 6.59 - Planície do rio Joana. Célula localizada um pouco mais distante das encostas do rio Perdido e Jacó e próxima à do Andaraí.

Na sub-bacia do rio Urubus, no P2, percebe-se que os reservatórios em lotes, pelo fato de se encontrarem bastante disseminados nesta região, apresentam resultados que se destacam perante as demais medidas (figura 6.60). Destaque pode ser percebido também quando comparamos o desempenho dos reservatórios de encosta e das intervenções tradicionais frente ao funcionamento dos reservatórios em praças e a ação dos reflorestamentos. Esta situação pode significar uma possível combinação eficiente dos reservatórios em lotes, principalmente, com os reservatórios de encosta no trecho.

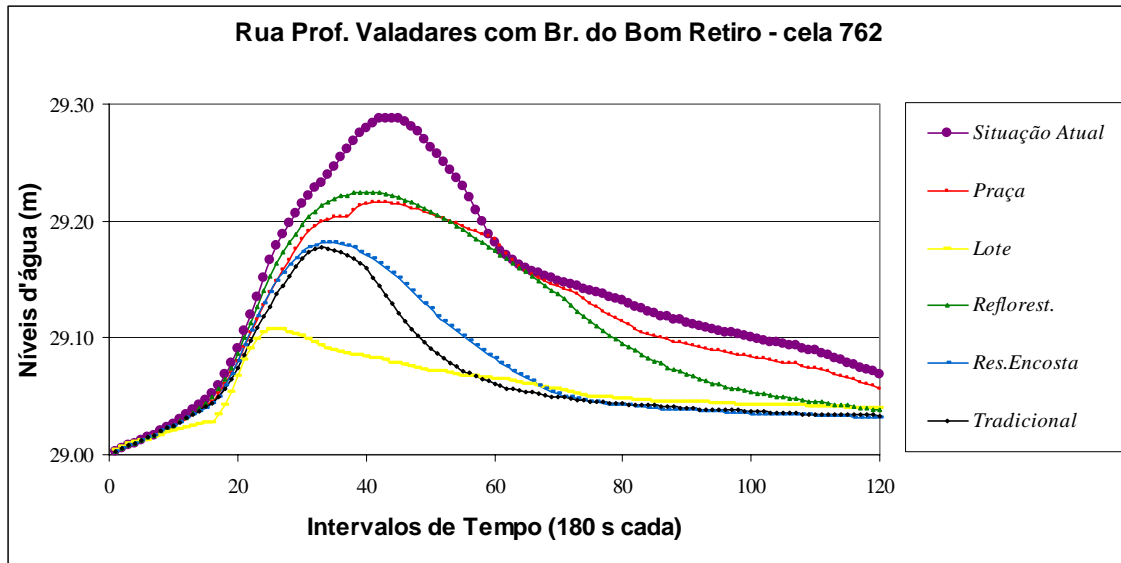


Figura 6.60 - Planície do rio Joana em seu terço inicial. Célula localizada próxima ao Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

No P5, em região localizada próxima a praça Barão de Drumond, observa-se a mesma proporção de diferenças em desempenho entre as medidas, com o resultado do reservatório de encosta se aproximando mais do comportamento dos reservatórios em praças e a ação dos reflorestamentos (figura 6.61).

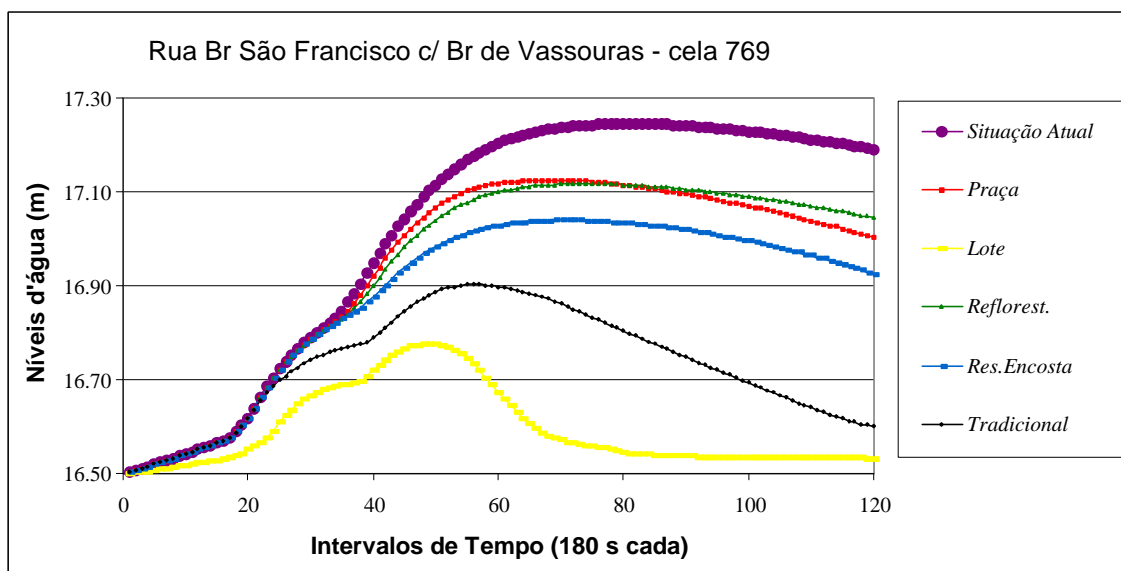


Figura 6.61 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada próxima à encosta do Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

Ainda em P5, nota-se que a soma dos efeitos das intervenções tradicionais projetadas na calha do rio Joana escoando a céu aberto, após a confluência das sub-bacias dos rios Jacó, Perdido, Andaraí e Urubus, promove um aumento significativo do nível d'água no rio no pico da cheia (figura 6.62). Para as demais intervenções percebe-se que, nesta região, seus efeitos são equivalentes na calha.

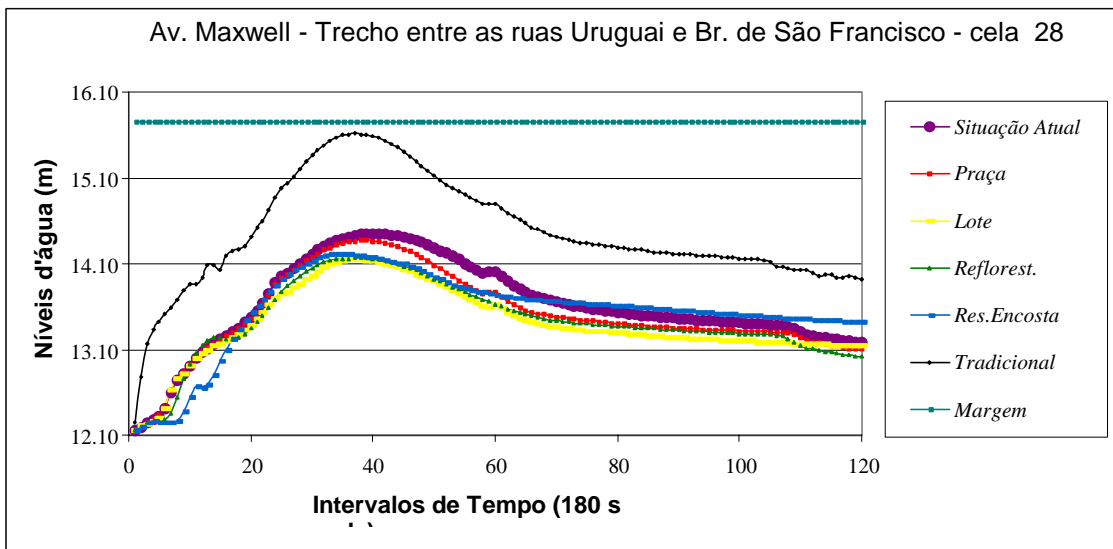


Figura 6.62 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No terço médio, no P6, de uma forma geral, não há melhoria significativa pelas intervenções projetadas (figura 6.63), merecendo destaque as intervenções tradicionais, apesar do alto nível da calha (figura 6.62).

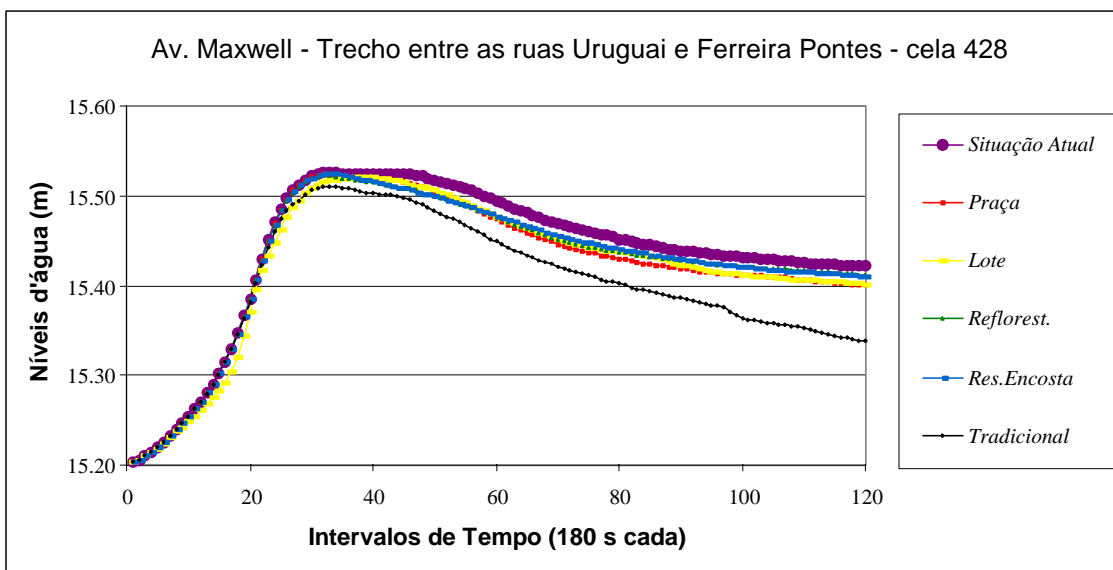


Figura 6.63 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

No P3, em célula localizada mais próxima ao terço inferior da bacia, pode-se observar, além da já discutida piora do nível d'água na calha do rio pelas intervenções tradicionais, que os reservatórios de lotes e em praças, assim como o reflorestamento, vão se destacando dos efeitos proporcionados pelas intervenções tradicionais e os reservatórios de encosta à medida em que se caminha para jusante (figuras 6.64, 6.65, 6.66, 6.67 e 6.68). Este comportamento pode ser importante na realização de inferências a respeito do funcionamento das intervenções propostas quando combinadas duas a duas.

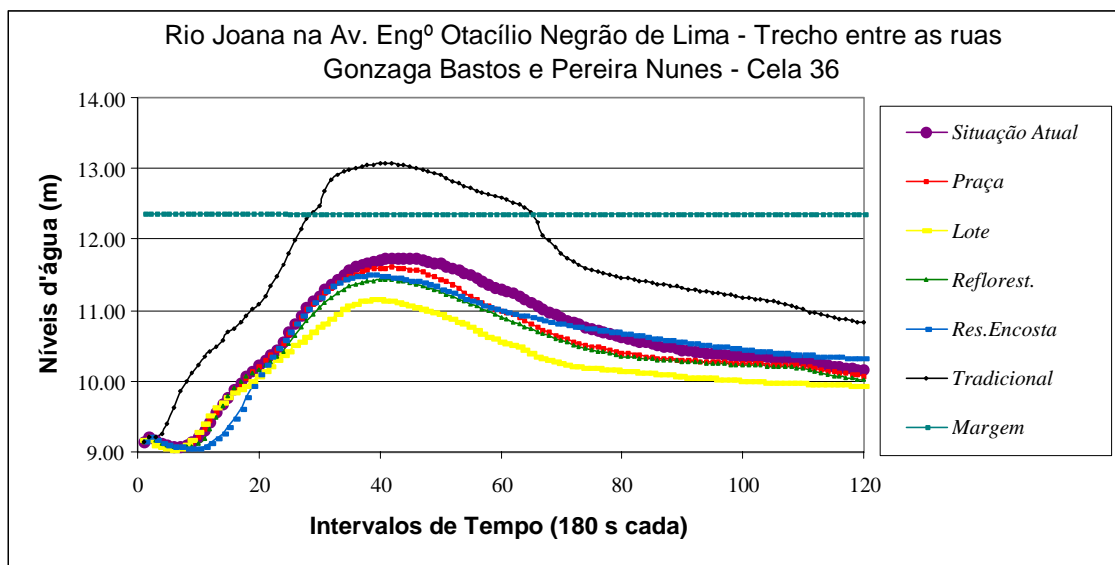


Figura 6.64 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

A situação da planície urbana no P3 é crítica, em termos de alagamento, para as intervenções tradicionais devido ao vertimento do rio na região (figura 6.64). Para as demais intervenções, apesar dos alagamentos serem pequenos, as mesmas pouco melhoram a situação progressiva, merecendo destaque os reservatórios em lotes e em praças no trecho (figura 6.65).

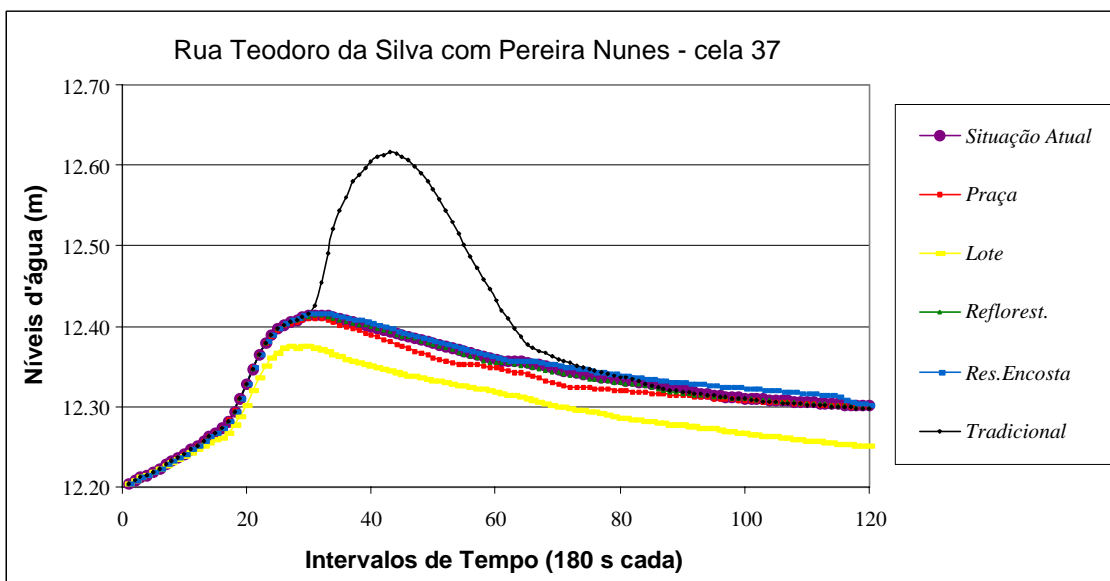


Figura 6.65 - Planície do rio Joana.

Após a saída do rio Joana em galeria na Av. Professor Manuel de Abreu, já no terço inferior da bacia, no P4, nota-se a propagação dos efeitos observados na calha do rio Joana no terço médio da bacia (figura 6.64), confirmando-se a superioridade das intervenções em lotes, praças e reflorestamento na redução de níveis na calha no trecho médio-baixo da bacia (figura 6.66).

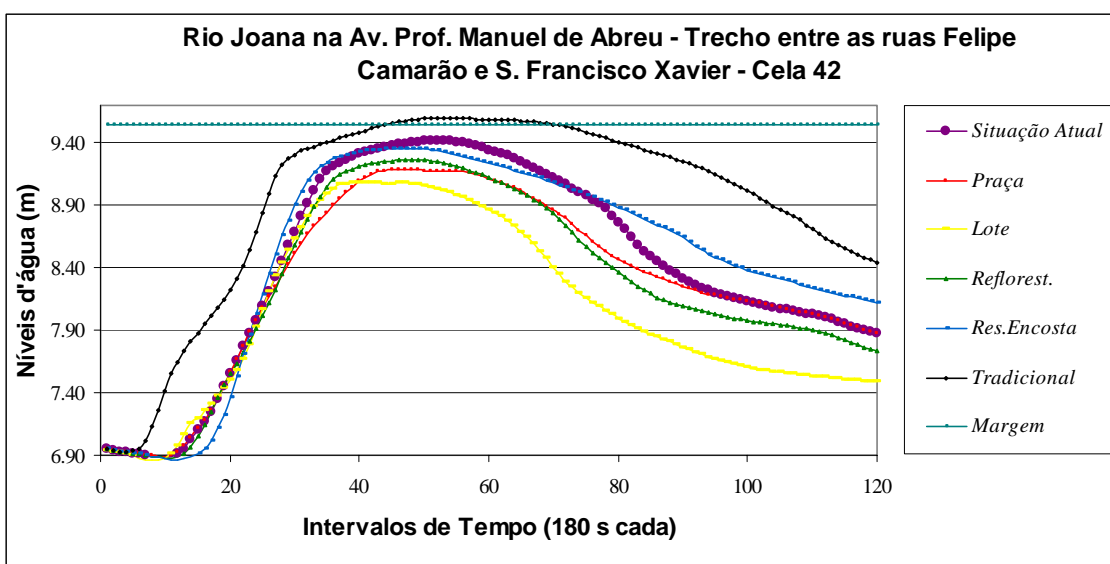


Figura 6.66 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência coma galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

No trecho final da bacia em P1, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem, comprova-se a superioridade dos reservatórios de lotes,

de praças e o reflorestamento na redução dos níveis na calha do rio no trecho baixo da bacia, embora o rio verta em todas as simulações (figura 6.67).

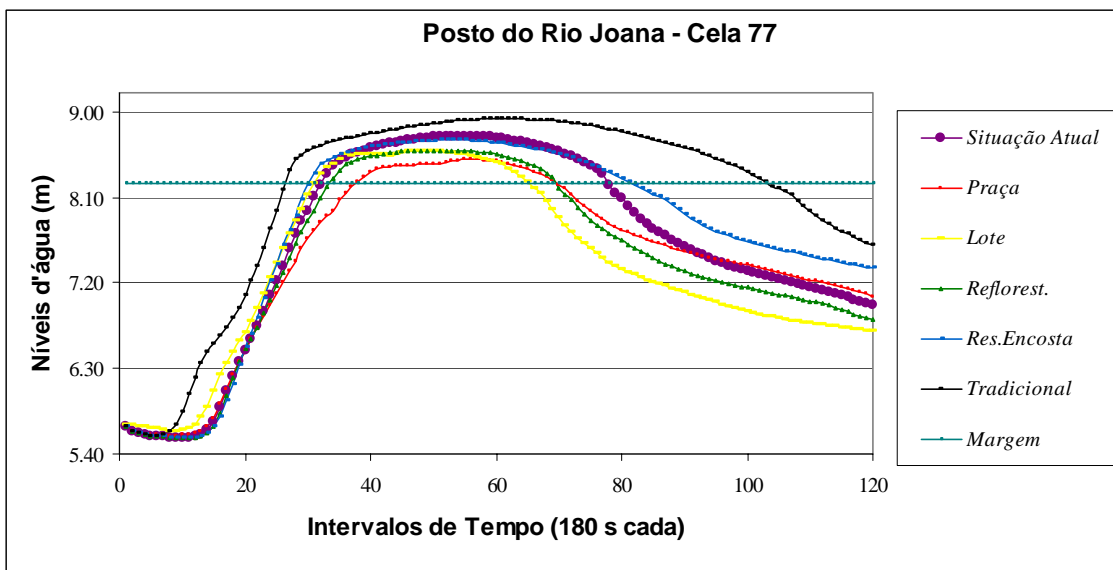


Figura 6.67 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem.

A situação da planície urbana no P1 comprova também a superioridade dos reservatórios de lotes, de praças e o reflorestamento na redução de alagamentos nas ruas, bem como o grande alagamento proporcionado pelas intervenções tradicionais na região (figura 6.68).

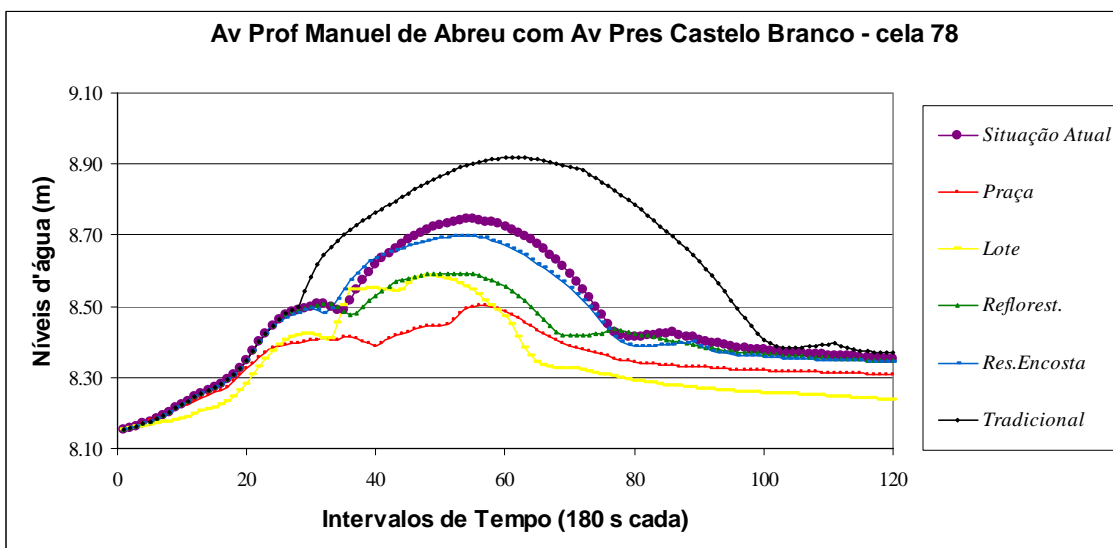


Figura 6.68 - Planície do rio Joana em seu terço final.

6.2.7. Discussão dos Resultados

Os resultados apresentados até o presente momento permitem apontar algumas generalizações importantes e especular que grupos de intervenções se complementam ou se excluem quando combinadas.

De uma forma geral se pode observar que um tipo de concepção de intervenção sozinha não resolve o problema de alagamento na bacia, visto que cada uma possui um foco de atuação, propagando seus efeitos de forma diferenciada espacialmente.. Além disso, percebe-se, nesta bacia, a criticidade dos alagamentos na situação atual, com vastas áreas atingidas.

O reflorestamento de encostas e os reservatórios de amortecimentos em encostas, ao drenarem apenas as águas que escoam nestas, possuem o mesmo foco de atuação. Entretanto seus efeitos se propagam diferenciadamente já que os reservatórios de encosta amortecem as vazões liberando-as lentamente na rede de drenagem e imediatamente após o início da chuva. O reflorestamento, não disponibiliza água de imediato na rede de drenagem e sim nas ruas. No entanto, esta intervenção retira água do sistema retornando-a parcialmente em intervalos de tempos muito superiores aos simulados nesta Tese, proporcionando a redução de alagamentos de forma generalizada na bacia.

Os reservatórios em praça e em lotes de forma similar apresentam comportamentos espacialmente diferentes embora com o mesmo foco de atuação, qual seja o amortecimento das vazões que caem e/ou escoam sobre a planície de inundação, embora, em relação aos seus efeitos, os reservatórios de lotes drenem, especificamente, as águas que caem sobre os lotes e os reservatórios de praças drenem as que caem sobre as ruas e quadras adjacentes, bem como aquelas que se originam das encostas e chegam ao seu entorno. Globalmente seus efeitos são similares e dependentes da condição de funcionamento pleno e a contento das redes de micro e macro drenagem.

A mais singular de todas as intervenções trata das obras tradicionais, que envolvem o aumento em área da seção transversal da rede de macro-drenagem. Esta seria a única intervenção que não poderia ser implementada sozinha sem prejuízo do alagamento a

jusante da sua área de atuação. Seu efeito é basicamente local, causando redução de alagamento e, usualmente, acarretando aumento e/ou transferência dos alagamentos de montante para jusante de sua área de atuação.

Diante dos fatos acima comentados espera-se, de forma global, que as melhores combinações duas a duas se baseiem na escolha de uma intervenção que atue nas partes superiores da bacia (intervenção tradicional, reservatório de encosta ou reflorestamento) e outra que atue na planície de inundação (reservatório de lotes ou praças).

De acordo com o que percebido até o momento, os reservatórios de lotes são a única medida que reduz satisfatoriamente os níveis na calha e na planície urbana de forma sistêmica na bacia. Portanto suas combinações com as medidas que atuam nas partes superiores devem apresentar êxito. Os reservatórios de encosta e as intervenções tradicionais, que promovem as maiores reduções na parte alta da bacia, podem complementar o efeito dos reservatórios de lotes neste trecho. Embora se espere maior resultado quando combinada com os reservatórios de encosta, pois as intervenções tradicionais poderão melhorar os alagamentos na região de aplicação em detrimento de regiões à jusante.

O reservatório em praças se mostra uma medida bastante promissora também, pois apesar de mostrar resultados apenas razoáveis na parte alta da bacia, na parte baixa ele reduz satisfatoriamente os níveis d'água na calha e de alagamento nas ruas.

De forma a elucidar tal questão, no tópico a seguir, todas as combinações possíveis serão testadas para explicitar complementaridades e concorrências das intervenções propostas para a bacia do rio Joana.

6.3. Cenários com 5 intervenções combinadas, duas a duas.

De forma a facilitar as análises nesta fase de combinações, cada intervenção foi focada individualmente, e um conjunto com as suas combinações possíveis em um mesmo gráfico. Adicionalmente foram plotadas as curvas desta intervenção isoladamente, sem combinação alguma, e a da situação atual sem intervenções.

6.3.1. Reservatórios de encosta

Em função das características deste tipo de intervenção, a área de influência da mesma vai desde a proximidade das encostas onde se localizam os reservatórios, tendo seu efeito diminuído a medida em que se caminha a jusante. Tal fato pode ser comprovado quando é comparada a curva do reservatório de encosta, isoladamente, com as outras com as quais se combina à medida que se caminha de montante para jusante na bacia.

Pode-se perceber ainda que, à medida que se caminha para jusante do reservatório, entra-se na área de influência das outras intervenções. Os reservatórios em lotes e praças, que possuem área de influência localizada para cada reservatório, cobrem porém a bacia de forma distribuída na planície urbana. Como há grandes alagamentos iniciais, na situação atual, os reservatórios de encostas retiram águas das ruas próximas com mais eficácia, reduzindo a sua atuação em pontos mais afastados. Nestes locais, então, com a utilização dos reservatórios de praças e lotes, cumprindo uma função de atuação local, otimizada pela redução da contribuição das encostas, resultados combinados apresentam-se potencializados. As intervenções tradicionais, que possuem efeitos benéficos apenas a montante, comprometendo este desempenho à medida que se caminha para jusante, mantêm um comportamento muito negativo a jusante, mesmo em combinação com os reservatórios de encosta. O reflorestamento, pelo fato de se localizar apenas nas encostas, apresenta resultados combinados muito próximos aos dos reservatórios de encosta atuando sozinho, portanto, com efeitos que são superpostos quando em combinação.

No P7, na sub-bacia dos rios Andaraí, Jacó e Perdido, formadores do rio Joana, nota-se uma boa complementaridade das intervenções com o reservatório de encosta, em especial quando combinada com as intervenções tradicionais, com uma redução de

70cm do nível d'água no pico da cheia, apresentando alagamentos inferiores a 10cm (figura 6.69). Pelo fato dos reservatórios de encosta despejarem o escoamento amortecido na rede de drenagem, muitas vezes sobrecarregando-a, com a ampliação dos diâmetros das galerias da rede de drenagem nesta região da planície urbana de montante, as galerias deixam de sofrer os efeitos desta sobrecarga, propiciando a ocorrência de ruas menos alagadas.

Os reservatórios em lotes e em praças apresentam bons resultados combinados, embora por competirem pelo uso da rede com os reservatórios de encostas, não apresentem resultados combinados tão bons como aquele apresentado pela combinação com as intervenções tradicionais neste trecho, comprovando que seus efeitos benéficos são dependentes do seu funcionamento integrado com a rede de drenagem. A combinação do reservatório de encosta com o reflorestamento é a menos complementar nessa região, embora com resultados positivos para o sistema devido a administração de uma parcela do escoamento que só retornará ao mesmo em um intervalo muito superior ao simulado.

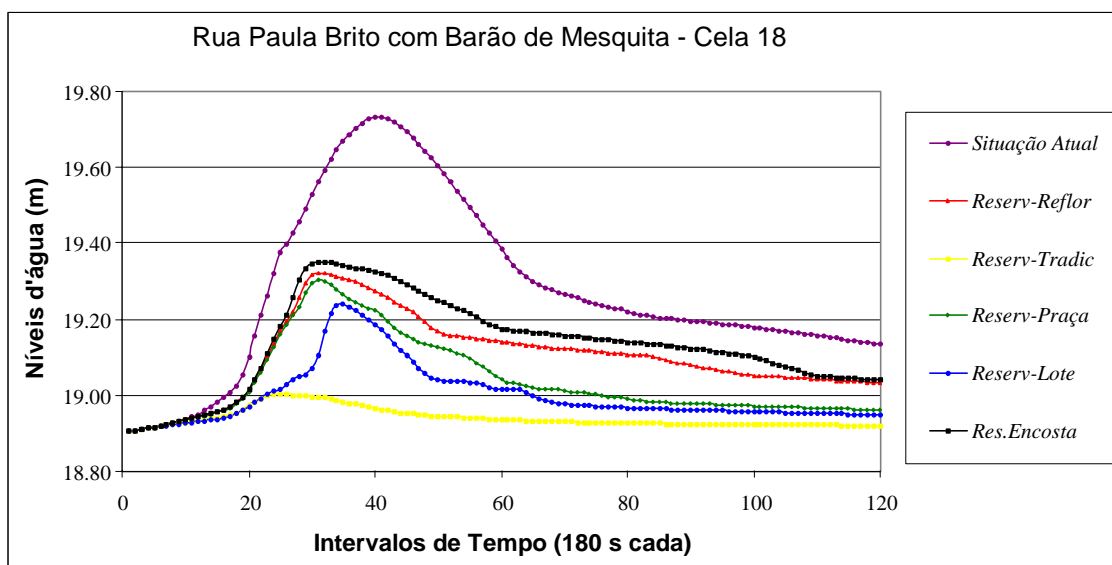


Figura 6.69 - Planície do rio Joana. Célula localizada um pouco mais distante das encostas do rio Perdido e Jacó e próxima à do Andaraí.

Na sub-bacia do rio Urubus, afluente do rio Joana pela margem esquerda, no P2, observa-se uma boa complementaridade dos reservatórios de encosta com as demais intervenções, exceto quando combinada com o reflorestamento, o qual tem efeitos superpostos ao do reservatório de encosta por si só (figura 6.70). Analisando em especial a combinação dos reservatórios de encosta com os de lote, verifica-se uma grande redução dos alagamentos no trecho. Nesta região os reservatórios de lotes

encontram-se bastante disseminados na planície urbana quando comparado com a disseminação dos mesmos na sub-bacia formadora do rio Joana (figura 5.3).

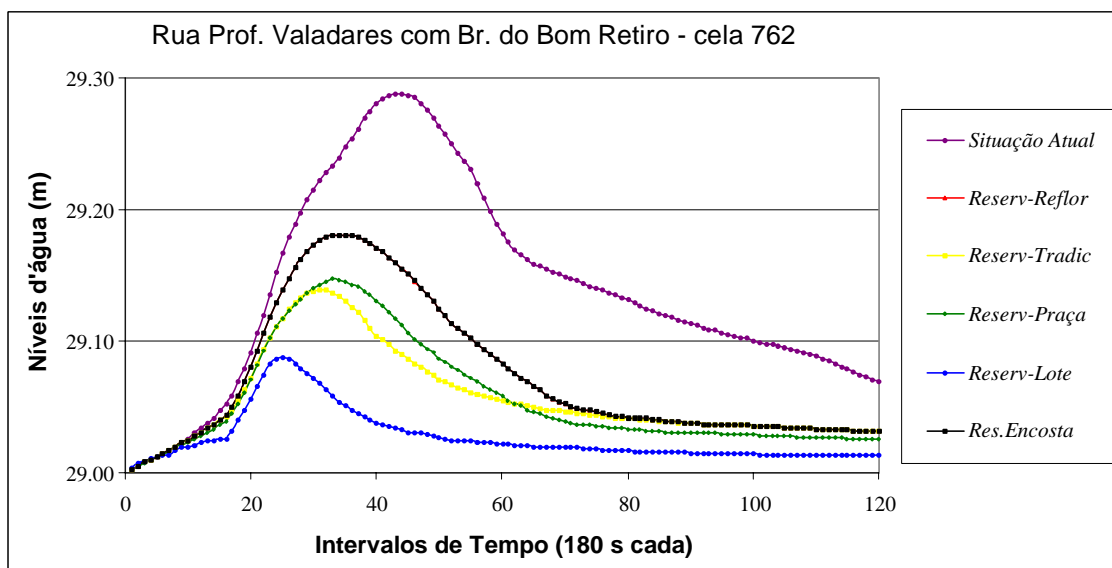


Figura 6.70 - Planície do rio Joana em seu terço inicial. Célula localizada próxima à encosta do Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

No P5, nota-se ainda a complementaridade das obras, com destaque para os reservatórios em lotes e as intervenções tradicionais quando combinadas respectivamente com os reservatórios de encostas (figura 6.71).

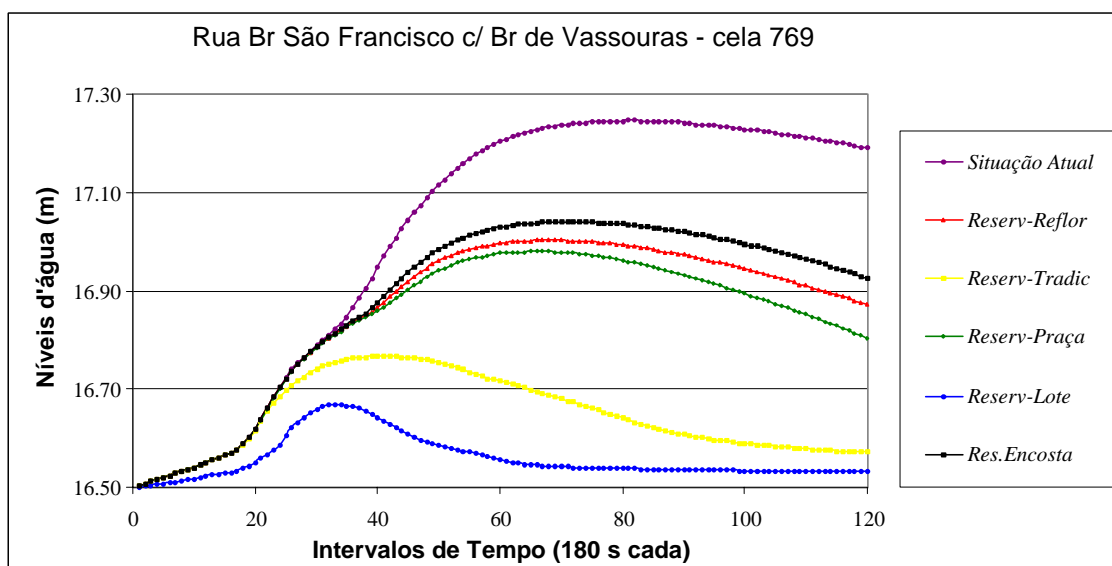


Figura 6.71 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada próxima à encosta do Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

Observando agora a calha do rio Joana no P5, após a confluência das sub-bacias dos rios Jacó, Perdido, Andaraí e Urubus, verifica-se pouca complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com os reservatórios de encostas, em especial quando

combinada com as intervenções tradicionais (figura 6.72). Neste caso há um aumento significativo do nível d'água na calha durante todo o intervalo de tempo, devido ao aceleramento do escoamento proporcionado pelo aumento dos diâmetros das galerias de macrodrenagem realizado a montante deste trecho, piorando inclusive os níveis na calha quando comparado com a situação pregressa sem nenhuma intervenção projetada.

Essa pequena modificação das aplicações combinadas em relação à situação atual talvez seja explicada pela pouca sensibilidade do escoamento em calha, neste ponto, em relação às intervenções de lotes e praças, distribuídas na planície. É possível que estas atuações distribuídas estejam atuando mais fortemente na redução dos alagamentos das ruas, onde as águas já estavam indesejavelmente armazenadas, e não propaguem efeitos maiores para a calha. Na combinação reservatório de encosta/ reflorestamento, a mesma já vem mostrando um razoável grau de concorrência, o que complementa o quadro de resultados das combinações, similares ao da intervenção isolada.

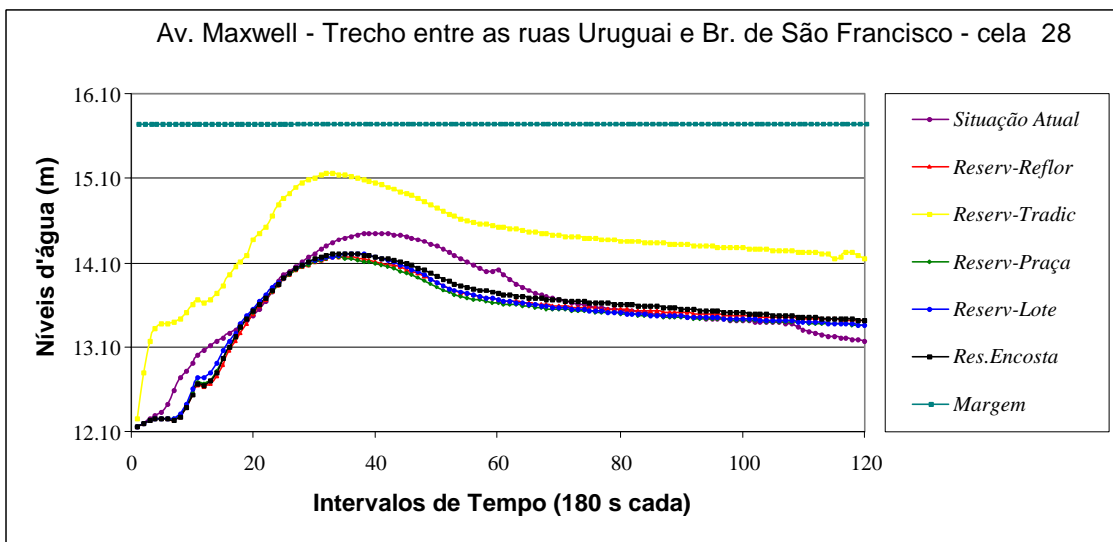


Figura 6.72 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No P6, observa-se também uma pouca complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com os reservatórios de encostas, com as intervenções tradicionais apresentando melhores resultados de redução de alagamentos. Embora nesta combinação o rio esteja com nível mais alto na calha quando comparado com as outras combinações neste local, a situação na planície é a melhor, situação que permanecerá até o extravasamento do rio (figura 6.73). Este ponto de observação, entretanto, por estar sofrendo pouca influência da maioria das intervenções, não ajuda na análise. Talvez se esteja aqui no limite da área de influência das várias intervenções, exceto em relação à intervenção tradicional.

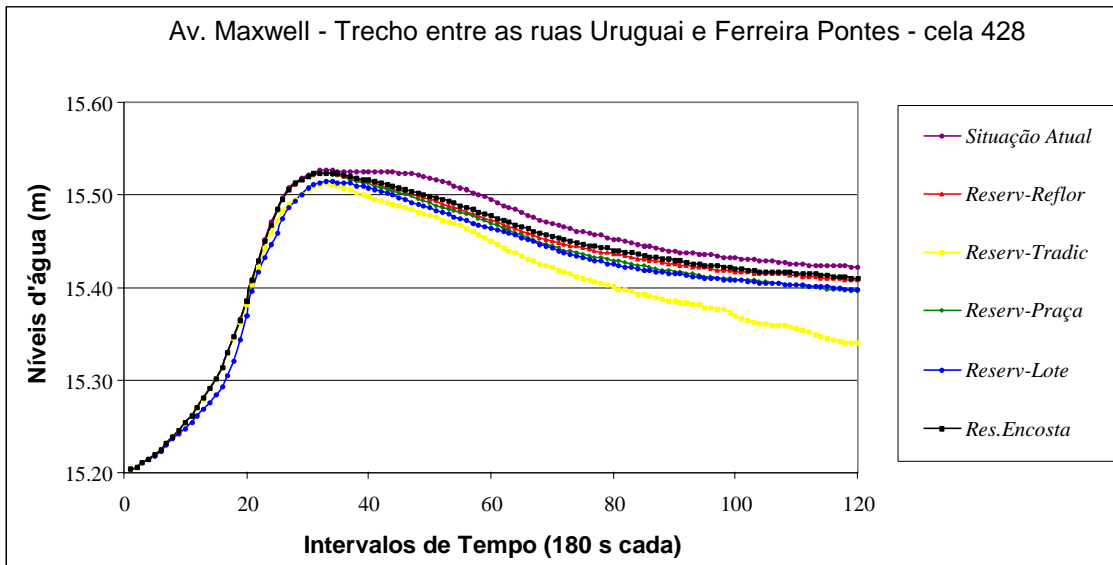


Figura 6.73 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

No P3, na calha do rio, nota-se ainda a pouca complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com os reservatórios de encostas com resultados pouco melhores para a combinação com praças e havendo extravasamento do rio na combinação com as intervenções tradicionais (figura 6.74).

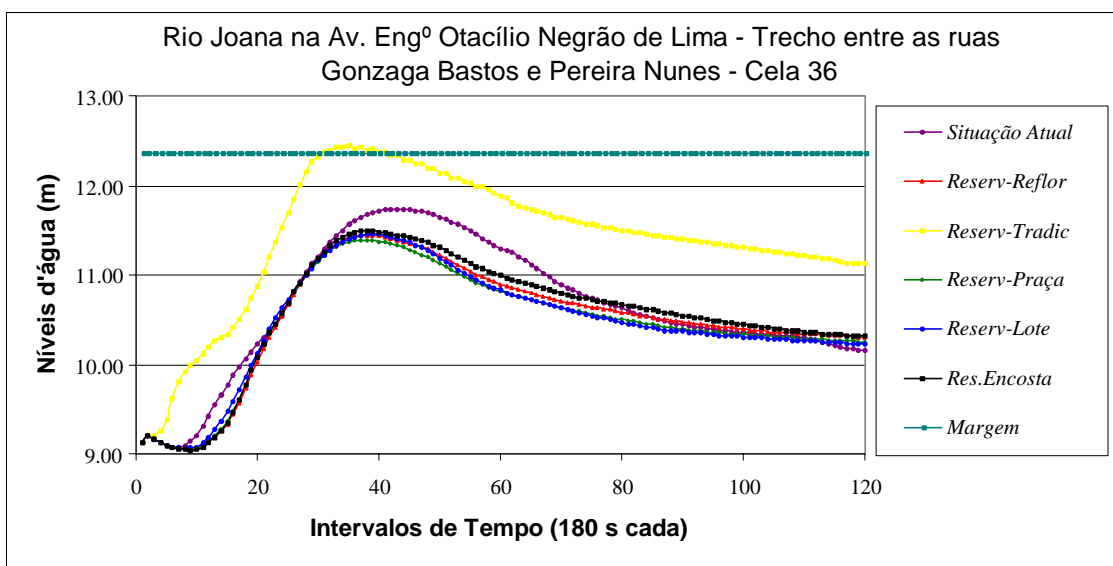


Figura 6.74 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

No P3 na planície urbana, verifica-se uma boa complementaridade das intervenções em praças e em lotes com os reservatórios de encosta, com o reflorestamento se sobrepondo ao efeito dele sozinho e com a sua combinação com as intervenções tradicionais piorando o quadro de alagamentos na região (figura 6.75). Na verdade, os reservatórios de encosta nessa região não estão produzindo efeitos com eficiência, tornando este local

não propício para avaliar as combinações de efeito. Provavelmente efeitos positivos ou negativos são funções das intervenções consideradas em acréscimo aos reservatórios de encosta.

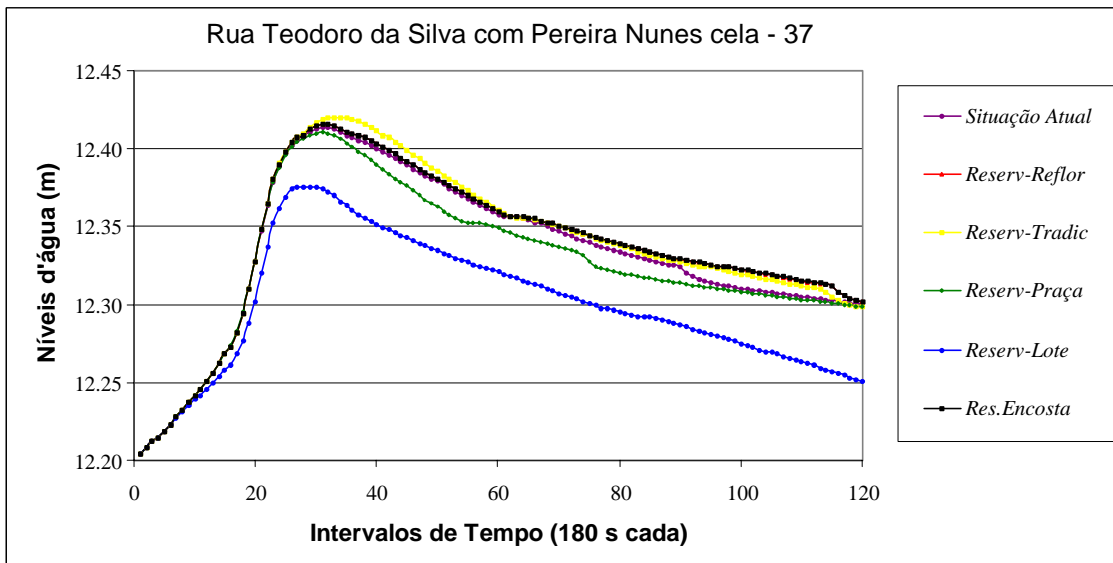


Figura 6.75 - Planície do rio Joana. Célula

Após a saída do rio Joana em galeria na Av. Professor Manuel de Abreu, no P4, nota-se a boa complementaridade dos reservatórios de encosta com as intervenções em lotes e praças, e o extravasamento do rio para as ruas com aumento do nível d'água na calha na combinação com as intervenções tradicionais, devido à propagação dos efeitos de afogamentos de galerias no terço médio da bacia, proporcionado pelo alto nível d'água na calha naquele trecho (figura 6.76).

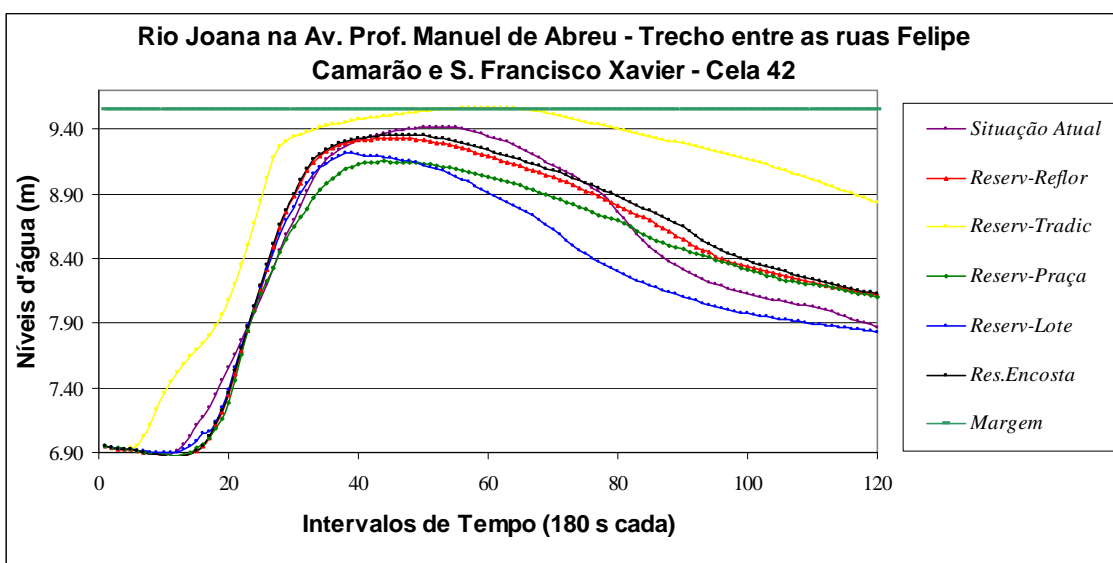


Figura 6.76 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

No trecho final da bacia no P1, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem, observa-se ainda a boa complementaridade dos reservatórios de encosta com as intervenções em lotes e praças na calha, embora ocorra o extravasamento do rio para as ruas com aumento do nível d'água na calha em todas as combinações, em especial com as intervenções tradicionais, que pioram em muito a situação pregressa de alagamentos na região (figura 6.77).

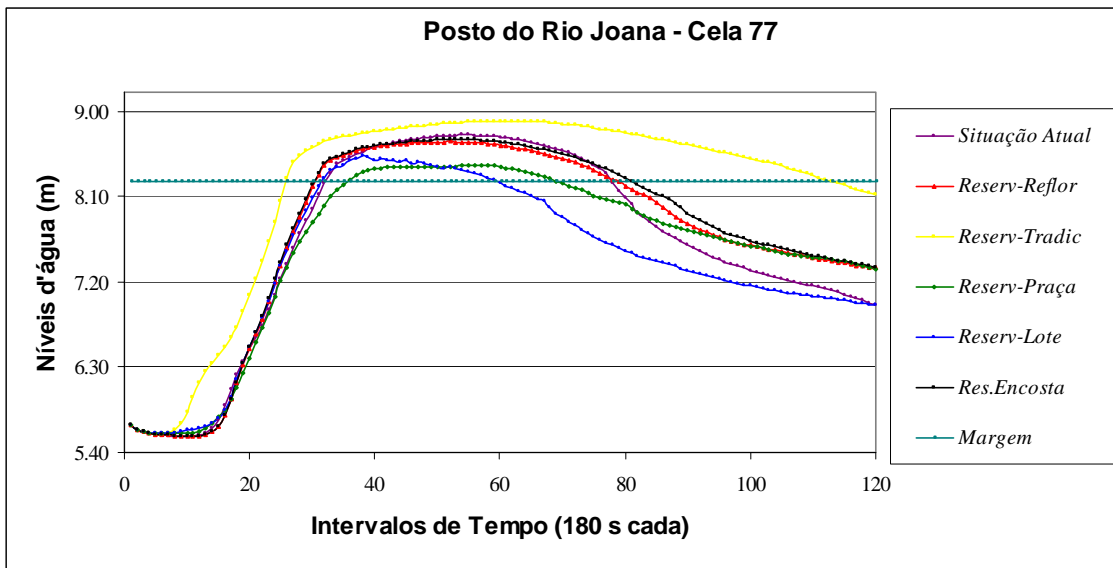


Figura 6.77 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem.

A situação da planície urbana no P1 é crítica devido ao extravasamento que ocorre em todas as combinações (figura 6.77). Entretanto percebe-se que os reservatórios em encostas, quando combinados com as intervenções em praças e em lotes, amenizam o quadro de alagamentos na região (figura 6.78). O mesmo não se pode dizer de sua combinação com a ação do reflorestamento e em especial com as intervenções tradicionais. Esta última combinação agrava muito o quadro de alagamentos na região ao compararmos com a situação pregressa.

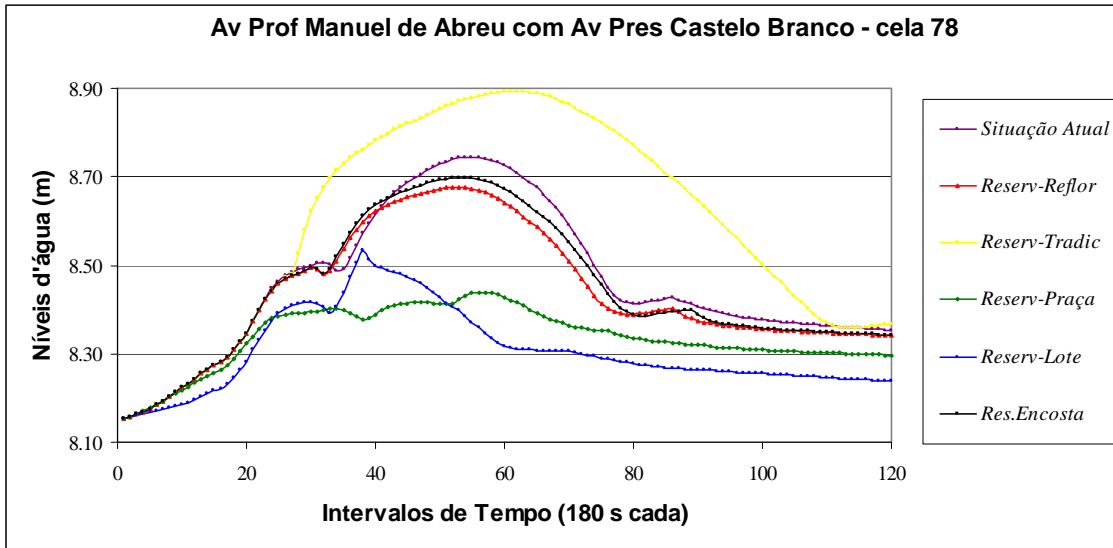


Figura 6.78 - Planície do rio Joana em seu terço final, célula localizada logo adiante da célula 77.

Analisando o comportamento dos reservatórios de encosta, em combinação com as demais intervenções, nota-se que, quando esta intervenção se combina com os reservatórios de praças e especialmente com os reservatórios de lotes, grandes benefícios de redução de níveis d'água na calha e nas ruas são proporcionados na bacia, confirmando a expectativa que se tinha quando se analisou individualmente todas intervenções no item 6.2.6 e se supôs que as intervenções que atuam controlando as contribuições de encostas iriam se combinar bem com as intervenções que atuam na planície urbana. Por outro lado estas combinações, assim como todas as demais, não foram capazes de manter o rio na calha na parte baixa da bacia.

6.3.2. Reflorestamento

O reflorestamento proposto, apesar de por si só não resolver os problemas de alagamento na bacia, mostra-se uma medida importante pelo fato de retirar momentaneamente água do sistema. Seus efeitos de amortecimento são moderados, porém percebidos em quase toda bacia. Quando combinada com outras intervenções, revela-se uma medida das mais complementares, fazendo com que regiões alagadas próximas à sua localização sejam mais intensamente afetadas de forma positiva e regiões mais distantes podem sofrer maior ou menor atenuação de enchentes, em função do volume original de alagamento da planície, bem como do nível de complementaridade desta medida em relação às demais intervenções. Tal fato pode ser comprovado quando é comparada a curva do cotograma do reflorestamento com as outras onde ele se combina, à medida que se caminha de montante para jusante na bacia.

Pode-se perceber, pela observação dos resultados, que quando nos afastamos dos locais de reflorestamento em direção à área de influência de outras intervenções, têm-se os reservatórios em lotes e em praças, apresentando melhores resultados de combinação quando comparados com os dos reservatórios de encosta e, em especial, com as intervenções tradicionais, que possuem efeitos benéficos apenas a montante, comprometendo este desempenho à medida que se caminha para jusante.

No P7, nota-se uma boa complementaridade das demais intervenções em relação ao reflorestamento (figura 6.79). No caso dos reservatórios de encostas, pelo fato deste dispositivo amortecer as águas superficiais não passíveis de serem controladas pelo reflorestamento, impedindo estas atinjam as ruas, os mesmos promovem uma boa redução nos alagamentos neste trecho na combinação com o reflorestamento. Entretanto, este efeito possivelmente carrega um forte componente de combinação espacial, dado que o reservatório do Andaraí atua nas vertentes que formam este rio, mas não abrange boa parte das encostas favelizadas que aparecem paralelamente à rua Uberaba e que foram consideradas reflorestadas. Este, porém, não é o foco principal deste trabalho. Quando combinada com as intervenções tradicionais, os reflorestamentos registram uma redução de 40cm do nível d'água no pico da cheia. Com a ampliação dos diâmetros das galerias da rede de drenagem nesta região da planície urbana de montante, as galerias deixam de extravasar deixando as ruas mais secas.

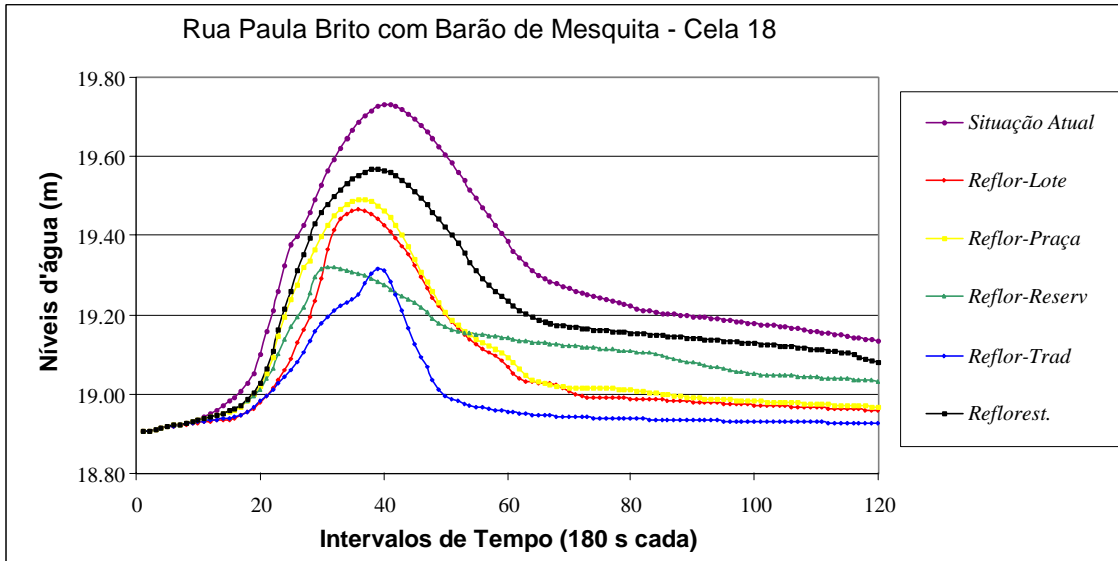


Figura 6.79 - Planície do rio Joana. Célula localizada um pouco mais distante das encostas do rio Perdido e Jacó e próxima à do Andaraí.

Na sub-bacia do rio Urubus, no P2, observa-se uma boa complementaridade dos reflorestamentos com as demais intervenções (figura 6.80). Analisando em especial a combinação com os reservatórios de lote, verifica-se uma grande redução, da ordem de 20 cm, dos alagamentos no trecho. Nesta região os reservatórios de lotes encontram-se bastante disseminados na planície urbana quando comparado com a disseminação dos mesmos na sub-bacia formadora do rio Joana (figura 5.3).

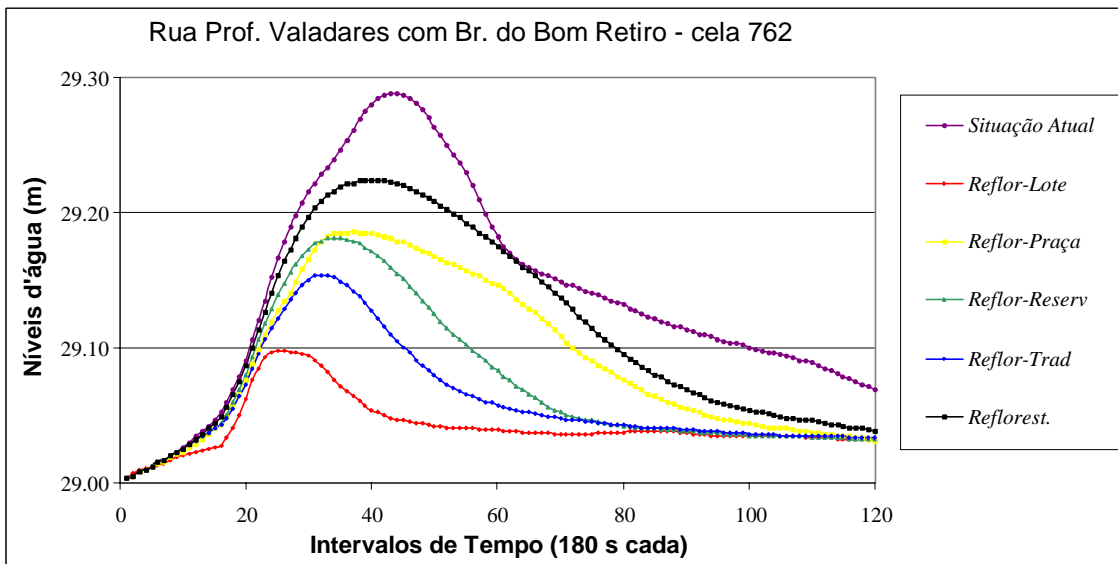


Figura 6.80 - Planície do rio Joana em seu terço inicial. Célula localizada próxima à encosta do Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

No ponto de controle P5, na planície urbana, nota-se ainda a complementaridade das obras, com destaque para os reservatórios em lotes e as intervenções tradicionais quando combinadas respectivamente com o reflorestamento (figura 6.81).

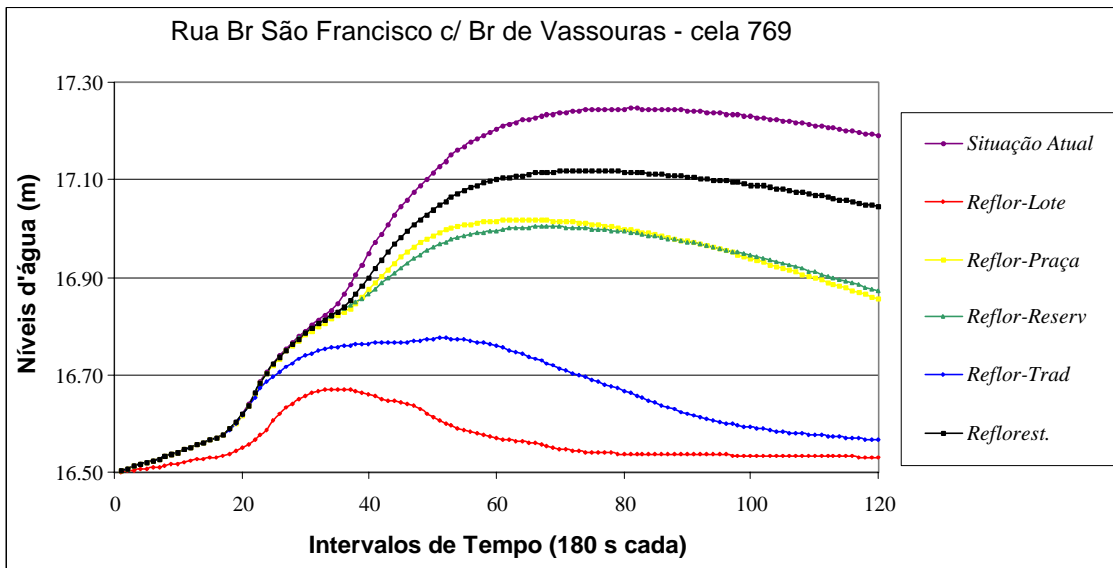


Figura 6.81 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada próxima à encosta do Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

Em relação ao comportamento da calha do rio Joana no P5 da bacia, verifica-se pouca complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com o reflorestamento, em especial quando combinada com as intervenções tradicionais (figura 6.82). Neste caso há uma leve piora inclusive nos níveis na calha quando comparado com a situação progressa sem nenhuma intervenção. Comportamento semelhante ao apresentado pelas intervenções em combinação com os reservatórios de encosta no trecho (figura 6.72).

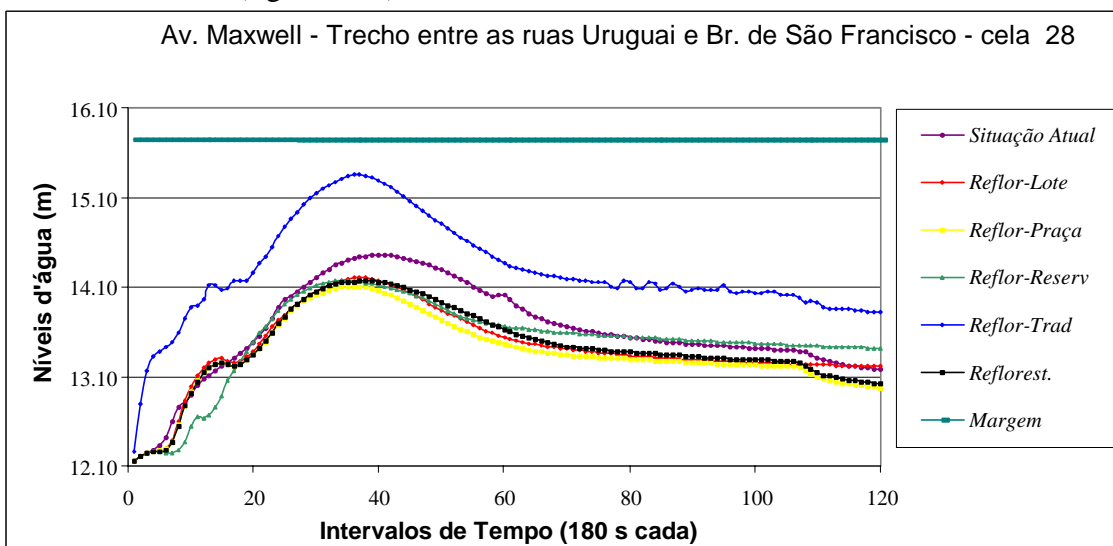


Figura 6.82 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No ponto de controle P6, na planície urbana, observa-se também uma pouca complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com o reflorestamento, com as intervenções tradicionais apresentando melhores resultados de

redução de alagamentos (figura 6.83). Embora nesta combinação o rio esteja com nível mais alto na calha, quando comparado com as outras combinações neste trecho, a situação na planície é melhor. Comportamento semelhante ao apresentado pelas intervenções em combinação com os reservatórios de encosta no trecho (figura 6.73).

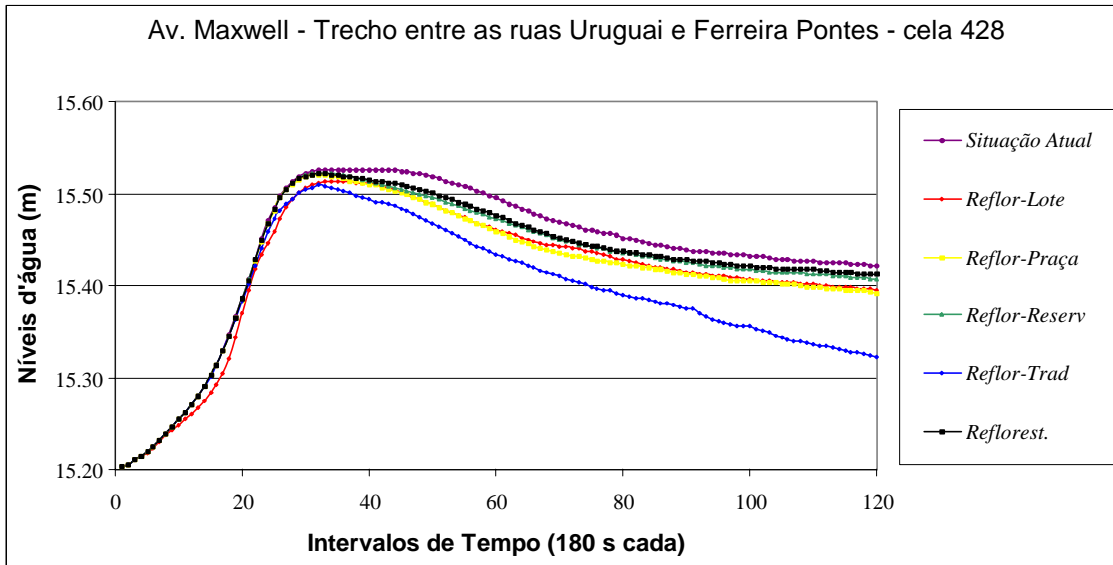


Figura 6.83 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada distante da ação dos reflorestamentos e no limite das várias áreas de influência das intervenções propostas.

No P3, nota-se também a pouca complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com o reflorestamento, com o notório extravasamento do rio na combinação com as intervenções tradicionais (figura 6.84). Entretanto, este extravasamento aparece em proporções ainda maiores que aquelas apresentadas pelas intervenções tradicionais em combinação com os reservatórios de encosta no trecho (figura 6.74).

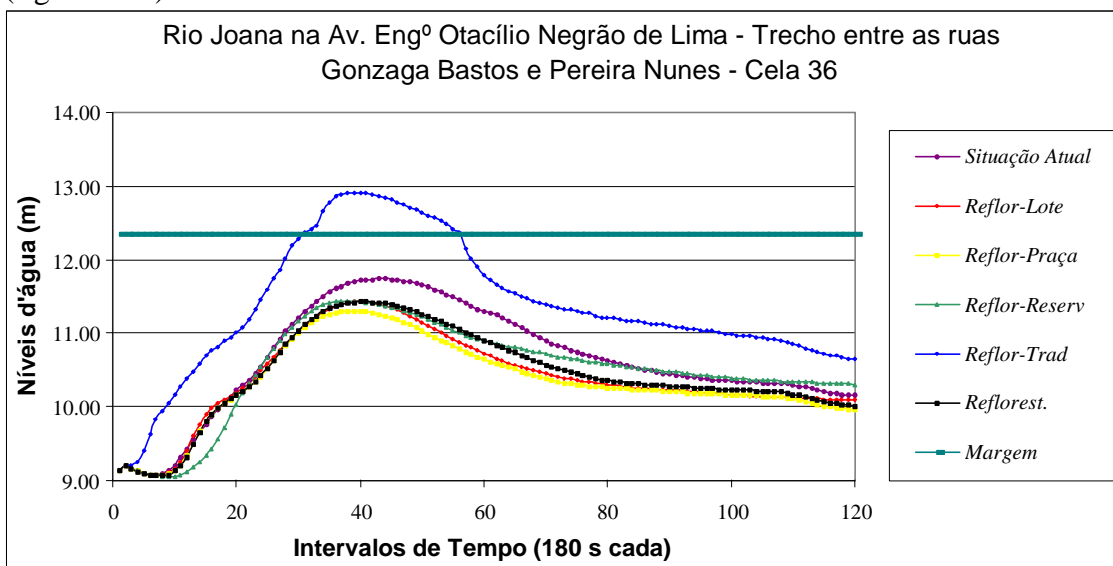


Figura 6.84 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

No P3, na planície urbana, verifica-se uma boa complementaridade das intervenções em praças e em lotes com o reflorestamento. Na combinação com os reservatórios de encosta, esta se sobrepõe ao efeito do reflorestamento sozinho. A combinação com as intervenções tradicionais piora o quadro de alagamentos na região (figura 6.85). Como este local se mostra pouco sensível aos efeitos do reflorestamento, o mesmo torna-se pouco adequado à análise de efeitos positivos combinados.

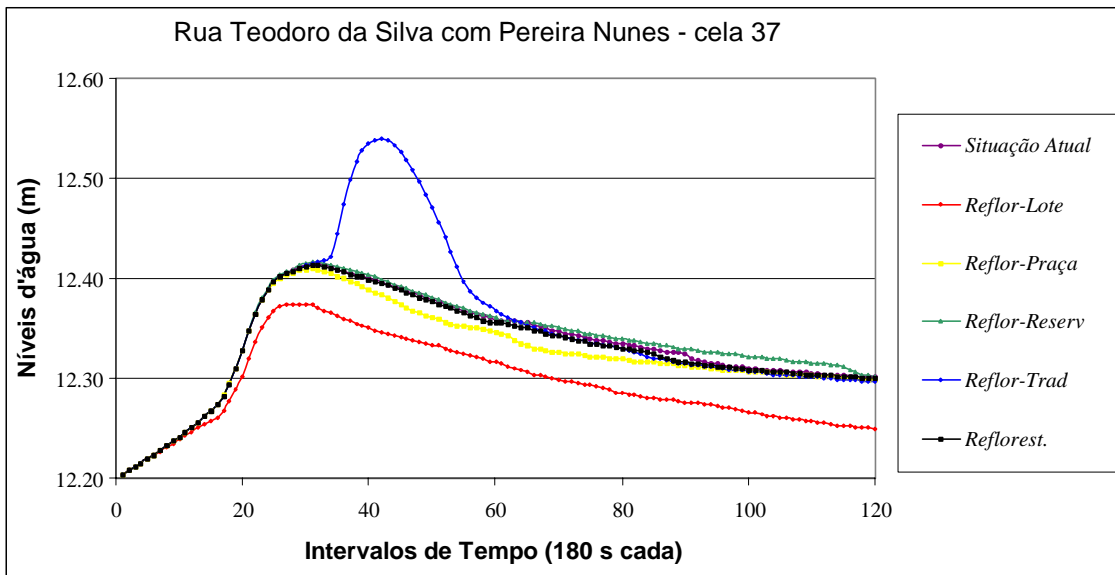


Figura 6.85 - Planície do rio Joana. Célula localizada distante à ação dos reflorestamentos.

No P4, nota-se a boa complementaridade do reflorestamento com as intervenções em lotes e praças, e o aumento significativo do nível na calha do rio na combinação com as intervenções tradicionais (figura 6.86), embora o mesmo não verta para as ruas como na combinação dos reservatórios de encosta com estas intervenções tradicionais (figura 6.76).

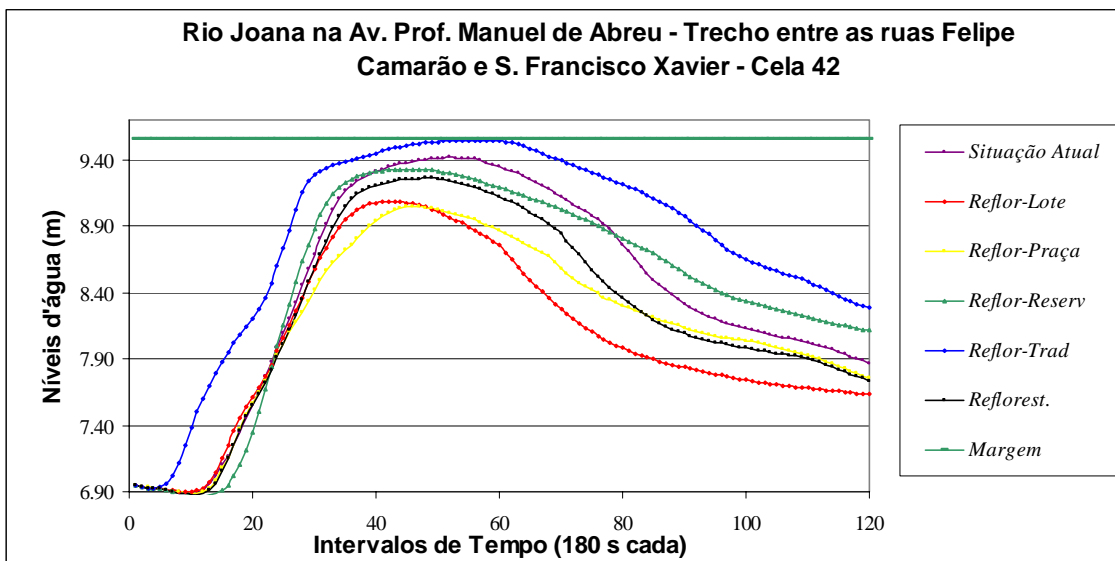


Figura 6.86 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva.

No trecho final da bacia no P1, observa-se ainda a boa complementaridade do reflorestamento com as intervenções em lotes e praças na calha, embora ocorra o extravasamento do rio para as ruas com aumento do nível d'água na calha em todas as combinações, em especial com as intervenções tradicionais que pioram em muito a situação pregressa de alagamentos na região (figura 6.87). Este comportamento é semelhante ao apresentado pelas intervenções tradicionais em combinação com os reservatórios de encosta no trecho (figura 6.77).

Entretanto cabe salientar que, nesta região, a combinação do reflorestamento com os reservatórios de encosta, apesar de ambas apresentarem resultados benéficos quando não estão em combinação (figuras 6.77 e 6.87), produz efeitos que pioram o quadro de alagamentos tanto na calha (figura 6.87) como na planície urbana (figura 6.88). Cabe destacar, ainda, que, enquanto o reservatório de encosta gera um amortecimento, utilizando a rede de drenagem para lançamento das vazões superficiais amortecidas, o reflorestamento modifica as parcelas do ciclo hidrológico, diminuindo, de fato, o volume d'água disponível para o escoamento superficial.

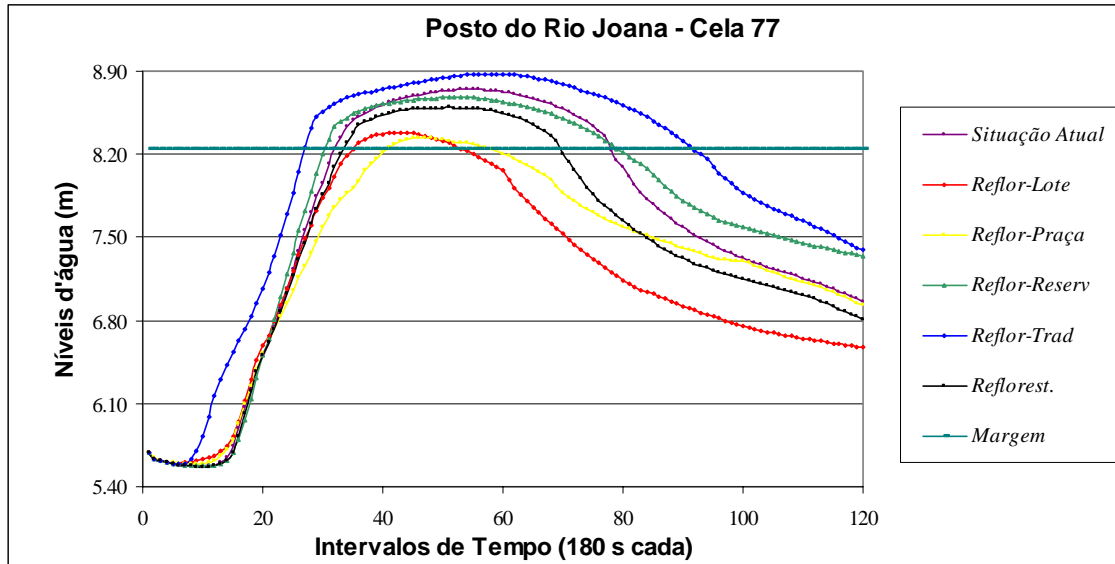


Figura 6.87 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã,

A situação da planície urbana no P1 é crítica devido ao extravasamento que ocorre no rio em todas as combinações (figura 6.87). Entretanto percebe-se que o reflorestamento, quando combinado com as intervenções em praças e em lotes, ameniza em muito o quadro de alagamentos na região (figura 6.88), não passando de 25cm o nível d'água nas ruas e reduzindo em aproximadamente 35cm a situação pregressa. O mesmo não se

pode dizer de sua combinação com os reservatórios de encosta e em especial com as intervenções tradicionais. Esta última combinação agrava muito o quadro de alagamentos na região ao compararmos com a situação pregressa. Comportamento semelhante ao apresentado pelas intervenções diversas em combinação com os reservatórios de encosta no trecho (figura 6.78).

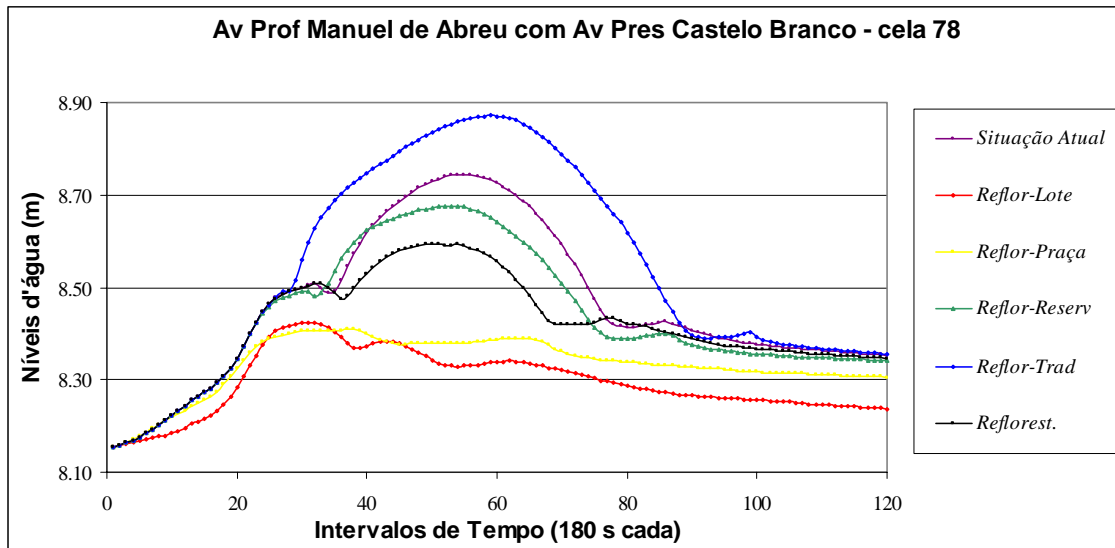


Figura 6.88 - Planície do rio Joana em seu terço final.

Analisando o comportamento dos reflorestamentos propostos em combinação com as demais intervenções, nota-se um comportamento semelhante ao observado nos reservatórios de encosta, ou seja, quando esta intervenção se combina com os reservatórios de praças e especialmente com os reservatórios de lotes, grandes benefícios de redução de níveis d'água na calha e nas ruas são proporcionados na bacia, confirmando, também, a expectativa que se tinha quando se analisou individualmente todas intervenções no item 6.2.6 e se supôs que as intervenções que atuam nas contribuições de encostas iriam se combinar bem com as intervenções que atuam na planície urbana. Por outro lado estas combinações, assim como as demais, não foram capazes de manter o rio na calha na parte baixa da bacia, embora o rio verta menos e por menor tempo na combinação da ação dos reflorestamentos com os reservatórios de praças e lotes quando comparado com os reservatórios de encosta combinados com os mesmos (figuras 6.77 e 6.87).

6.3.3. Reservatórios em praças

Os reservatórios de praças propostos para bacia do rio Joana encontram-se espacialmente bem distribuídos na malha urbana, conforme pode ser visto e identificado na figura 5.3. Esta distribuição espacial procurou cobrir homoganeamente toda a área da bacia, de modo a gerar áreas de influências complementares, entretanto, com os volumes possíveis para cada praça. Quando combinada com outras intervenções esta se revela uma medida das mais complementares.

Pode-se perceber porém que a potencialização, por trechos, dos efeitos da combinação dos reservatórios em praça com outras intervenções ora se mostram positivos ora negativos de acordo com a intervenção em questão e a situação pregressa de alagamentos. Os reservatórios em lotes, que também atuam de forma distribuída na planície urbana, apresentam melhores resultados combinados com praças na parte média-baixa da bacia onde a competição pela rede de drenagem é compensada pelo amortecimento proporcionado por ambas as intervenções somadas. Efeito similar é proporcionado pela sua combinação com o reflorestamento que, ao permitir escoar para as ruas o resíduo das águas superficiais que não foram possíveis de serem retidas por esta intervenção na parte alta da bacia, acaba indo parar na rede de macrodrenagem competindo com as praças pelo uso desta rede. Além disso, as praças mais a montante têm que trabalhar com estes volumes superficiais que excedem a capacidade de controle das intervenções de encosta. À medida que caminhamos para jusante e vai havendo compensação pelo amortecimento proporcionado por ambas as intervenções, esta combinação melhora sua performance. Quando combinada com os reservatórios de encosta esta intervenção apresenta efeitos benéficos de forma generalizada na bacia, exceto para a calha do rio Joana no trecho final da bacia. Já a sua combinação com as intervenções tradicionais, apresenta efeitos benéficos apenas a montante, diminuindo a eficiência à medida que se caminha para jusante.

No ponto de controle P7, nota-se uma boa complementaridade das intervenções com os reservatórios em praças na parte média-alta da bacia (figura 6.89). No caso dos reservatórios de encostas, pelo fato deste dispositivo amortecer as águas superficiais provenientes das encostas, impedindo que estas atinjam as ruas, os mesmos promovem uma redução de 43 cm nos alagamentos deste trecho quando combinados com os

reservatórios em praças. Quando combinados com as intervenções tradicionais, os reservatórios em praças registram uma redução de aproximadamente 33cm do nível d'água no pico da cheia. Reservatórios de praças e de lotes, atuando distribuidamente na bacia têm funções semelhantes, embora em escalas diferentes. Ambos também competem pelo uso da rede de microdrenagem. Entretanto, como os reservatórios em lotes não cobrem as ruas, passeios e áreas públicas, existe ainda um grau de complementaridade entre estas intervenções.

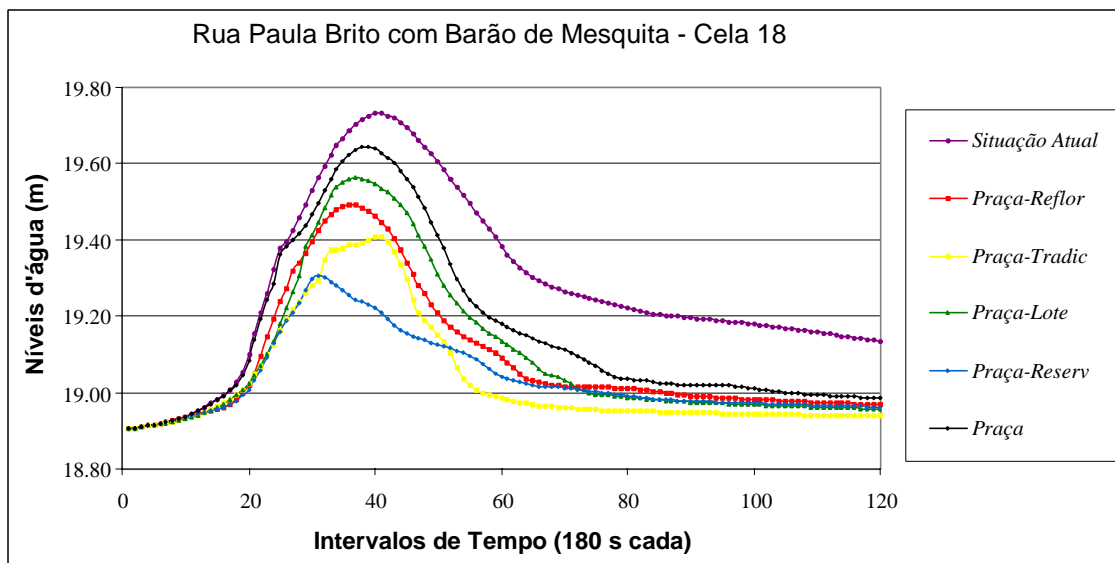


Figura 6.89 - Planície do rio Joana. Célula localizada um pouco mais distante das encostas do rio Perdido e Jacó e próxima à do Andaraí.

Na sub-bacia do rio Urubus, no P2, observa-se uma boa complementaridade dos reservatórios de praças com as demais intervenções, com destaque para sua combinação com os reservatórios de lotes, com as intervenções tradicionais e com os reservatórios de encosta (figura 6.90). Analisando em especial a combinação com os reservatórios de lote, verifica-se uma grande redução, da ordem de 15 cm, dos alagamentos no trecho. Nesta região os reservatórios de lotes encontram-se bastante disseminados na planície urbana, quando comparado com a disseminação dos mesmos na sub-bacia formadora do rio Joana (figura 5.3). Neste caso parece haver uma melhor complementação entre reservatórios de praças e em lotes, e não uma eventual concorrência, como poderia ser esperado.

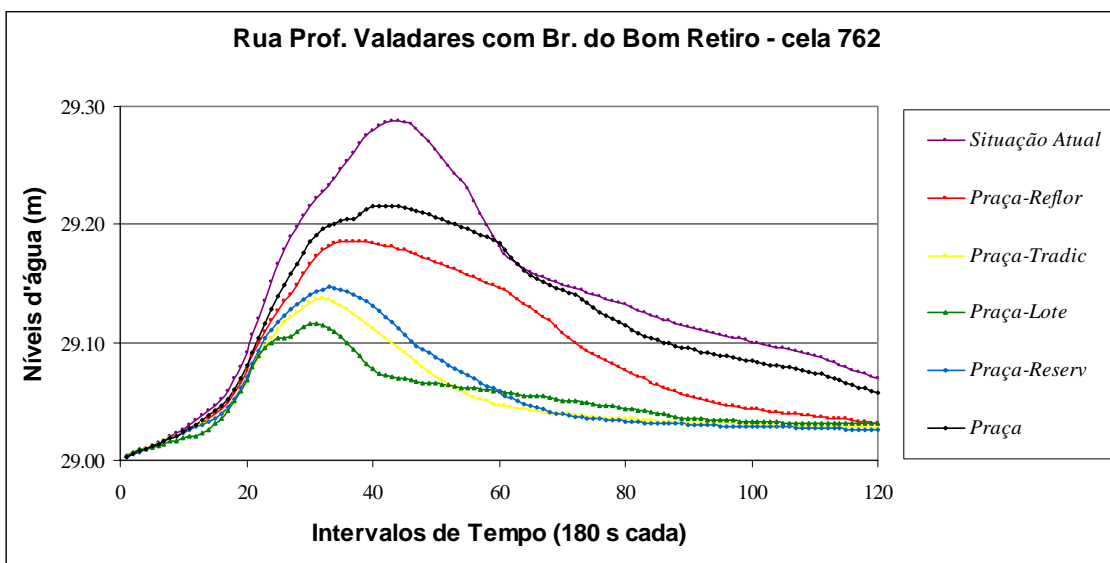


Figura 6.90 - Planície do rio Joana em seu terço inicial. Célula localizada próxima ao Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

No P5, nota-se ainda uma boa complementaridade das obras com os reservatórios em praças, com destaque também para os reservatórios em lotes e as intervenções tradicionais (figura 6.91).

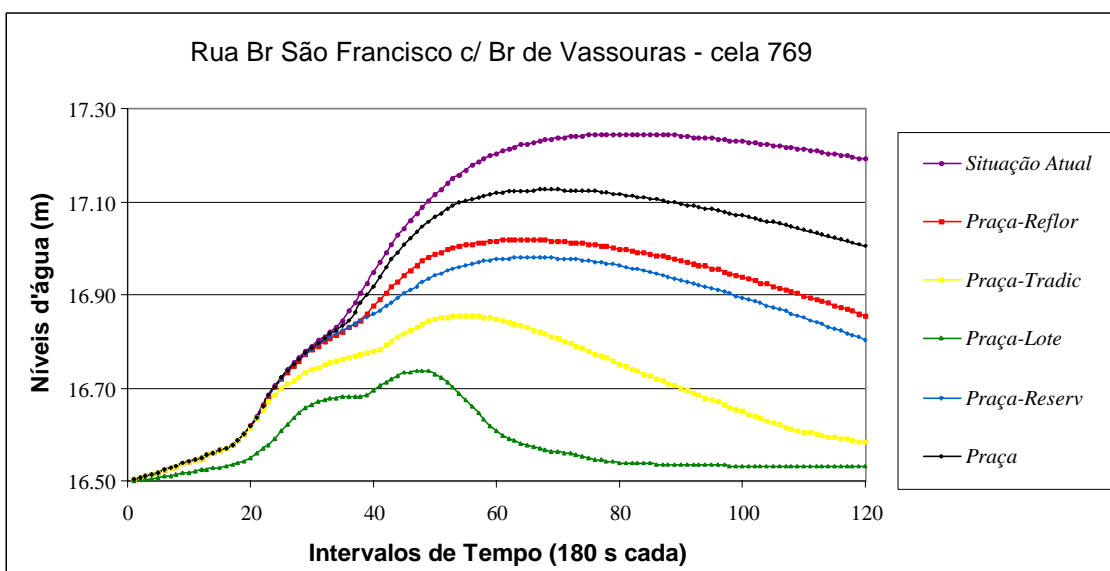


Figura 6.91 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada próxima ao Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

Em relação ao comportamento da calha do rio Joana no P5, após a confluência das sub-bacias dos rios Jacó, Perdido, Andaraí e Urubus, verifica-se pouca complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com os reservatórios em praças, em

especial quando combinada com as intervenções tradicionais (figura 6.92). Neste caso há uma piora inclusive nos níveis na calha quando comparado com a situação pregressa sem nenhuma intervenção. O comportamento apresentado pelas intervenções em combinação com os reservatórios de encosta e com os reflorestamentos neste trecho chega a gerar diminuições de 25cm no nível d'água na calha (figuras 6.72 e 6.82).

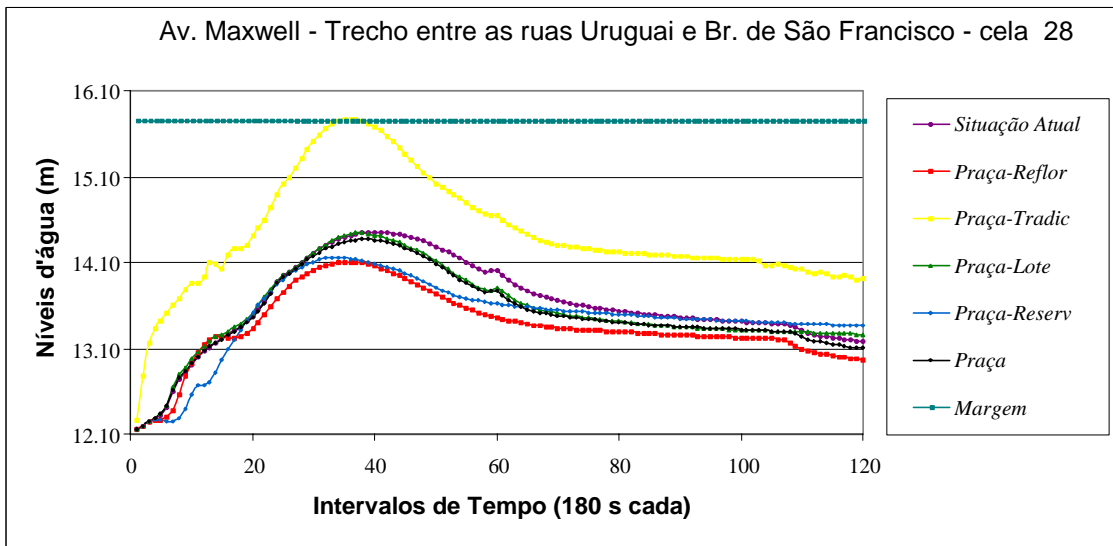


Figura 6.92 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No P6, observa-se também uma pequena complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com os reservatórios em praças, com as intervenções tradicionais apresentando melhores resultados de redução de alagamentos (figura 6.93). Embora nesta combinação o rio esteja com nível mais alto na calha quando comparado com as outras combinações neste trecho, ainda não ocorrem transbordamentos e a situação na planície é a melhor e assim permanecerá até o extravasamento do rio. Este comportamento é semelhante ao apresentado pelas intervenções tradicionais em combinação com os reservatórios de encosta e o reflorestamento no trecho (figuras 6.73 e 6.83).

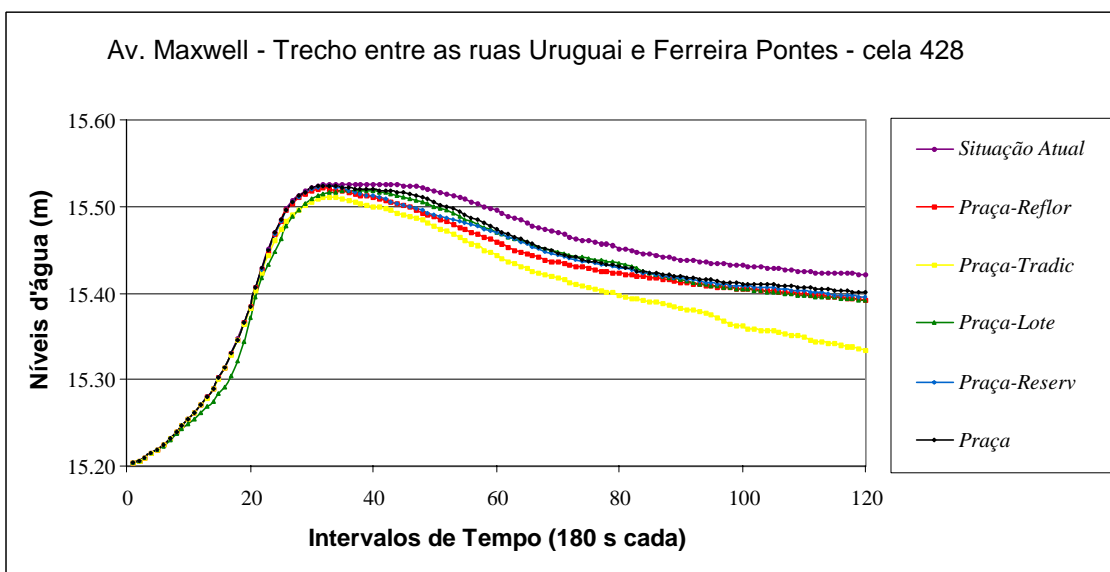


Figura 6.93 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

No P3, na calha do rio, nota-se, ainda, a não complementaridade das intervenções propostas em praças quando combinadas com os reservatórios em lotes. As intervenções tradicionais, combinadas com os reservatórios em praças, levam a um nítido extravasamento da calha do rio (figura 6.94), em proporções maiores do que o extravasamento apresentado pelas intervenções tradicionais em combinação com os reservatórios de encosta e reflorestamento no trecho (figura 6.74 e 6.84). A combinação com os reservatórios de encosta ou com o reflorestamento leva a uma redução de cerca de 30cm do nível d'água em calha.

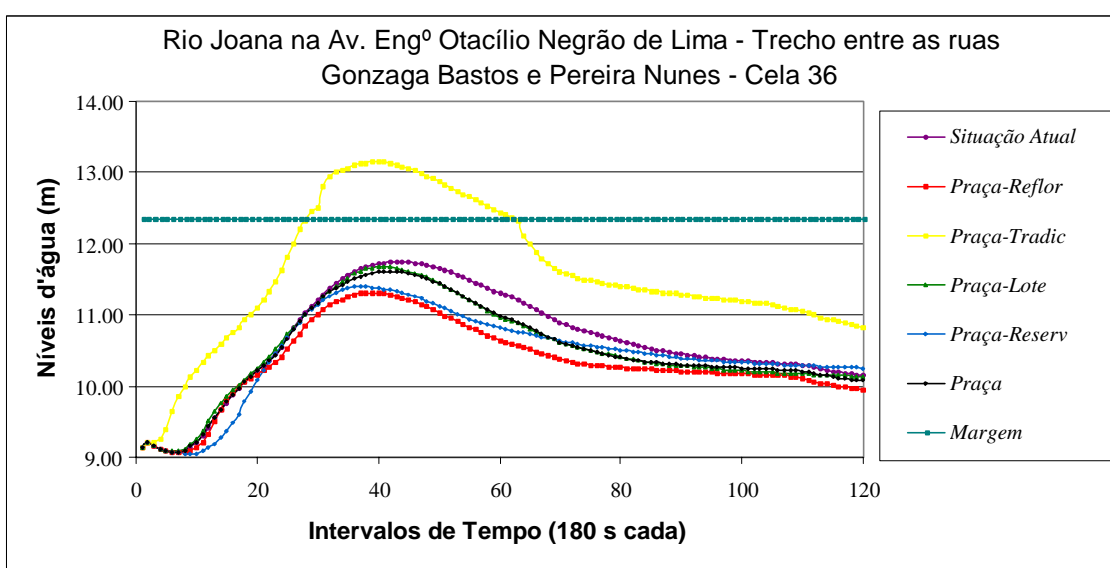


Figura 6.94 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

No P3, na planície urbana, verifica-se uma boa complementaridade das intervenções em praças com os reservatórios em lotes, com as demais combinações não apresentando complementaridade, especialmente em relação às intervenções tradicionais que pioram o quadro de alagamentos na região (figura 6.95). Este comportamento das intervenções tradicionais é semelhante ao apresentado quando a mesma se combina com os reservatórios de encosta e reflorestamento no trecho (figura 6.75 e 6.85). Destaca-se aqui que, face às análises anteriores que mostraram a não atuação perceptível dos reservatórios de encosta e do reflorestamento neste local, não seria possível esperar efeitos positivos na combinação com estas intervenções.

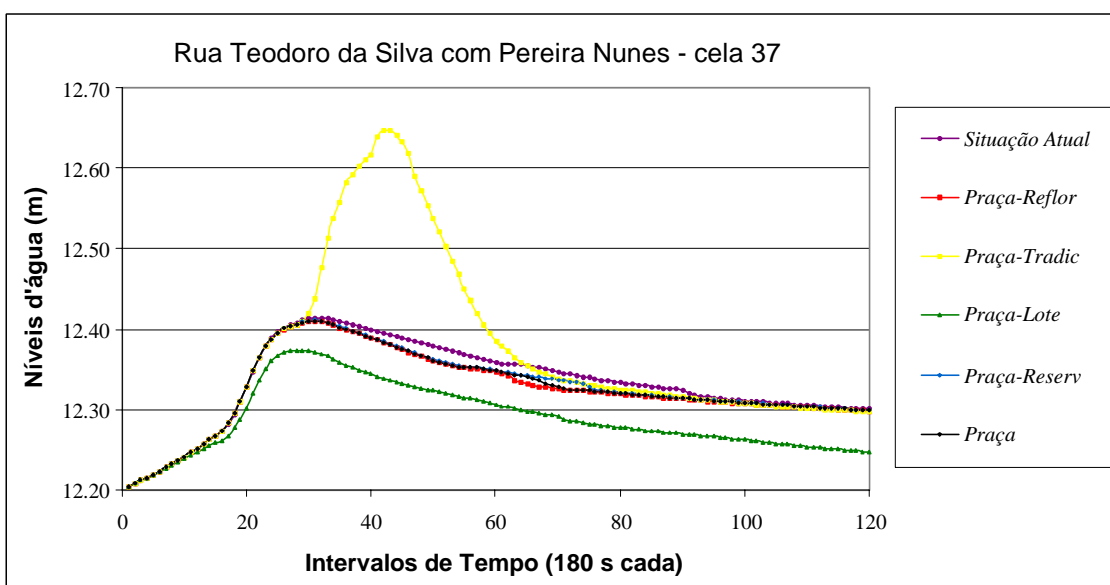


Figura 6.95 - Planície do rio Joana.

No P4, nota-se a boa complementaridade dos reservatórios em praças com as intervenções em lotes e com o reflorestamento (figura 6.96), e o aumento significativo do nível na calha do rio na combinação com as intervenções tradicionais, com o rio vertendo para as ruas da região.

No trecho final da bacia no P1, observa-se ainda a boa complementaridade dos reservatórios em praça com as intervenções em lotes e reflorestamento na calha, embora ocorra o extravasamento do rio para as ruas, com aumento do nível d'água na calha em todas as combinações, em especial com as intervenções tradicionais que pioram em muito a situação pregressa de alagamentos na região (figura 6.97). Este comportamento é semelhante ao apresentado pelas intervenções tradicionais em combinação com os reservatórios de encosta e com o reflorestamento no trecho (figura 6.77 e 6.87).

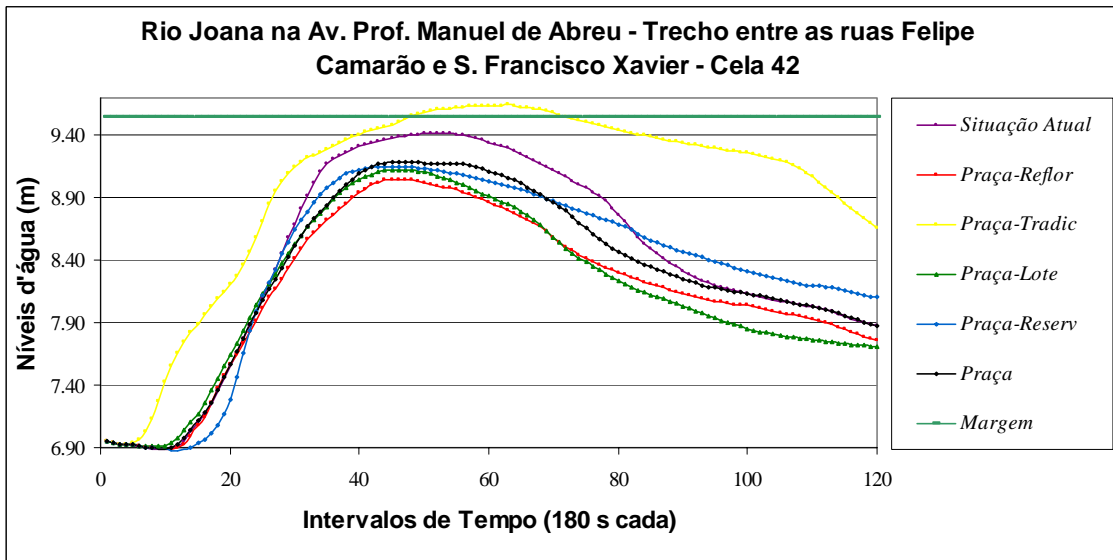


Figura 6.96 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

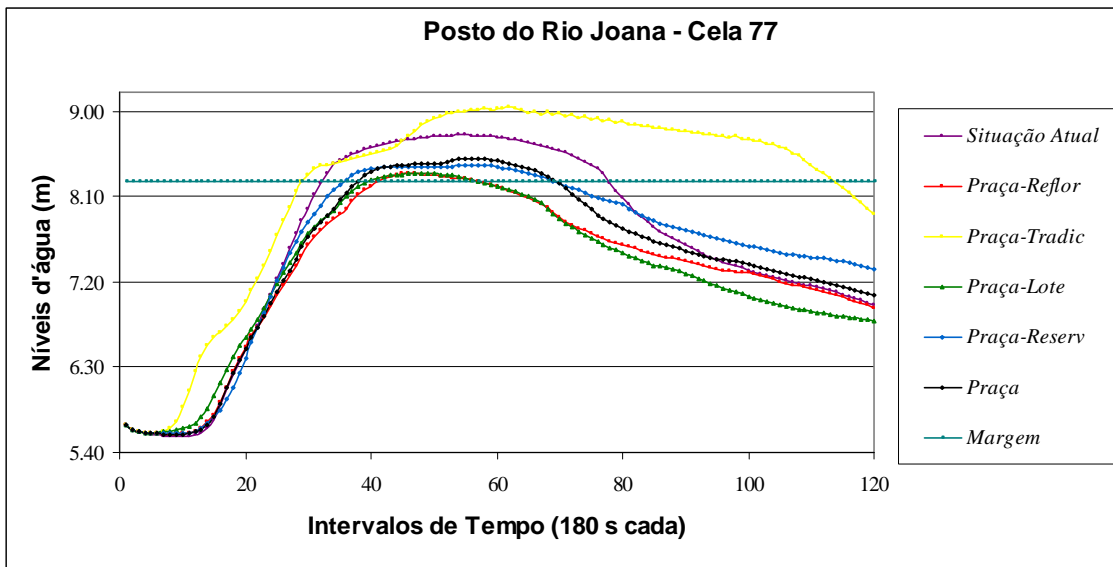


Figura 6.97 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem.

A situação da planície urbana no P1 é bastante razoável com os reservatórios em praças apresentando boa complementaridade com todas as intervenções, exceto com as intervenções tradicionais, pois, apesar de ocorrer extravasamento do rio em todas as combinações, neste caso, o efeito do vertimento do rio proporciona grandes alagamentos nesta região (figura 6.97), com maiores picos e maior tempo de permanência. Os reservatórios em praças quando combinado com as intervenções em lotes, reflorestamento e reservatório de encostas, ameniza em muito o quadro de alagamentos na região (figura 6.98), não passando de 25cm o nível d'água nas ruas e reduzindo em aproximadamente 35cm a condição de situação progressiva. O mesmo não

se pode dizer de sua combinação com as intervenções tradicionais. Esta última combinação agrava em 25cm o quadro de alagamentos na região ao compararmos com a situação pregressa. Este comportamento é semelhante ao apresentado pelas intervenções tradicionais em combinação com os reservatórios de encosta e com o reflorestamento no trecho (figuras 6.78 e 6.88).

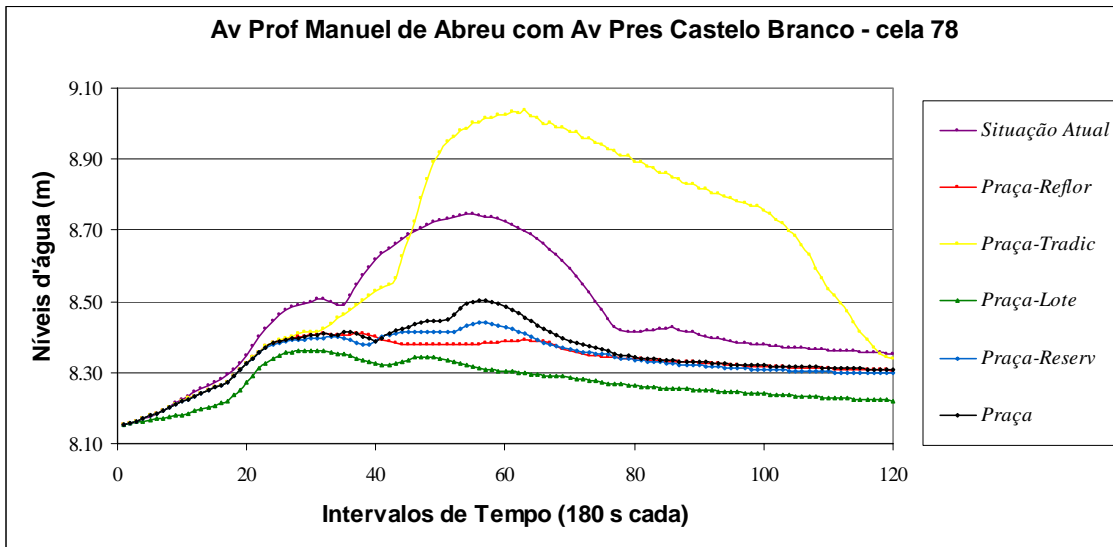


Figura 6.98 - Planície do rio Joana em seu terço final.

Analisando o comportamento dos reservatórios de praças em combinação com as demais intervenções, nota-se que quando esta intervenção se combina com as que atuam nas encostas e especialmente com os reservatórios de lotes, grandes benefícios de redução de níveis d'água na calha e nas ruas são proporcionados na bacia, confirmando a expectativa que se tinha quando da análise das intervenções individualmente na qual se supôs que as intervenções que atuam nas encostas iriam se combinar bem com as intervenções que atuam na planície urbana. Por outro lado, estas combinações, assim como todas as demais, não foram capazes de manter o rio na calha na parte baixa da bacia, com a combinação de reservatórios de lotes com os reservatórios de praças apresentando resultados similares ao apresentado em sua combinação com o reflorestamento (figuras 6.87 e 6.97). No caso de sua combinação com os reservatórios de encosta percebe-se que ela foi mais favorável na parte alta da bacia, perdendo eficiência a medida que se caminha para a parte baixa da bacia. Nesta observação, destaca-se que embora com funções similares, os reflorestamentos foram mais efetivos que os reservatórios de encosta por retirarem uma fração d'água do processo.

6.3.4. Reservatórios de lote

Os reservatórios de lote propostos para bacia do rio Joana encontram-se espacialmente disseminados na parte média e média-alta da malha urbana, conforme pode ser visto e identificado na figura 5.3. Quando combinada com outras intervenções revela-se uma medida das mais complementares, tanto na parte alta como na baixa.

Na parte média-alta da bacia os reservatórios de lote combinam-se bem com os reservatórios de encosta e o reflorestamento pelo amortecimento proporcionado por estas intervenções. A combinação com as intervenções tradicionais neste trecho é também muito benéfica, entretanto devido ao aceleração do escoamento rumo a jusante, piora muito o quadro de alagamento na parte baixa da bacia. Nesta combinação quando combinada com os reservatórios em praças, estes apresentam melhores resultados complementares na parte média-baixa da bacia onde a competição pela rede de drenagem é compensada pelo amortecimento proporcionado por ambas as intervenções.

No ponto de controle P7, na bacia do rio Joana após contribuição das sub-bacias dos rios Andaraí, Jacó e Perdido, nota-se uma boa complementaridade das intervenções com os reservatórios de lote na parte alta da bacia (figura 6.99).

No caso da combinação com os reservatórios de encostas, pelo fato deste dispositivo amortecer as águas superficiais dos escoamentos das encostas, impedindo que estas águas atinjam diretamente as ruas, esta combinação promove uma redução de 50 cm nos alagamentos deste trecho.

Quando combinada com as intervenções tradicionais, os reservatórios de lotes registram uma redução de aproximadamente 25cm do nível d'água no pico da cheia.

Como os reservatórios de praças têm volume limitado, com atuação mais local, sendo o seu efeito sistêmico promovido pela disseminação destes na área urbana, nas regiões mais altas da bacia, como é o caso aqui, estes reservatórios tornam-se menos eficazes na presença das águas em excesso provenientes das encostas. Desta forma, na combinação das intervenções de lotes com as de praças, os resultados combinados não se apresentam

tão bons quanto aqueles apresentados pelos reservatórios de lotes em combinação com as intervenções tradicionais e os reservatórios de encosta e com o reflorestamento neste trecho.

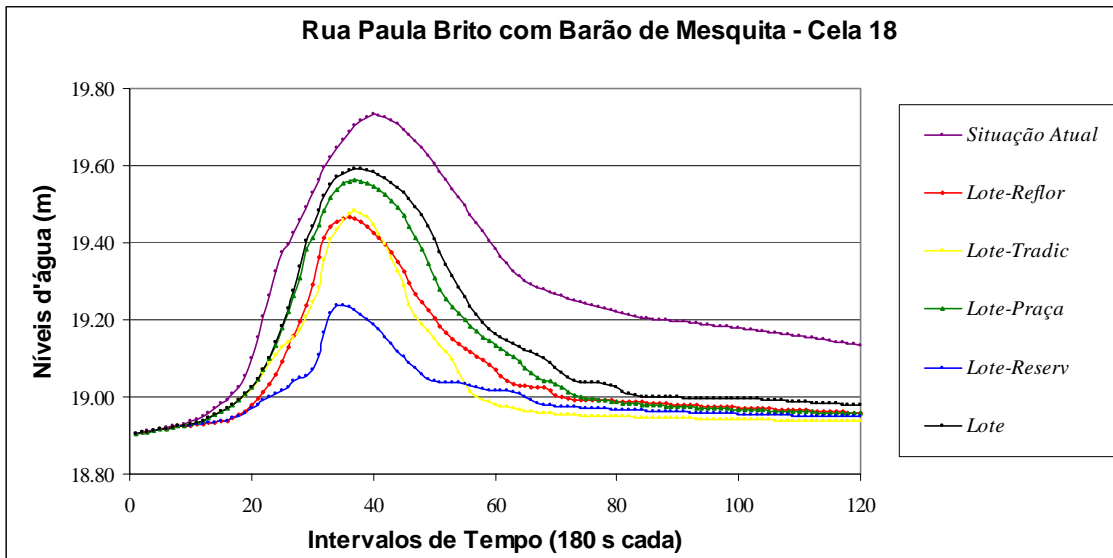


Figura 6.99 - Planície de montante do rio Joana.

No P2, trecho de montante da bacia do rio Joana, na sub-bacia do rio Urubus, observa-se uma boa complementaridade com todas as intervenções (figura 6.100).

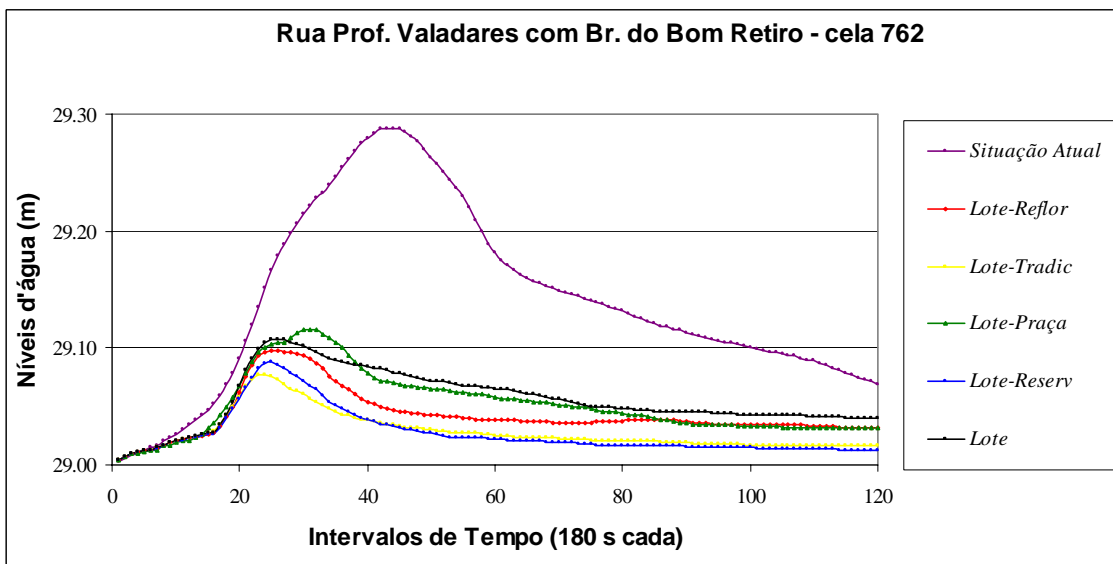


Figura 6.100 - Planície do rio Joana em seu terço inicial.

No P5, nota-se ainda uma boa complementaridade com as demais intervenções, com destaque para as intervenções tradicionais (figura 6.101).

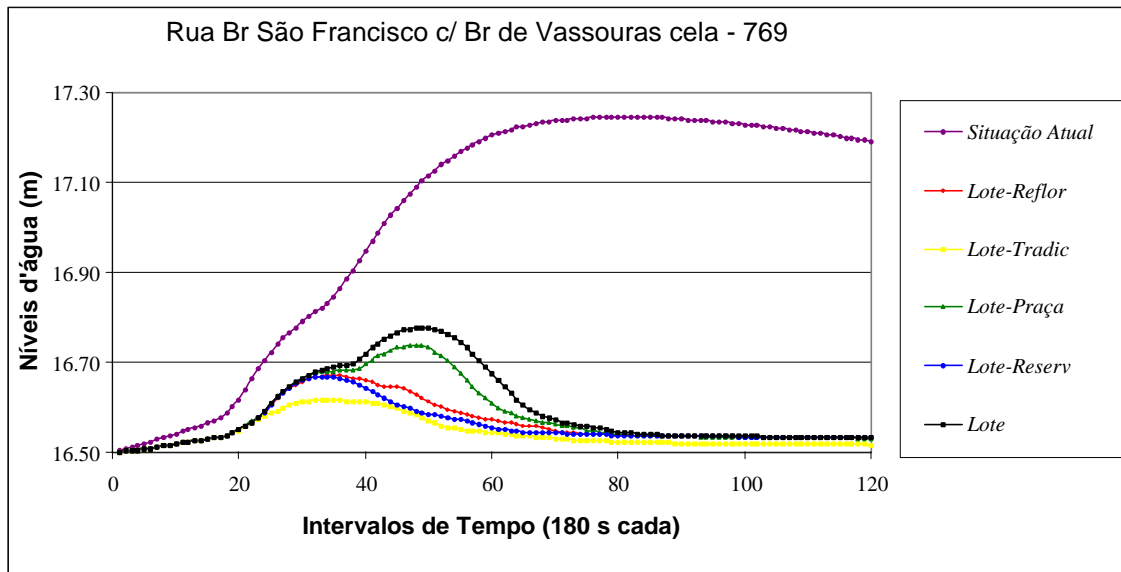


Figura 6.101 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

Em relação ao comportamento da calha do rio Joana no P5, não se verifica complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com os reservatórios em lotes, em especial quando combinada com as intervenções tradicionais (figura 6.102). Neste caso há uma piora inclusive nos níveis na calha quando comparado com a situação progressa, sem nenhuma intervenção. Comportamento semelhante ao apresentado pelas intervenções tradicionais em combinação com os reservatórios de encosta e praça, e com os reflorestamentos no trecho (figuras 6.72, 6.82 e 6.92).

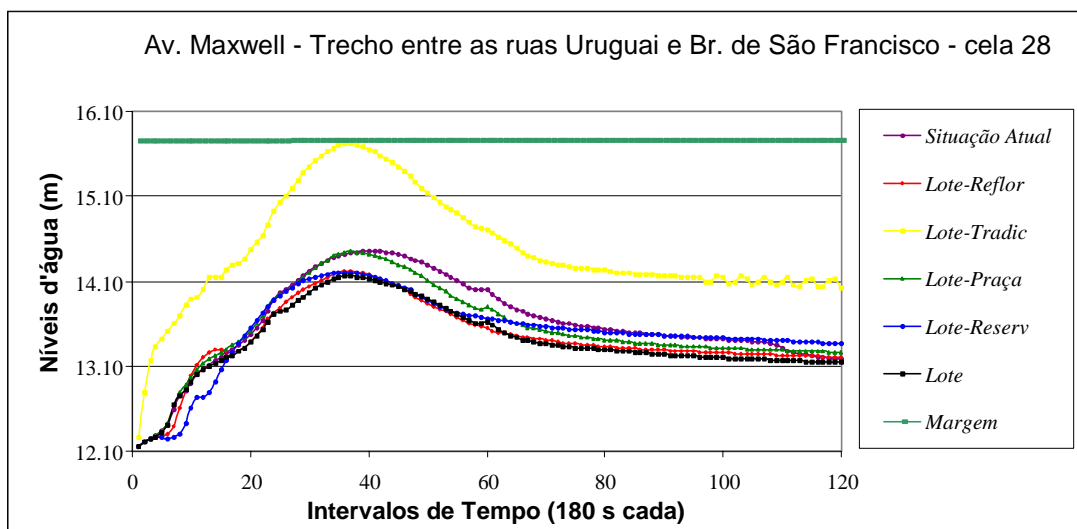


Figura 6.102 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No P6, na planície urbana, observa-se uma pequena complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com os reservatórios em lotes, com as intervenções tradicionais apresentando resultados um pouco melhores de redução de

alagamentos (figura 6.103). Embora nesta combinação o rio esteja com nível mais alto na calha quando comparado com as outras combinações neste trecho, a situação na planície é a melhor, situação que permanecerá até o extravasamento do rio. Este comportamento é semelhante ao apresentado pelas intervenções tradicionais em combinação com os reservatórios de encosta e praça, e com o reflorestamento no trecho (figuras 6.73, 6.83 e 6.93).

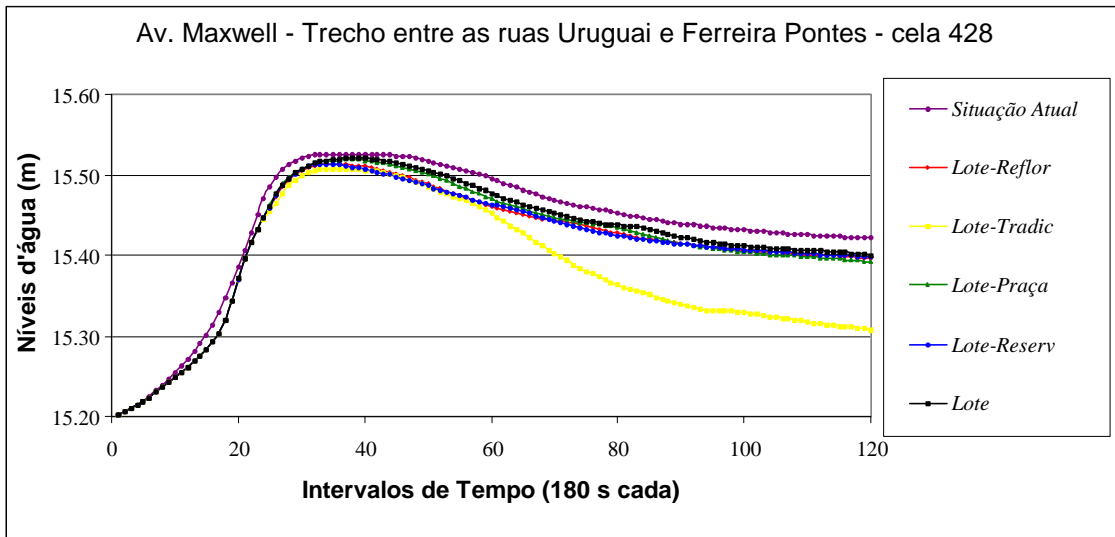


Figura 6.103 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

Em trecho mais a jusante do ponto de controle anterior, no P3, nota-se, também, a ausência de complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com o reservatório em lotes, para resultados em calha, em especial com as intervenções tradicionais apresentando um notório extravasamento da calha do rio (figura 6.104).

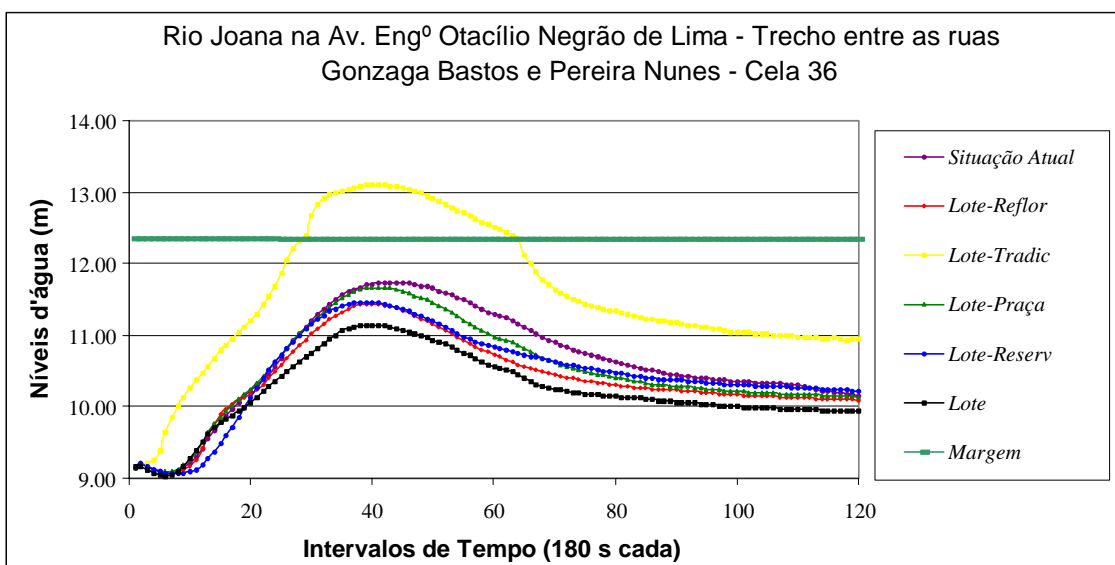


Figura 6.104 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

No P3, na planície urbana, verifica-se uma pequena complementaridade das intervenções em lotes com as demais e, em particular, as intervenções tradicionais pioram o quadro de alagamentos na região (figura 6.105). Este comportamento das intervenções tradicionais é semelhante ao apresentado quando a mesma se combina com os reservatórios de encosta e praças, e com o reflorestamento no trecho (figura 6.75, 6.85 e 6.95).

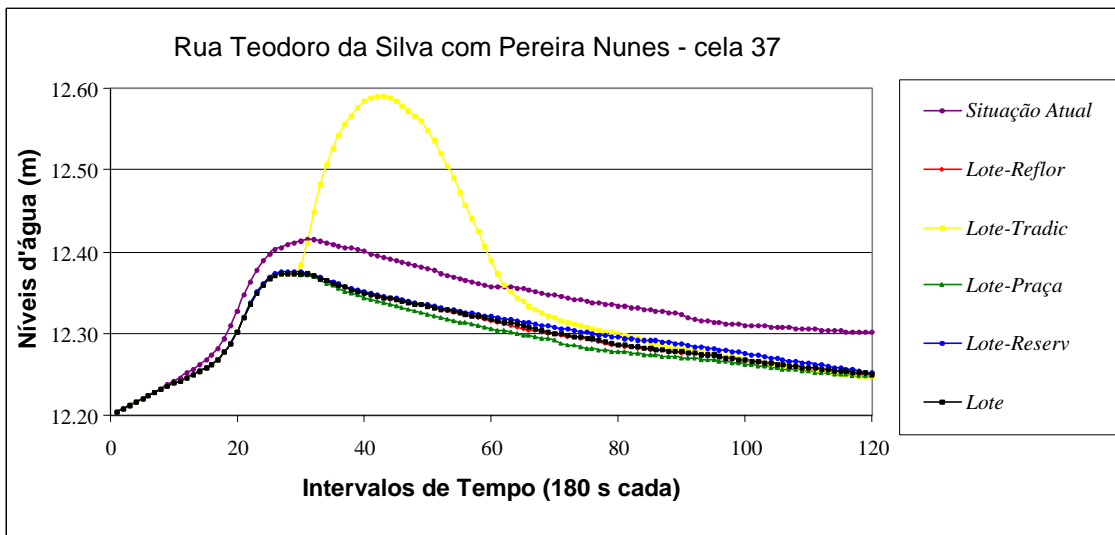


Figura 6.105 - Planície do rio Joana.

No terço inferior da bacia no P4, nota-se a pequena complementaridade dos reservatórios em lotes com as demais e o aumento significativo do nível na calha do rio na combinação com as intervenções tradicionais, embora seja a única intervenção cuja combinação com a intervenção tradicional não permite o extravasamento do rio para as ruas no trecho (figura 6.106).

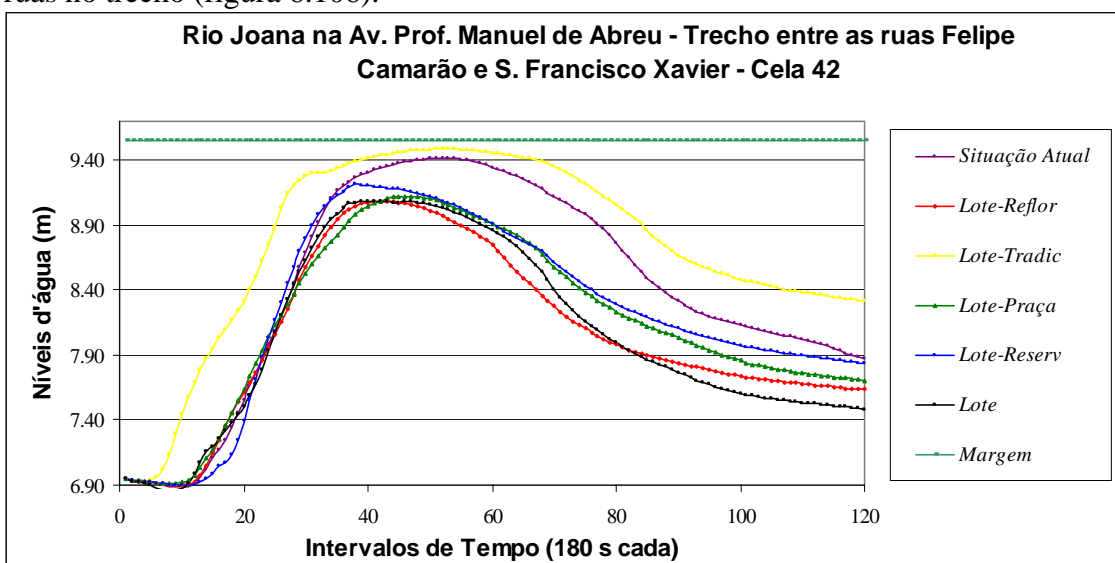


Figura 6.106 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

No trecho final da bacia no P1, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem, observa-se agora uma boa complementaridade dos reservatórios em lote com as intervenções em praças, reflorestamento e reservatórios de encosta na calha, embora ocorra o extravasamento do rio para as ruas com aumento do nível d'água na calha em todas as combinações, em especial com as intervenções tradicionais que pioram em muito a situação progressiva de alagamentos na região (figura 6.107). Este comportamento é semelhante ao apresentado pelas intervenções tradicionais em combinação com os reservatórios de encosta e praça, e com o reflorestamento no trecho, porém em menor proporção (figura 6.77, 6.87 e 6.97).

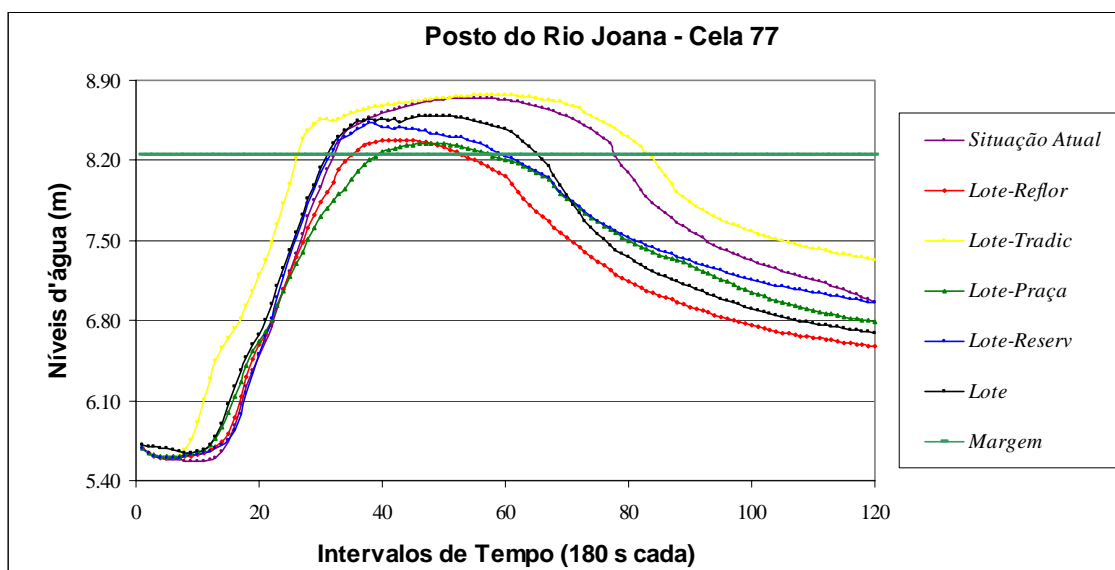


Figura 6.107 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem.

A situação da planície urbana no P1 é bastante razoável com os reservatórios em lotes apresentando boa complementaridade com as demais intervenções, exceto com as intervenções tradicionais, embora esta última apresente a sua melhor configuração no trecho nesta combinação (figura 6.107). Os reservatórios em lotes quando combinados com as intervenções em praças e com o reflorestamento, amenizam em muito o quadro de alagamentos na região (figura 6.108), não passando de 25cm o nível d'água nas ruas e reduzindo em aproximadamente 35cm a situação progressiva.

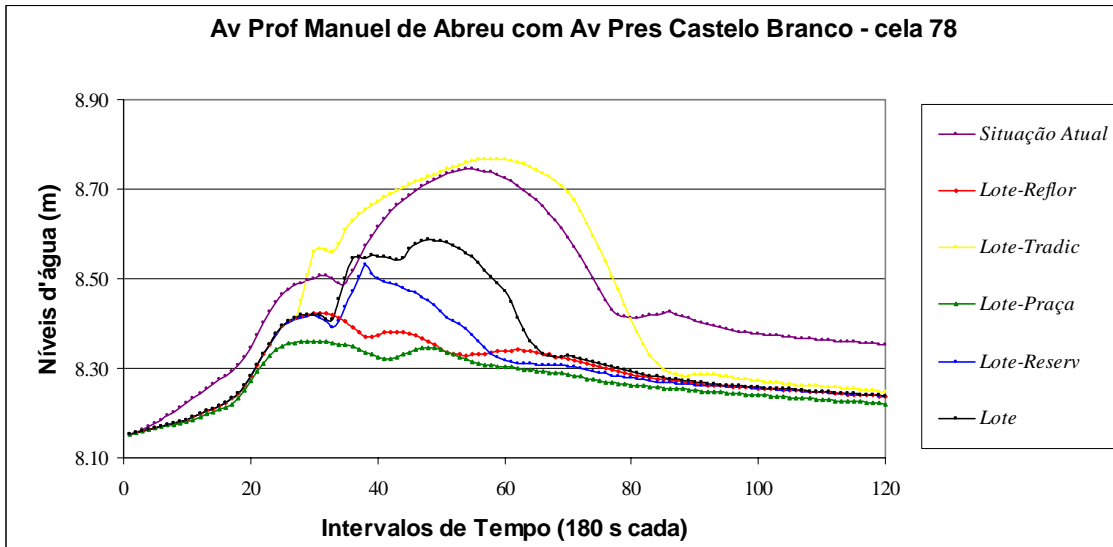


Figura 6.108 - Planície do rio Joana em seu terço final.

Analisando o comportamento dos reservatórios de lotes, em combinação com as demais intervenções, nota-se que quando esta intervenção se combina com as que atuam nas encostas e, em vários locais, também com os reservatórios de praças, grandes benefícios de redução de níveis d'água na calha e nas ruas são proporcionados na bacia, confirmando também a expectativa que se tinha quando da análise das intervenções individualmente. Destaca-se que a complementação observada entre reservatórios de praças e lotes em diversos locais pode talvez ser explicada pelo fato que os reservatórios de lote foram tomados com volume padrão de 1m^3 por lote padrão de 360m^2 , em tamanho, portanto, comercial, típico de uma caixa d'água e não no tamanho realmente adequado para amortecer todo o acréscimo de vazão gerado pelo próprio lote. Observa-se de fato, nestas simulações, que os lotes, em geral, tiveram ainda vertimento para as ruas, escoamento este que acabou contribuindo também para as praças, que, por sua vez, complementaram a atuação dos lotes. Por outro lado estas combinações, assim como todas as demais anteriormente realizadas, não foram capazes de manter o rio na calha na parte baixa da bacia, com a combinação de reservatórios de lotes com os reservatórios de praças e com o reflorestamento apresentando os melhores resultados (figura 6.107). No caso de sua combinação com os reservatórios de encosta percebe-se que ela foi mais favorável na parte média-alta da bacia, perdendo eficiência à medida que se aproxima da parte baixa da bacia. Este comportamento é similar ao apresentado na combinação dos reservatórios de praças com os reservatórios de encosta.

6.3.5. Intervenções tradicionais

No caso da intervenção tradicional, a redução local de alagamentos verificada na parte alta da bacia se dá pela rápida e mais eficiente transferência de vazões para as partes mais baixas a jusante da bacia. Na parte alta os resultados são positivos; na parte baixa agravaram-se significativamente os quadros de alagamentos. Quando combinada com outras intervenções, esta revela-se uma medida interessante localmente na parte alta. No trecho médio a situação da planície é boa até o momento que o rio passa a verter. A partir daí ocorrem alagamentos de forma generalizada que se propagam até a parte baixa da bacia, de forma muito danosa ao sistema como um todo.

No ponto de controle P7, na bacia do rio Joana, nota-se uma boa complementaridade de todas medidas de controle com as intervenções tradicionais na parte alta da bacia (figura 6.109). No caso da combinação com os reservatórios de encostas, pelo fato deste dispositivo amortecer as águas superficiais que vinham das encostas, impedindo que estas atingissem as ruas, esta combinação promoveu uma redução de 60cm nos alagamentos, a maior neste trecho. Efeito similar é apresentado quando combinada com os reflorestamentos, registrando uma redução de aproximadamente 35cm do nível d'água no pico da cheia.

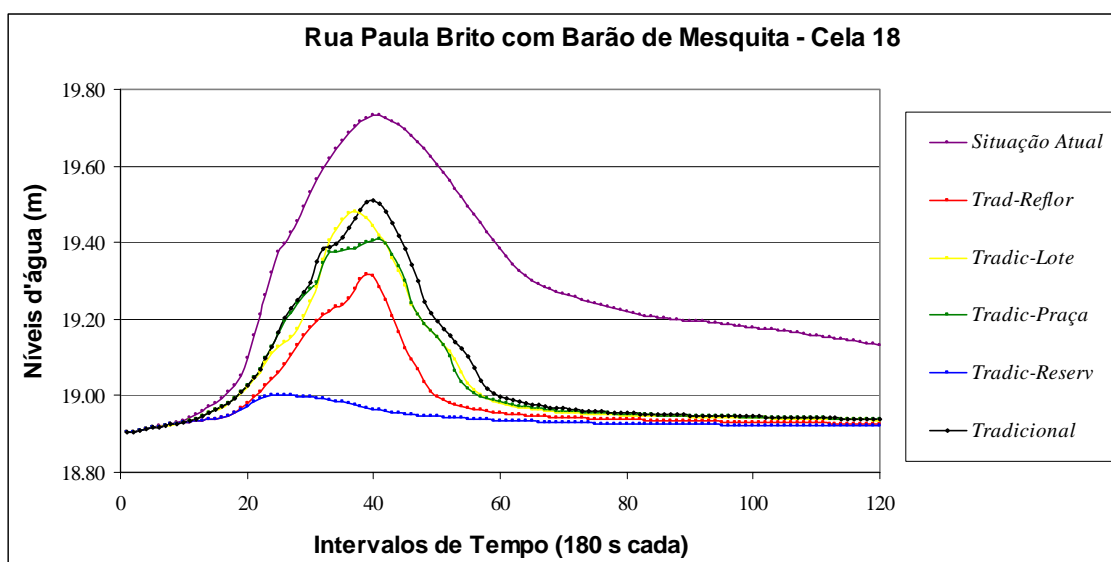


Figura 6.109 - Planície urbana localizada a montante do rio Joana.

No ponto de controle P2, na sub-bacia do rio Urubus, observa-se uma boa complementaridade das intervenções tradicionais com as demais intervenções, com destaque para sua combinação com os reservatórios de lotes (figura 6.110).

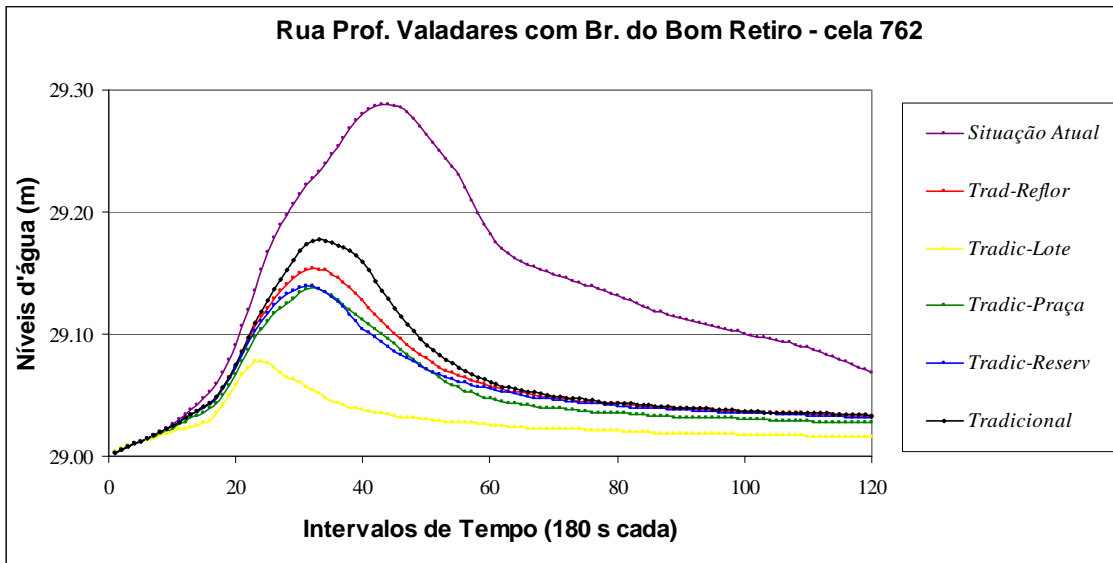


Figura 6.110 - Planície do rio Joana em seu terço inicial.

No P5, nota-se ainda uma boa complementaridade das intervenções com as obras tradicionais, com destaque para a combinação com reservatórios em lotes (figura 6.111).

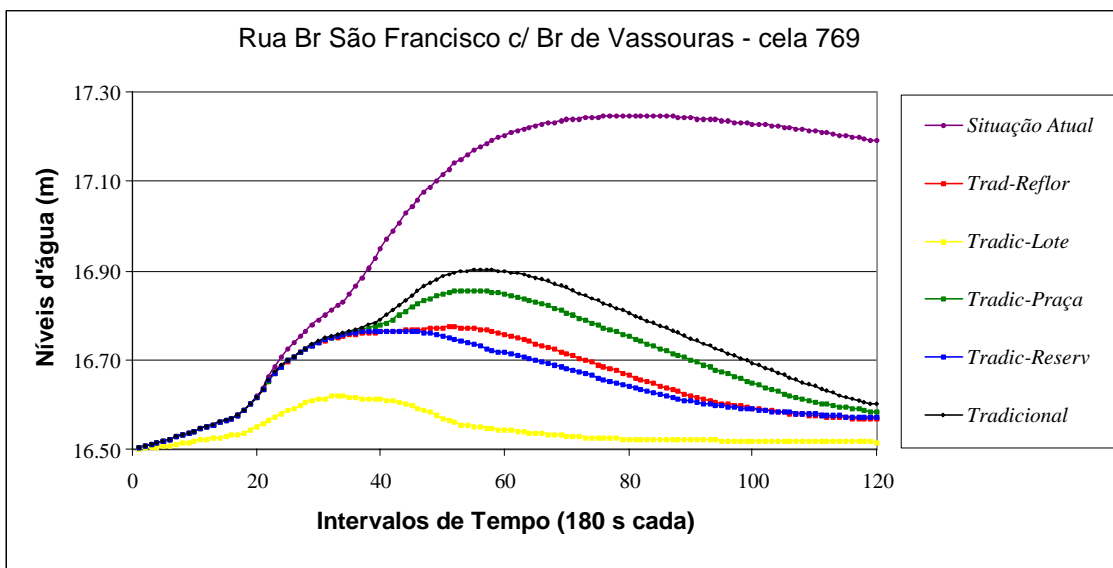


Figura 6.111 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

Em relação ao comportamento da calha do rio Joana no P5, após a confluência das sub-bacias dos rios Jacó, Perdido, Andaraí e Urubus, não se verificam efeitos benéficos das intervenções tradicionais quando combinadas com as demais, piorando os níveis na calha quando comparado com a situação pregressa sem nenhuma intervenção, em especial quando combinada com as intervenções que competem pelo uso da rede de drenagem (figura 6.112). No caso dos reservatórios em praças chega a haver um pequeno extravasamento do rio no trecho.

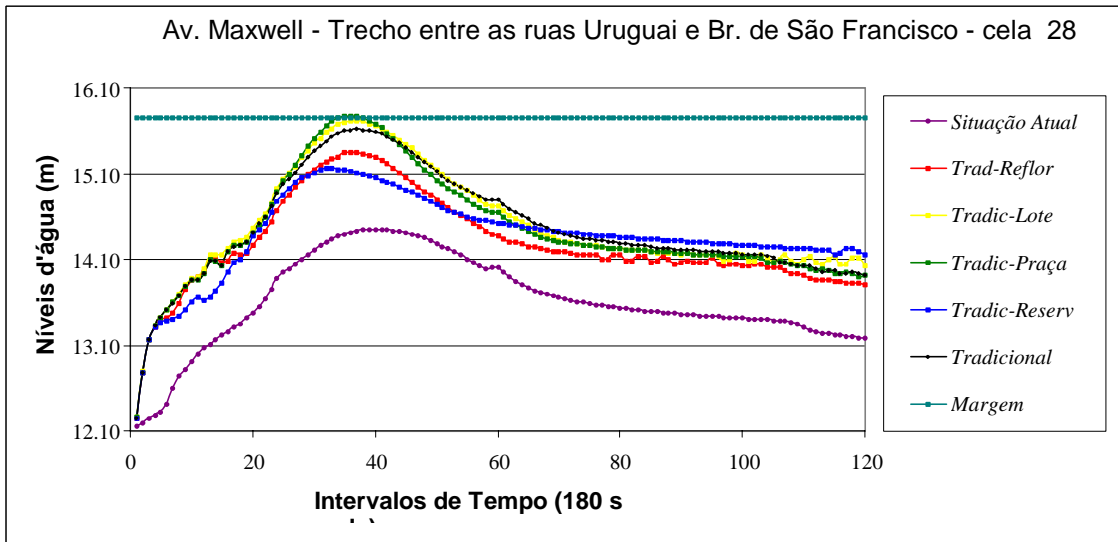


Figura 6.112 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No P5, na planície urbana, observa-se pequeno efeito em geral e pouca complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com as intervenções tradicionais (figura 6.113). Entretanto as intervenções tradicionais promovem a maior redução de alagamentos nesta região quando comparadas com as demais medidas de controle (figuras 6.73, 6.83, 6.93 e 6.103). Embora nesta combinação o rio esteja com nível mais alto na calha quando comparado com as outras combinações para este local, a situação na planície é a melhor, situação esta que permanecerá até o vertimento do rio.

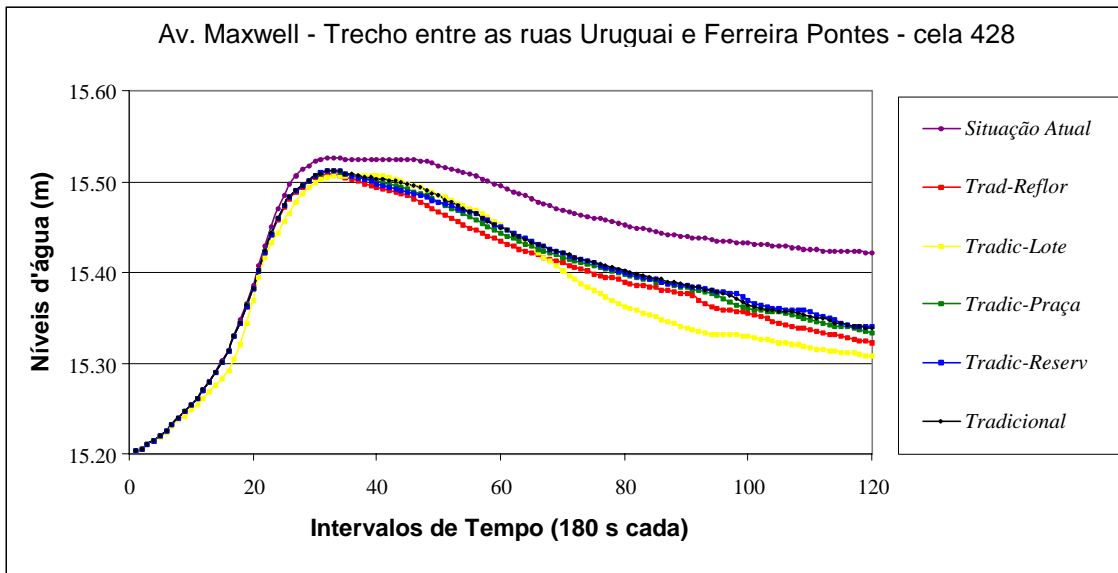


Figura 6.113 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

No P3, nota-se, também, a ausência de complementaridade das intervenções propostas quando combinadas com as intervenções tradicionais na calha, apresentando vertimento

do rio em todas as suas combinações (figura 6.114), sendo um pouco menos danoso o efeito da combinação das intervenções tradicionais com os reservatórios de encosta.

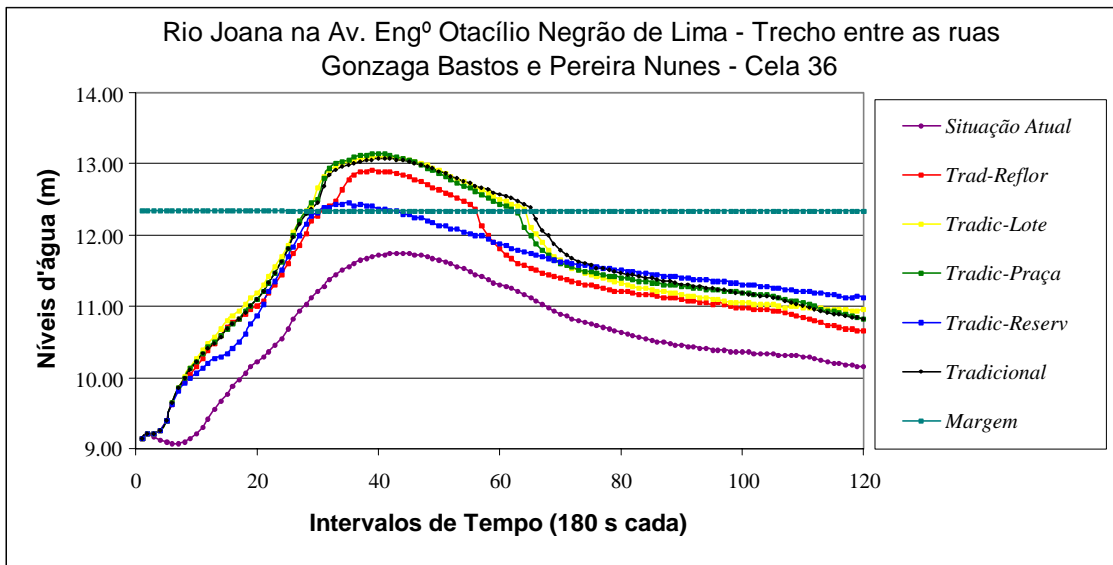


Figura 6.114 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

No P3, verifica-se uma piora do quadro de alagamentos em todas as combinações na região devido ao vertimento do rio no trecho (figura 6.115), excetuando-se a combinação com reservatórios de encosta, que praticamente reproduz a situação atual.

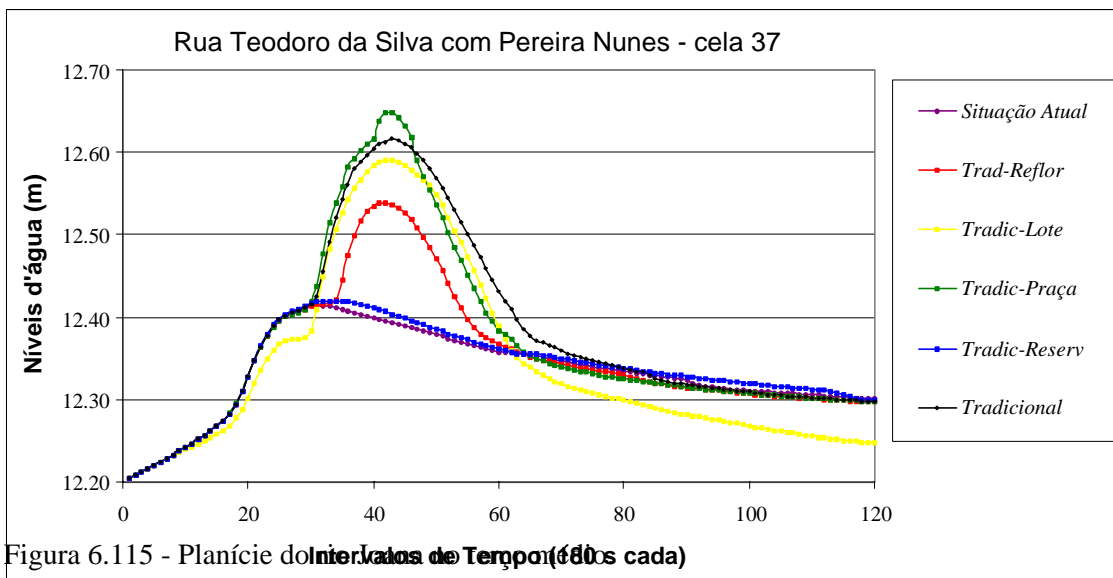


Figura 6.115 - Planície do rio Teodoro da Silva (180 s cada)

No terço inferior da bacia no P4, nota-se o aumento significativo do nível na calha do rio em todos os conjuntos de combinação com as intervenções tradicionais, não ocorrendo vertimento apenas na combinação com os reservatórios de lotes no trecho (figura 6.116).

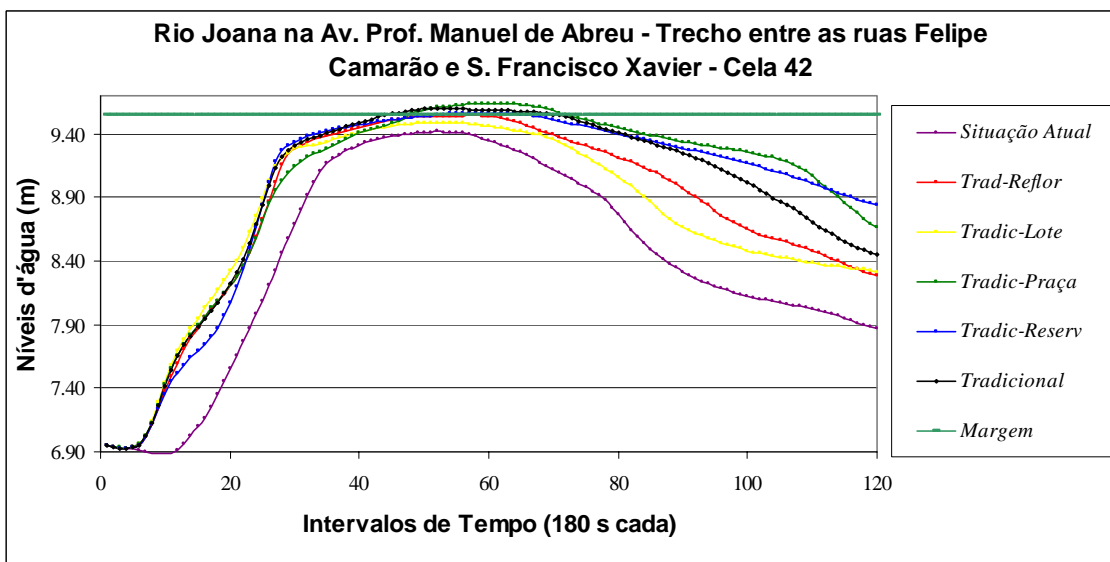


Figura 6.116 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva.

No trecho final da bacia, no P1, observa-se o agravamento dos problemas de alagamento na região, em especial em suas combinações com os reservatórios de praça e encosta que pioram em muito a situação pregressa de níveis d'água na calha na região (figura 6.117). Destaca-se que no posto do rio Joana, os reservatórios passam a ter uma atuação combinada com as intervenções tradicionais mais negativa do que vinha acontecendo até então. A diferença de comportamento é explicada pelo recebimento da galeria da rua 28 de Setembro, cujas vazões agora recebem a saída do reservatório do Recanto do Trovador, que por sua vez, passou a receber parte das vazões do próprio rio Urubus, sem conseguir comportar estes acréscimos.

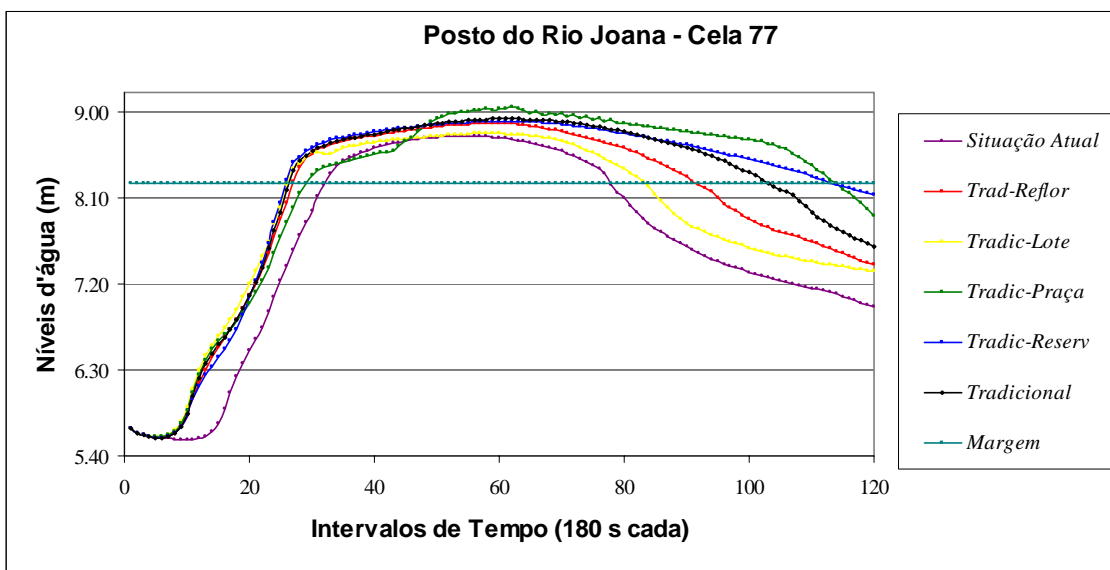


Figura 6.117 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem.

A situação da planície urbana no trecho final, que era bastante crítica com as intervenções tradicionais atuando sozinhas, melhoram um pouco em quase todas as intervenções, principalmente em sua combinação com os reservatórios de lotes (figura 6.118). Entretanto não melhoram o suficiente para ter níveis de alagamento abaixo da situação pregressa, com a combinação com os reservatórios em praças piorando inclusive a situação com as intervenções tradicionais atuando sozinhas.

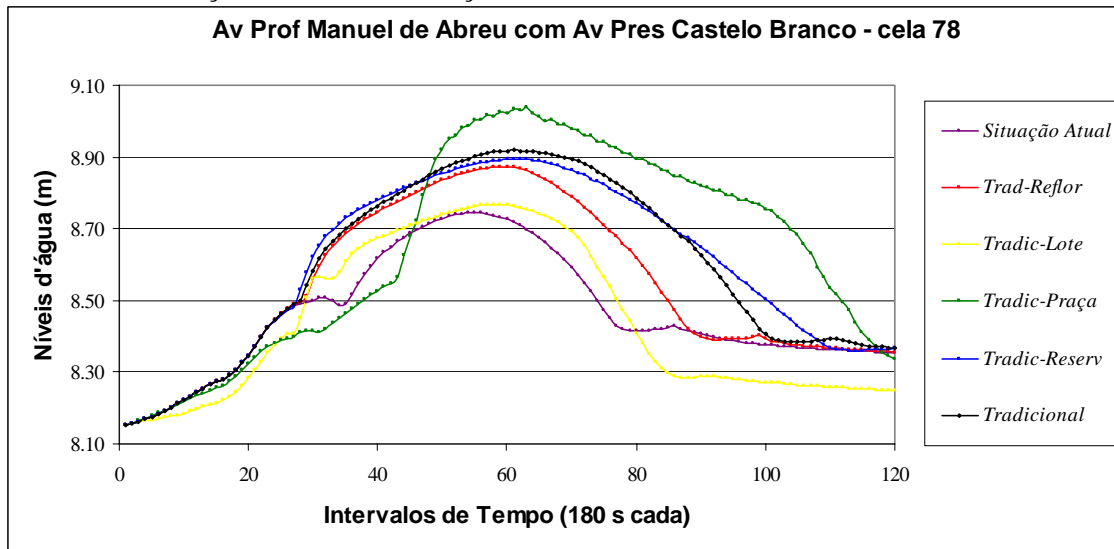


Figura 6.118 - Planície do rio Joana em seu terço final, célula.

Analisando o comportamento das intervenções tradicionais em combinação com as demais intervenções, nota-se que elas se combinam bem com todas as intervenções na parte média-alta da bacia especialmente com os reservatórios de lotes, gerando grandes benefícios de redução de níveis d'água nas ruas. Entretanto à medida que a região média-baixa vai se aproximando, os níveis na calha vão aumentando significativamente até que ocorre o extravasamento da calha para as ruas, proporcionando alagamentos que se propagam até a saída da bacia, confirmando também a expectativa que se tinha quando da análise das intervenções individualmente, na qual se especulava que as medidas tradicionais poderiam transferir os alagamentos de regiões mais altas para as mais baixas. Entretanto, nota-se aqui que o porte das intervenções tradicionais propostas é tão significativa que, mesmo em combinação com as medidas de amortecimento, não se consegue evitar a transferência de alagamentos.

6.3.6. Análise comparativa das intervenções

As análises a seguir têm como objetivo avaliar o comportamento das intervenções por trechos, no intuito de sintetizar o que já foi dito e apontar possíveis combinações de intervenções arranjadas 3 a 3.

De uma forma geral, as intervenções apresentam diferentes comportamentos ao longo da bacia do rio Joana. Logo, de forma a facilitar a análise, a bacia do rio Joana foi dividido em três distintos setores: trecho alto, médio e baixo, sendo observado pontos na calha, galeria e planície tanto no rio Joana como em seus principais afluentes.

No trecho de montante da bacia do rio Joana (figura 6.119), onde as encostas estão bem próximas da calha do rio, nota-se que as intervenções constituídas pelos reservatórios de encosta e alargamento da calha do rio apresentam melhores resultados quando combinado com as demais intervenções, uma vez que o aporte d'água oriundo das encostas é intenso, fazendo com que a resposta dos reservatórios em praças e lotes neste trecho seja menos sentida quando a rede não comporta estas contribuições. Na sub-bacia do rio Urubus, onde a rede de drenagem funciona a contento, as intervenções em lotes quando combinadas com as demais, apresentam resultados bem superiores aos das demais combinações (figura 6.120).

À medida que nos aproximamos do trecho médio, onde as vazões oriundas das encostas se fazem menos impactantes e são incorporadas vazões de áreas não amortecidas pelos reservatórios de encosta e pelo reflorestamento, as intervenções em praças e em lotes, bem distribuídas neste trecho, apresentam melhores resultados de redução de alagamento nas ruas, com efeitos positivos se propagando até o trecho final da bacia (figura 6.121).

Entretanto na calha do rio Joana, após receber a contribuição dos rio Urubus, percebe-se que as intervenções, quando combinadas com a ação de reflorestamento, apresentam resultados levemente superiores as demais combinações, com as intervenções tradicionais apresentando os piores resultados, com o rio quase vertendo em todas as suas combinações (figura 6.122).

No trecho médio da bacia nota-se que, na planície urbana, as intervenções tradicionais, quando combinadas com as outras intervenções, apresentam resultados superiores aos demais (figura 6.123), evidenciando que apesar da situação na calha mostrar níveis altos de água, as ruas estão menos alagadas. Situação que permanece constante até o extravasamento do rio célula 36 no trecho médio-baixo da bacia (figura 6.124). A partir daí, as intervenções tradicionais quando combinadas com as demais produzem efeitos negativos que se propagam até a saída da bacia, com resultados piores que a situação original.

A partir deste trecho, ainda, as intervenções que merecem destaque são as de lotes e em praças quando combinadas entre si na planície urbana (figuras 6.125 e 6.128) e quando combinadas, especialmente na calha, com a ação de reflorestamento e com os reservatórios de encosta (figuras 6.126 e 6.127).

Rua Paula Brito com Barão de Mesquita - Cella 18

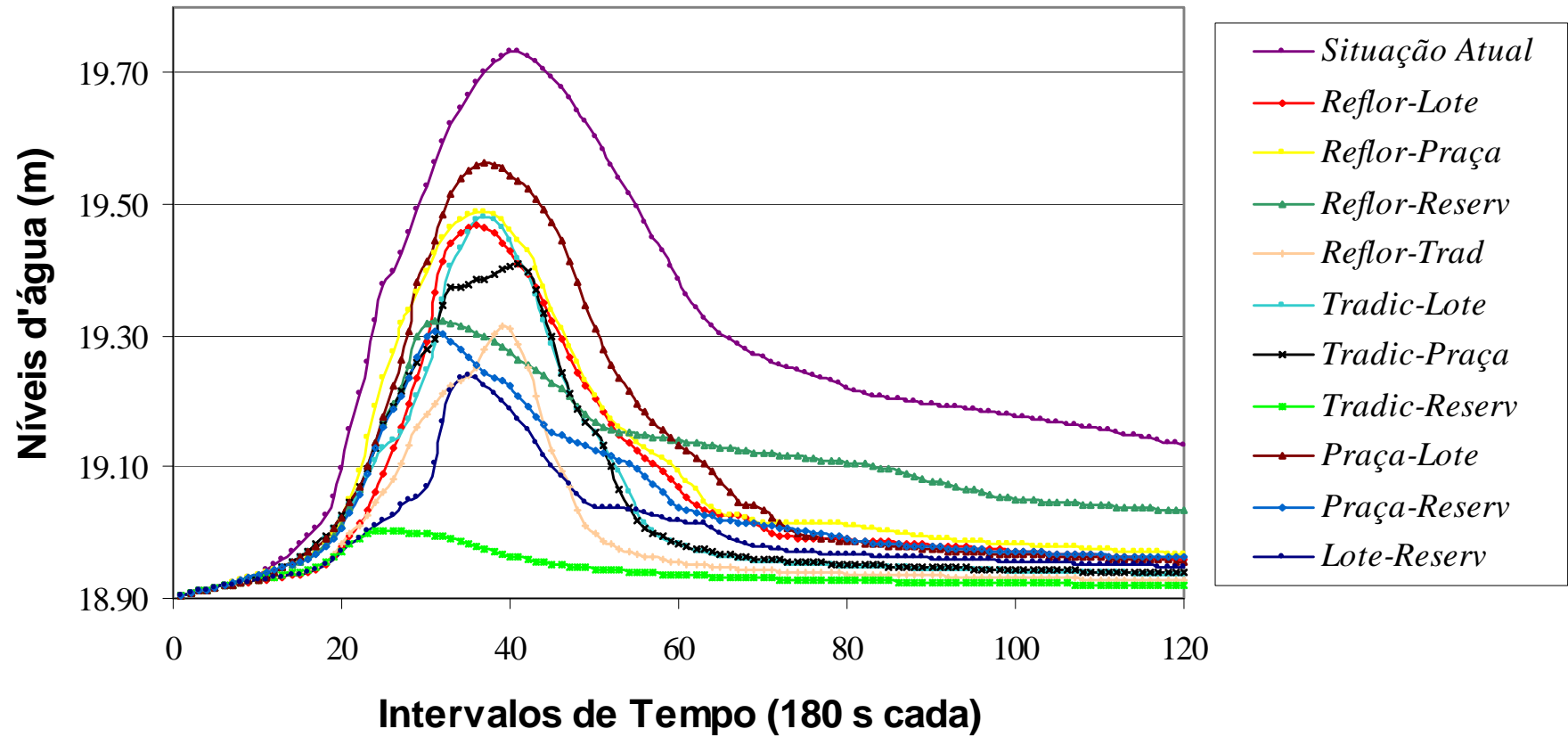


Figura 6.119 - Planície urbana localizada a montante do rio Joana.

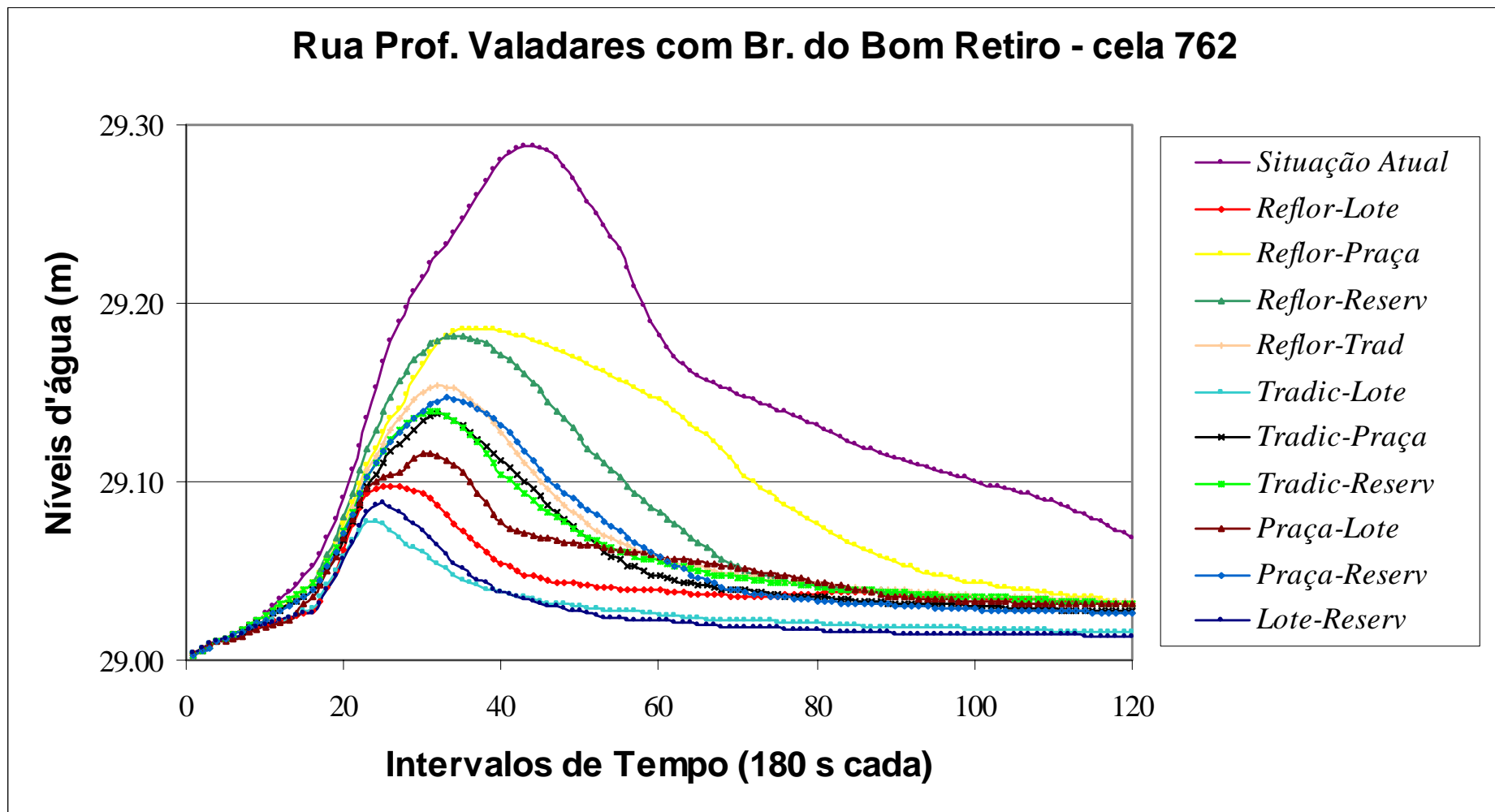


Figura 6.120 - Planície do rio Joana em seu terço inicial. Célula localizada próxima ao Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

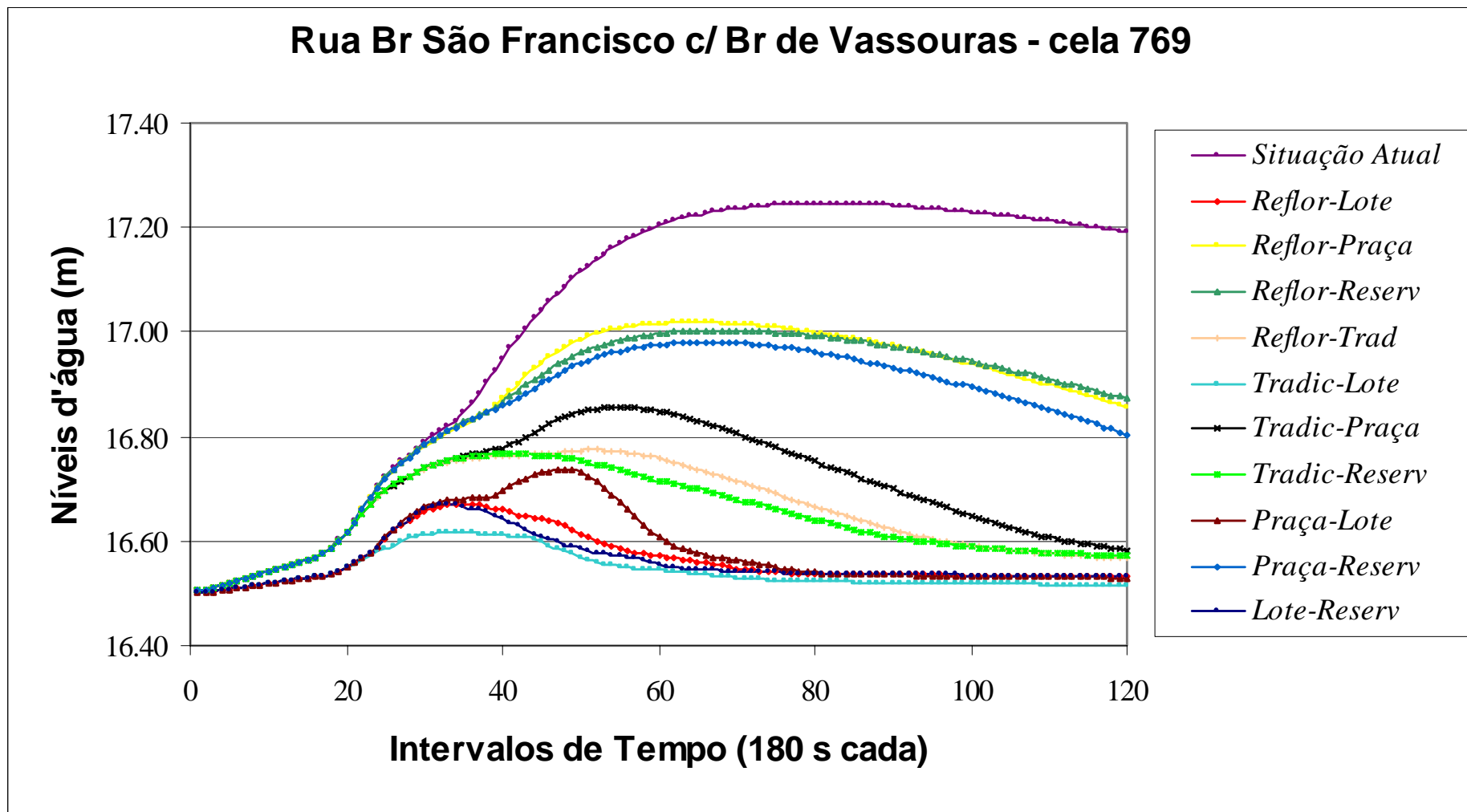


Figura 6.121 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada próxima à encosta do Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

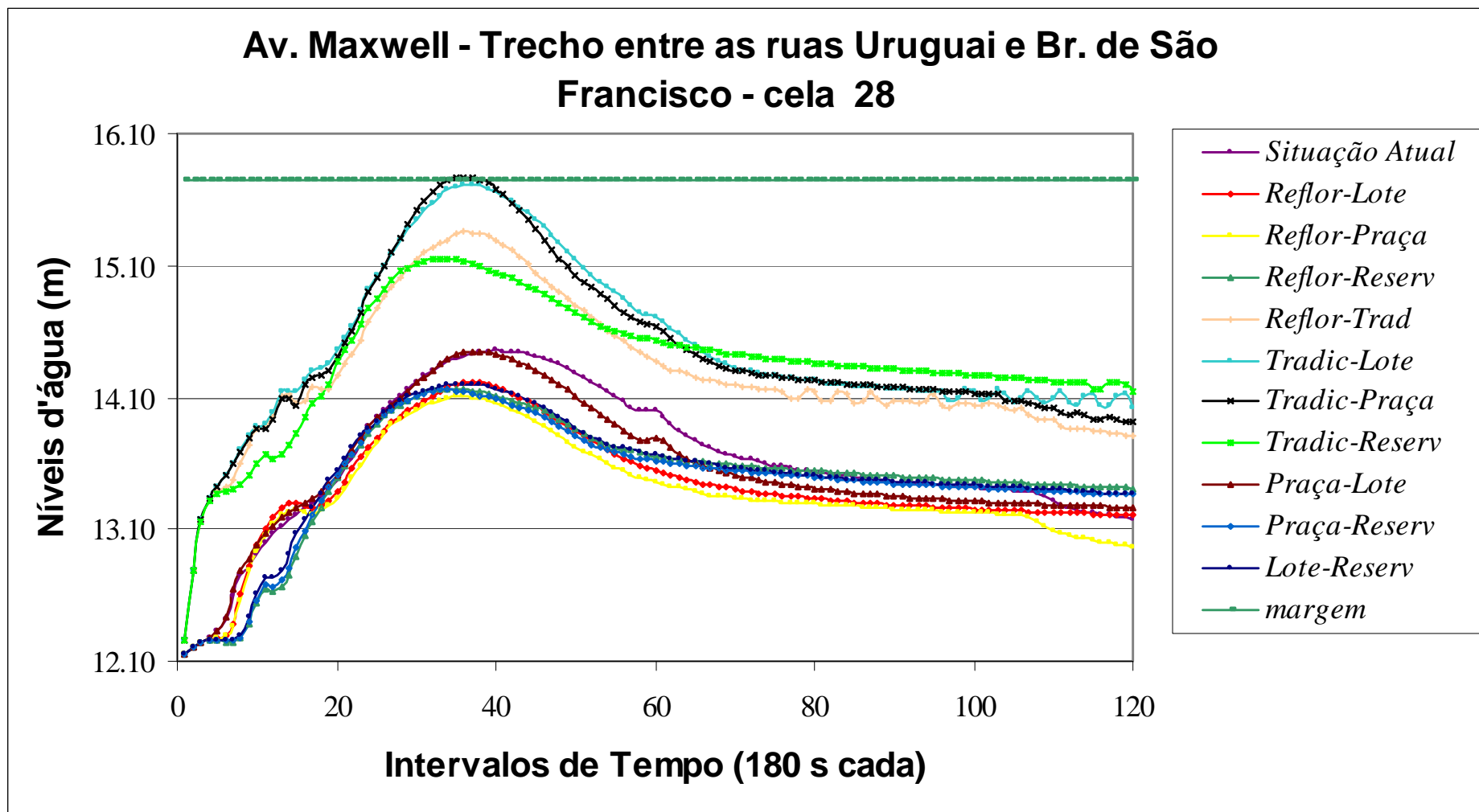


Figura 6.122 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

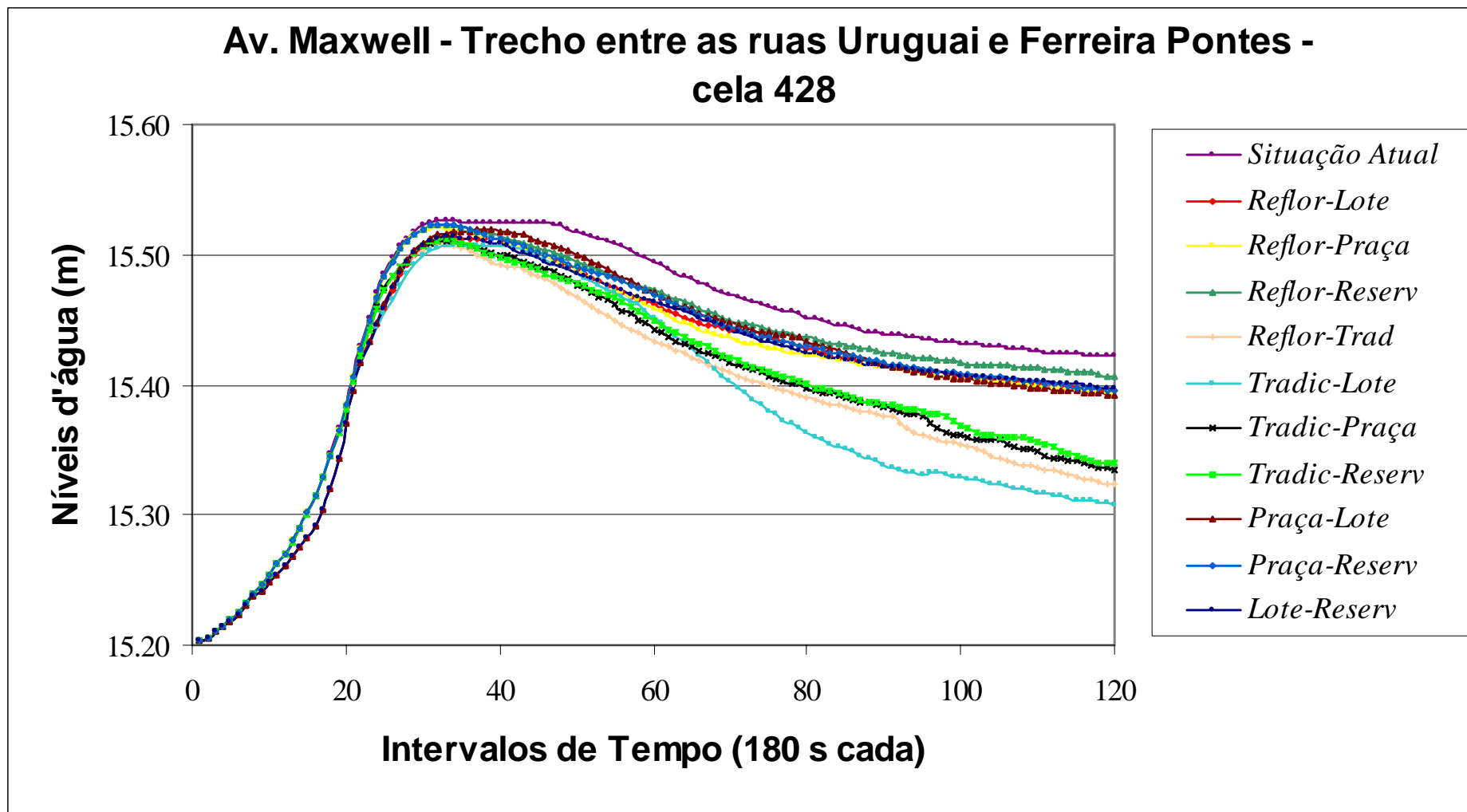


Figura 6.123 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

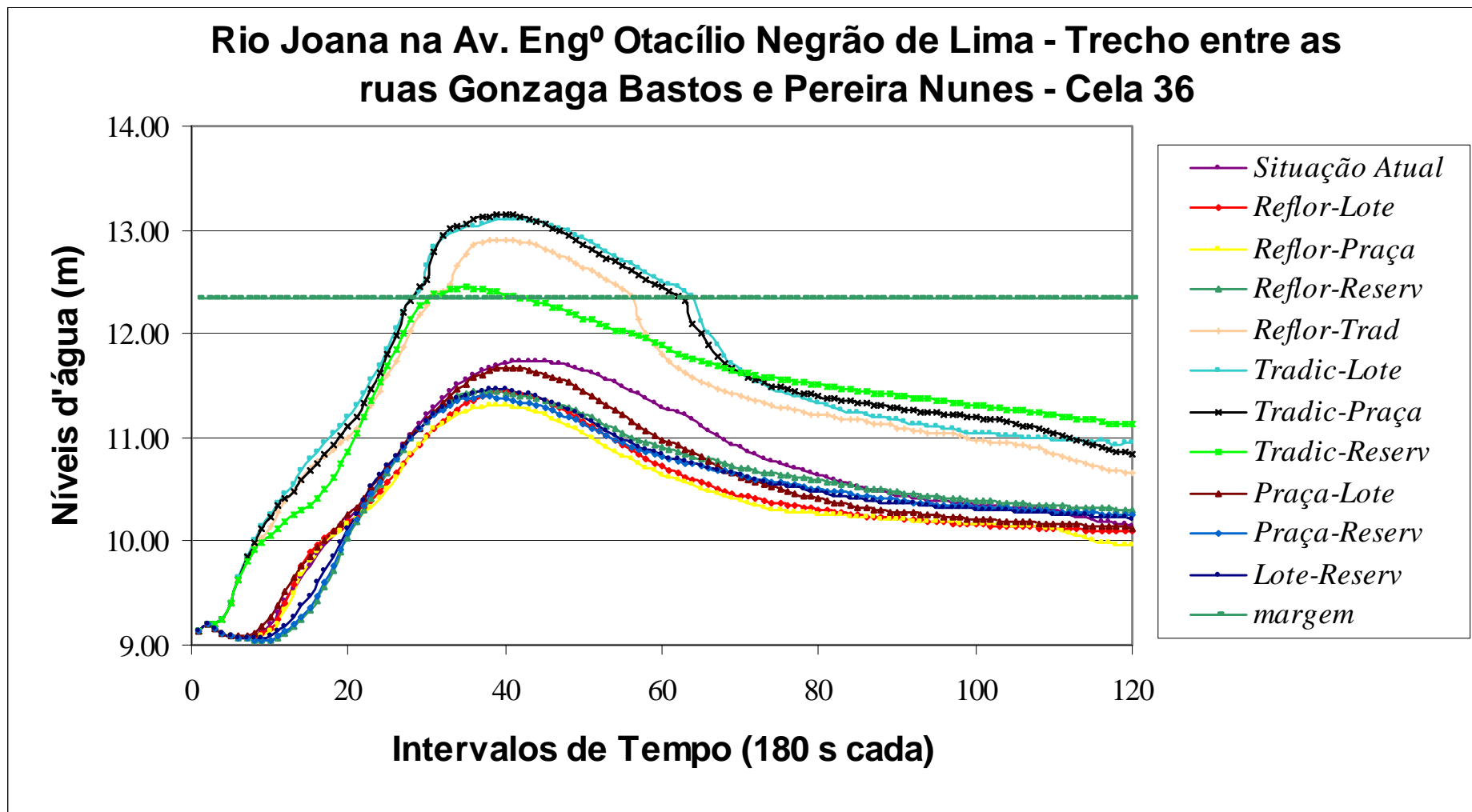


Figura 6.124 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

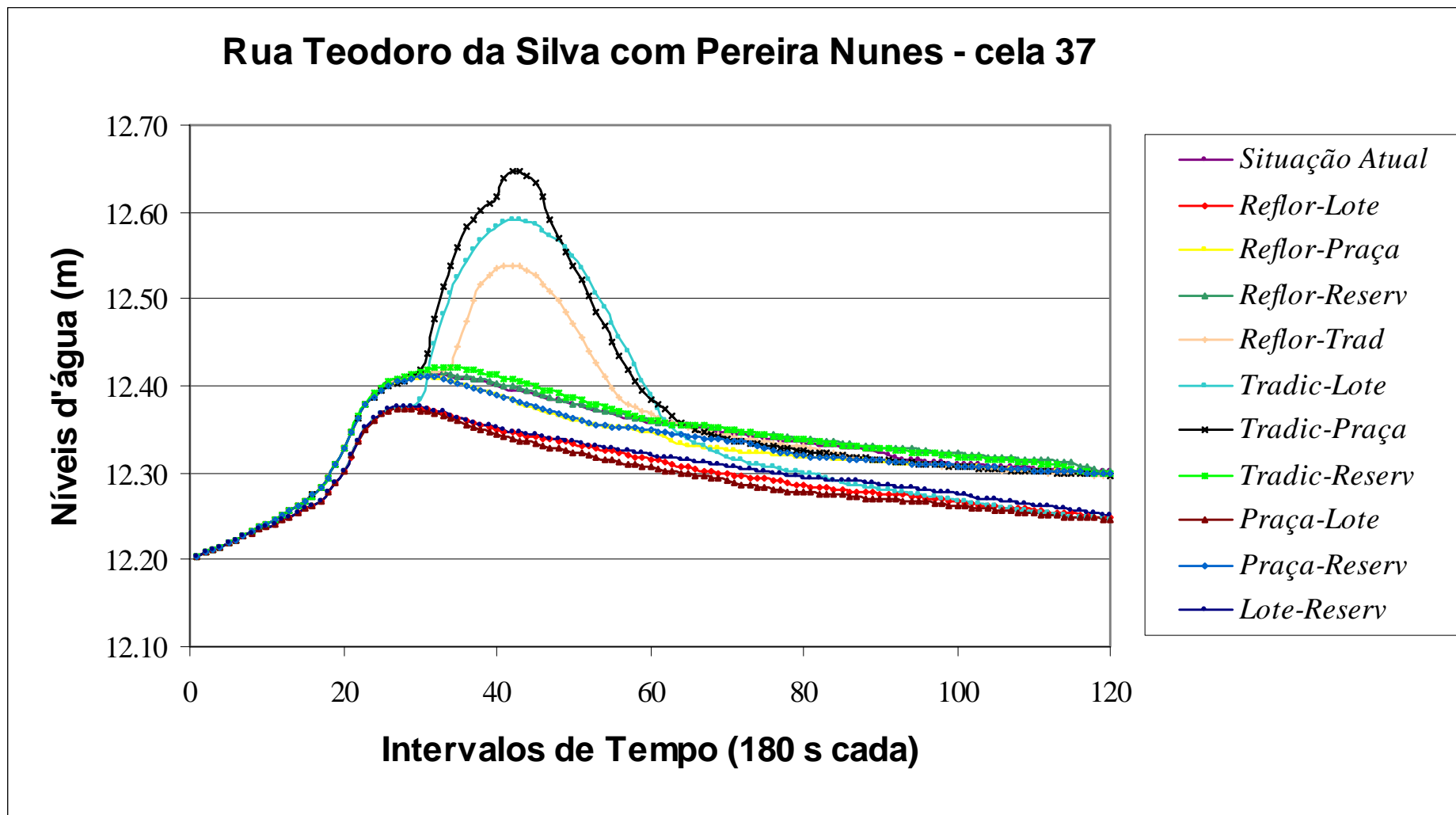


Figura 6.125 - Planície do rio Joana no terço médio.

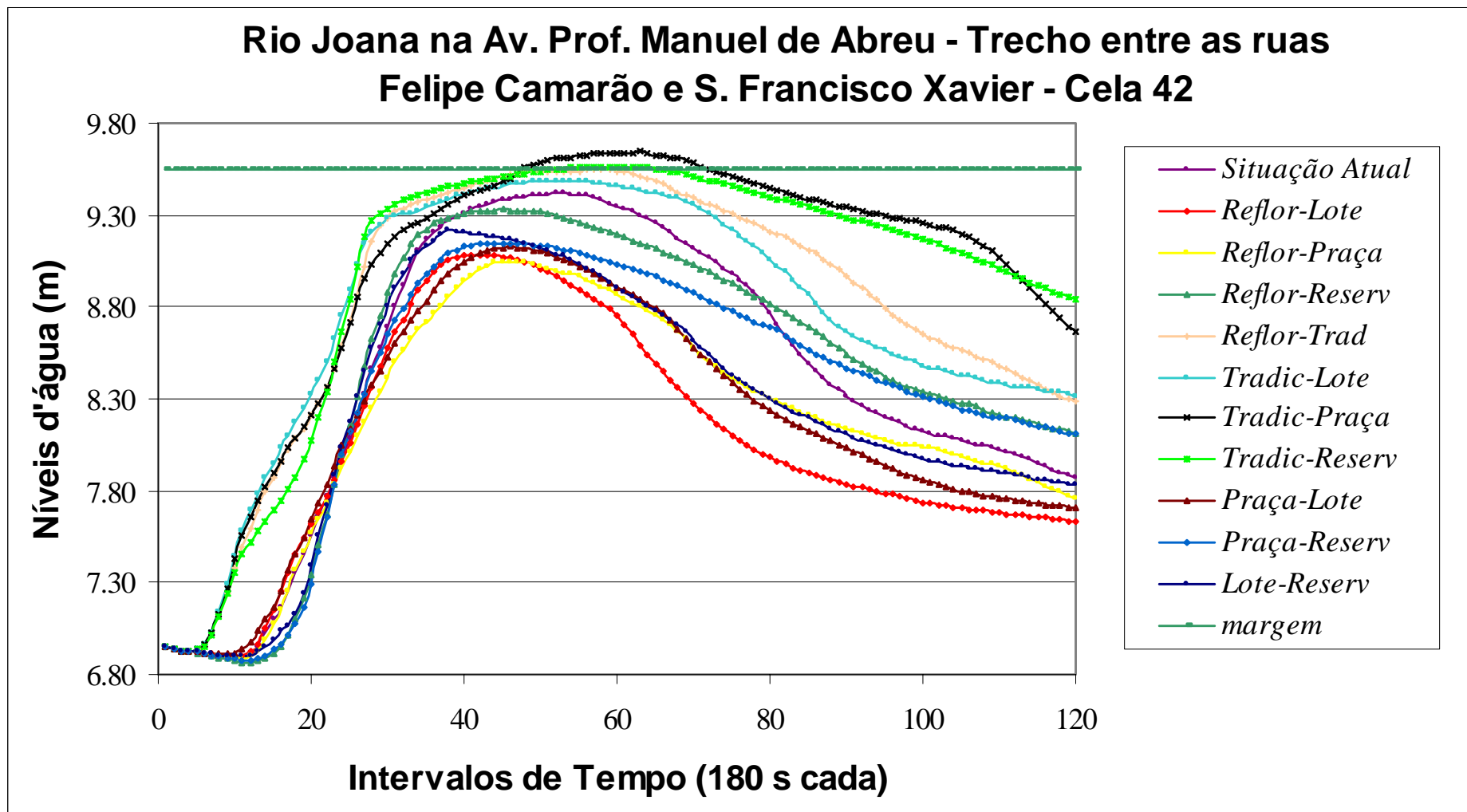


Figura 6.126 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência com a galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

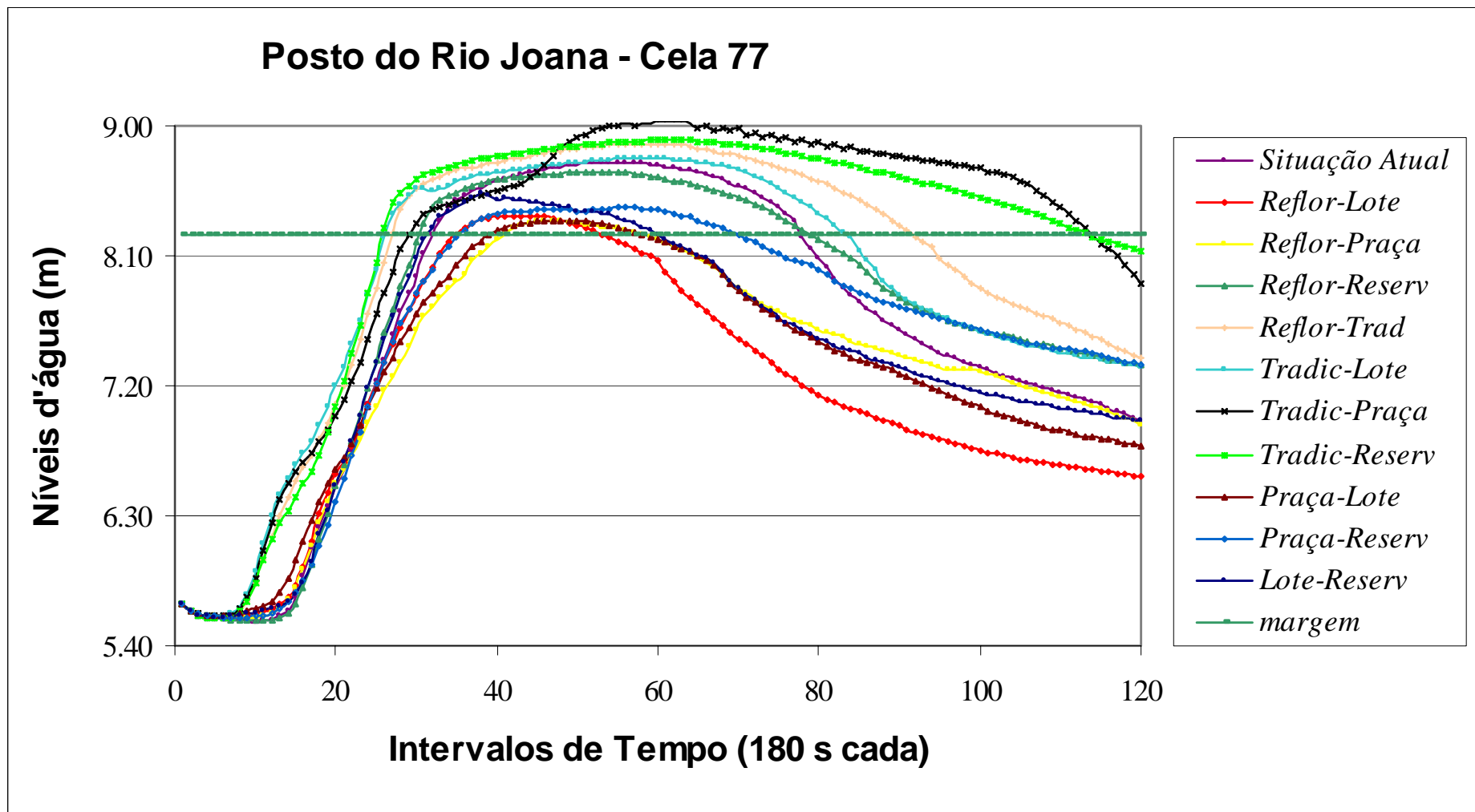


Figura 6.127 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã, após a contribuição das galerias das ruas Visconde de Santa Isabel e Torres Homem.

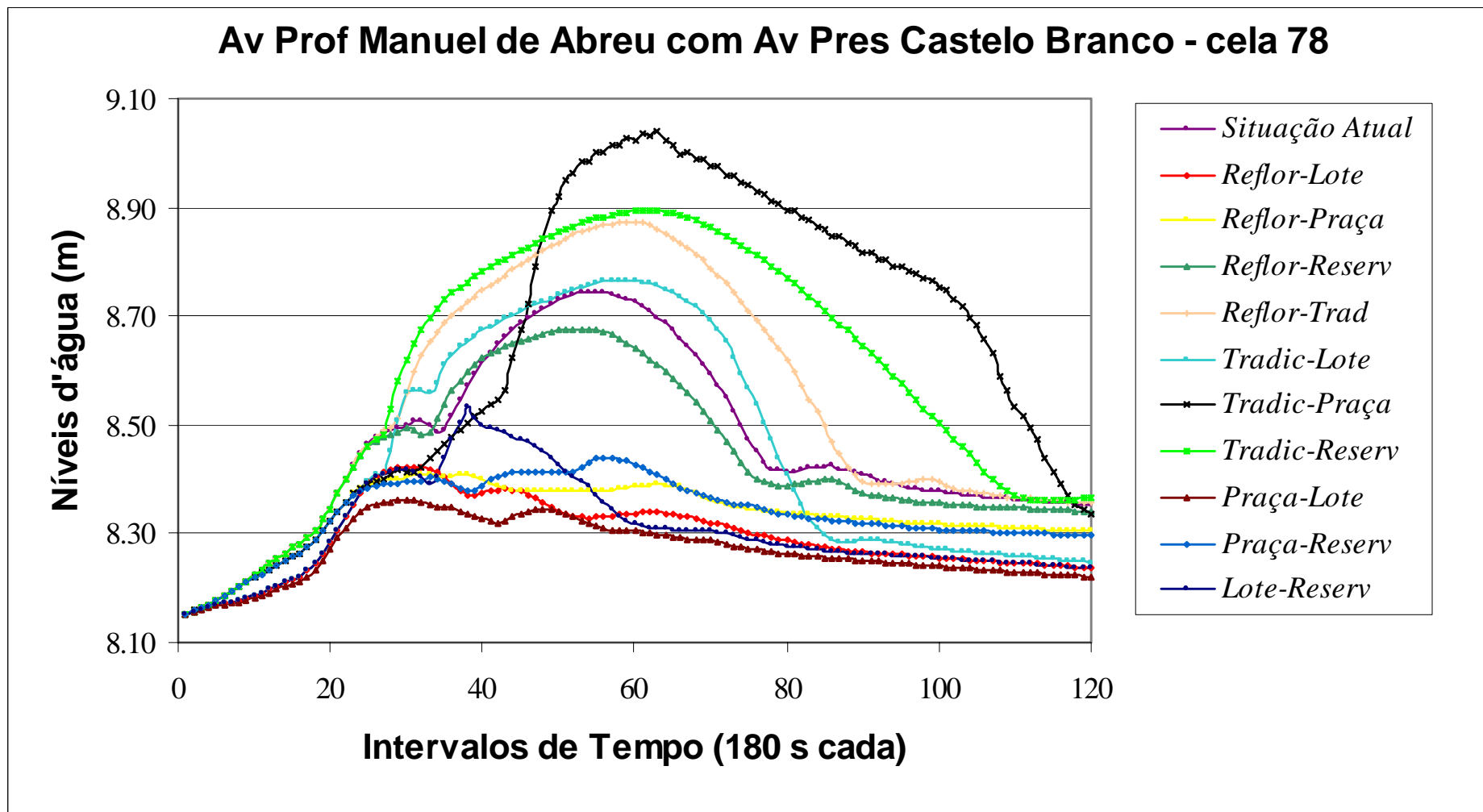


Figura 6.128 - Planície do rio Joana em seu terço final, célula.

6.3.7. Discussão dos Resultados

Os resultados apresentados até este ponto permitem algumas inferências sobre quais intervenções se completam ou se excluem, bem como conhecer sob que condições essa complementaridade ou exclusão ocorre. De uma forma geral, os melhores resultados foram obtidos quando se combina uma intervenção que controla escoamentos de encostas com outra que atua mais localmente, com destaque para as intervenções distribuídas combinadas com os reservatórios de encostas na parte média-alta da bacia e quando combinadas com o reflorestamento na parte média-baixa da bacia. Entretanto, setorialmente, ocorrem algumas variações positivas, com destaque para as intervenções tradicionais combinadas com outro cenário qualquer a montante, e para os reservatórios em praça combinados com os de lote na região média baixa da bacia.

No que concerne à complementaridade das intervenções tradicionais pode-se dizer que, apesar delas se combinarem bem com todas as intervenções a montante, apenas transferem os alagamentos para as partes mais baixas da bacia piorando inclusive a condição pregressa de alagamentos no trecho final da mesma. Desta forma, esta intervenção não será levada adiante em combinações de intervenções 3 a 3. É possível, entretanto, em bacia onde os alagamentos de jusante ainda não sejam críticos, ou considerando intervenções tradicionais corretivas com pequenas adequações, que estas intervenções tradicionais possam ser úteis em várias situações, desde que seus efeitos colaterais sejam levados em consideração e devidamente tratados no contexto do sistema.

No que diz respeito à complementaridade das intervenções de encosta pode-se dizer que as mesmas se complementam a montante em alguns casos em virtude de falhas de cobertura espacial na distribuição dos reservatórios de encosta considerados possíveis. Entretanto seus efeitos conjuntos benéficos não são verificados satisfatoriamente na parte média-baixa da bacia. Portanto esta combinação não será levada adiante em combinações 3 a 3. Já em relação às intervenções distribuídas, pode-se dizer que não se complementam satisfatoriamente a montante e no trecho médio-alto, por trabalharem de forma similar sobre os escoamentos superficiais e por competirem na produção de água para os rios e galerias, ao redirecionarem as águas das ruas e lotes. Entretanto seus efeitos se combinam no trecho médio-baixo da bacia onde os alagamentos e prejuízos normalmente são maiores. Logo, por este motivo, além de serem levadas adiante nas combinações 3 a 3, servirão de base para estas combinações.

6.4. Cenários com 4 intervenções combinadas, 3 a 3.

De forma a facilitar as análises neste tipo de combinação, formaram-se dois conjuntos de 3 intervenções, combinando os reservatórios de lotes e os de praças, com os reservatórios de encosta ou com o reflorestamento. As intervenções tradicionais foram descartadas destas análises, assim como a combinação reservatórios de encosta-reflorestamento, que não produzem efeitos conjuntos benéficos de redução de alagamentos na parte baixa da bacia. Para fins de comparação foram plotadas as curvas da combinação duas a duas dos reservatórios de lotes com os de praças que estão fixos nestas combinações restantes e a da situação atual sem intervenções. Cabe ressaltar mais uma vez que a metodologia proposta deseja verificar, primordialmente, a concorrência ou complementaridade funcional de medidas e não a espacial.

No ponto de controle P7, na parte média-alta da bacia do rio Joana, nota-se uma boa complementaridade das intervenções distribuídas (reservatório de lotes-reservatórios de praças) com os reservatórios de encosta (figura 6.119).

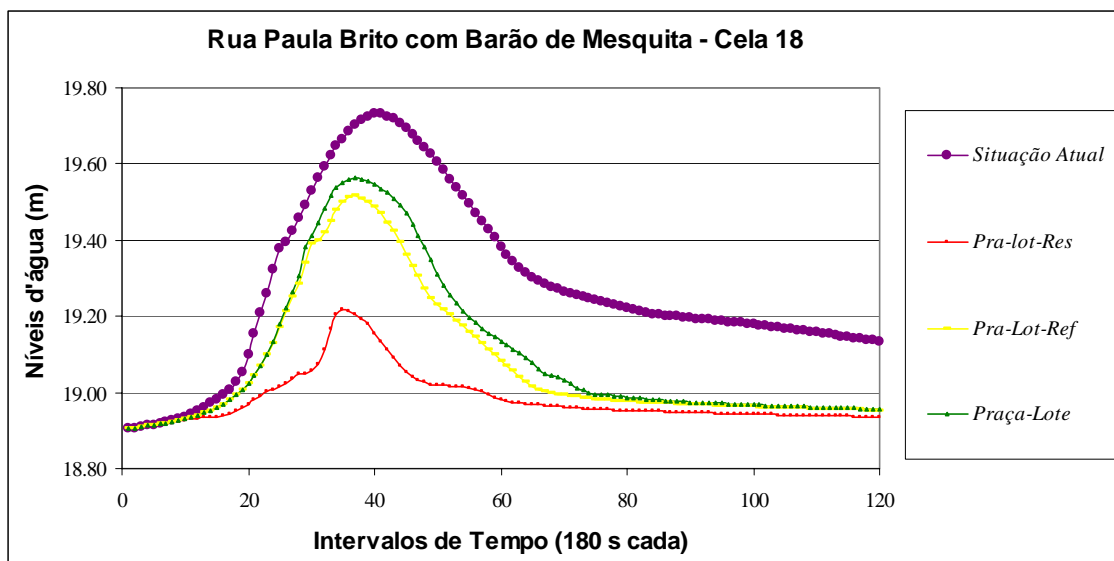


Figura 6.129 - Planície de montante do rio Joana.

No ponto de controle P2, observa-se também uma certa complementaridade das intervenções distribuídas com os reservatórios de encosta (figura 6.120). Entretanto, ao se resgatar o resultado da aplicação isolada do reservatório de lote para este local, tem-se um gráfico muito similar ao das combinações triplas.

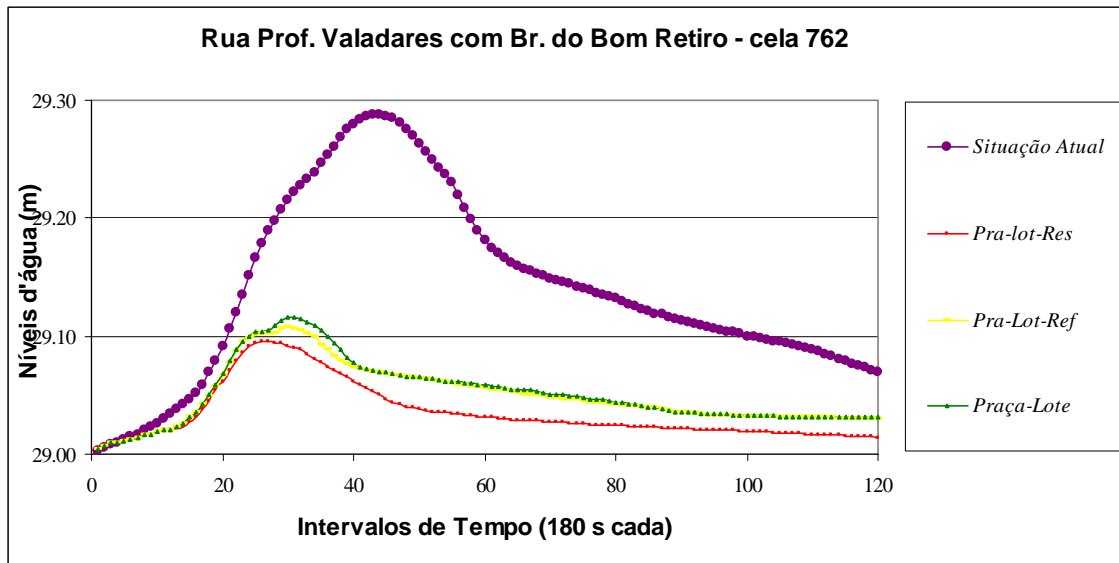


Figura 6.130 - Planície do rio Joana em seu terço inicial.

No P5, nota-se uma boa complementaridade das medidas potenciais com as demais medidas, com destaque ainda para os reservatórios de encosta (figura 6.121).

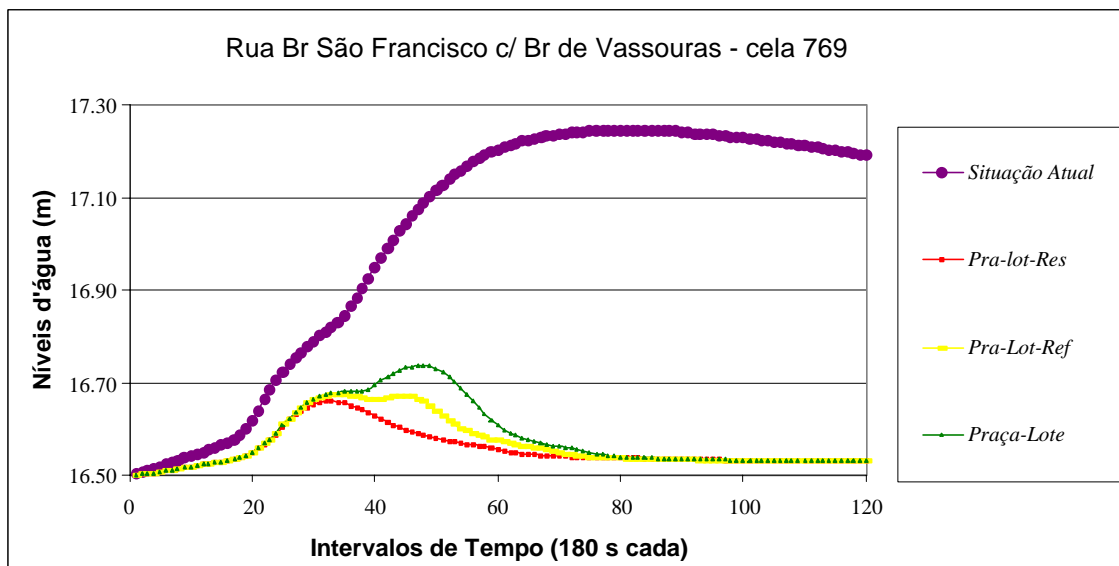


Figura 6.131 - Planície do rio Joana em seu terço médio. Célula localizada próxima ao Parque Recanto do Trovador, sub-bacia do rio Urubus.

Em relação ao comportamento da calha do rio Joana no P5, após a confluência das sub-bacias dos rios Jacó, Perdido, Andaraí e Urubus, se verifica a superioridade da combinação das intervenções distribuídas com os reservatórios de encosta na região (figura 6.122).

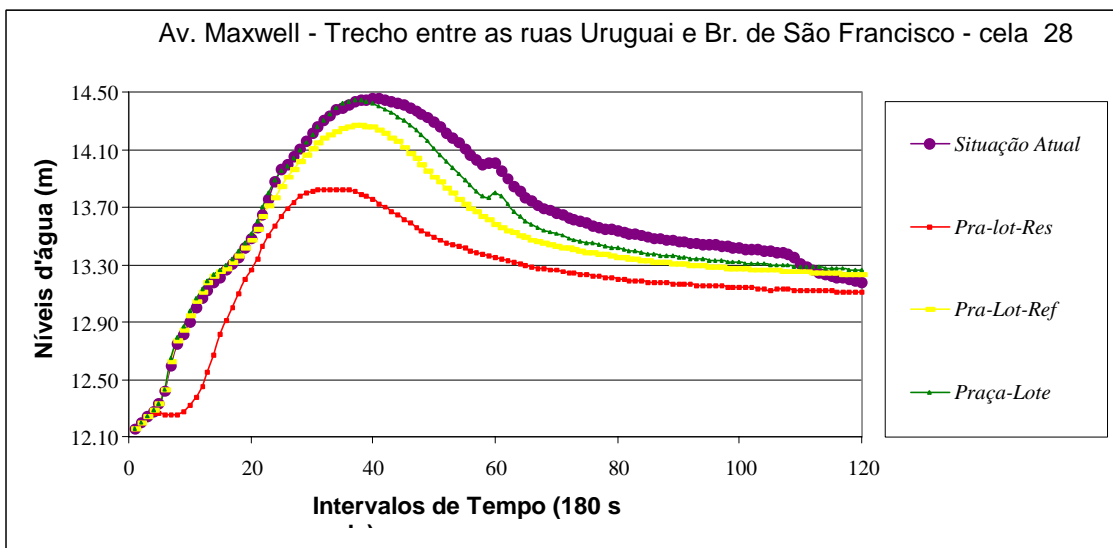


Figura 6.132 - Rio Joana a céu aberto após a confluência com o rio Urubus.

No P6, observa-se também uma pequena superioridade das intervenções distribuídas quando combinadas com reservatórios de encosta (figura 6.123). Neste local, como já discutido, não se têm influências concretas de atuação das intervenções de encosta.

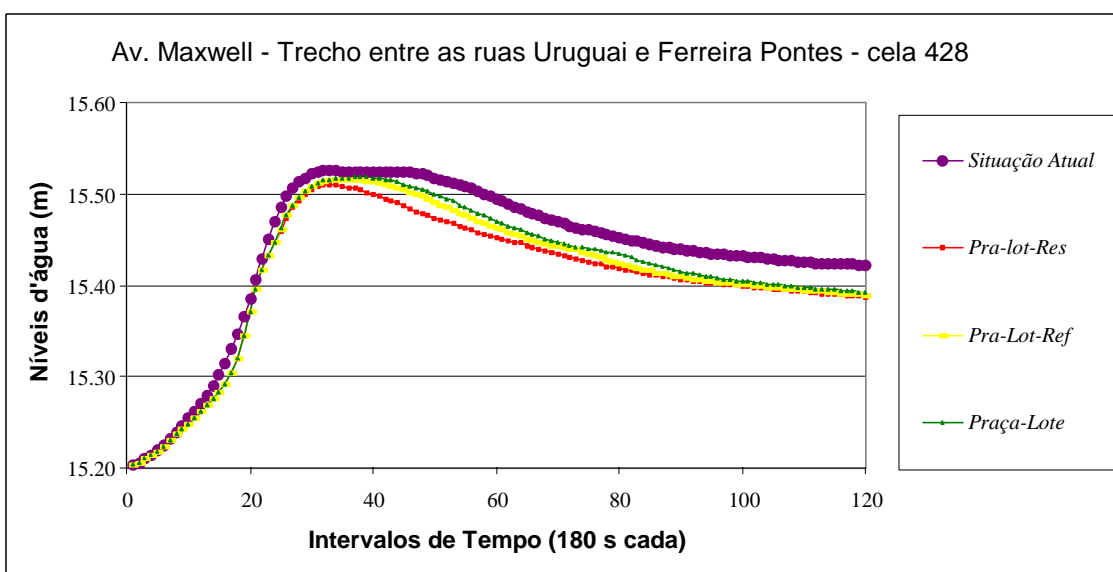


Figura 6.133 - Planície do rio Joana em seu terço médio.

No P3, nota-se, também, a superioridade da combinação das intervenções distribuídas com os reservatórios de encosta na calha do rio Joana (figura 6.124).

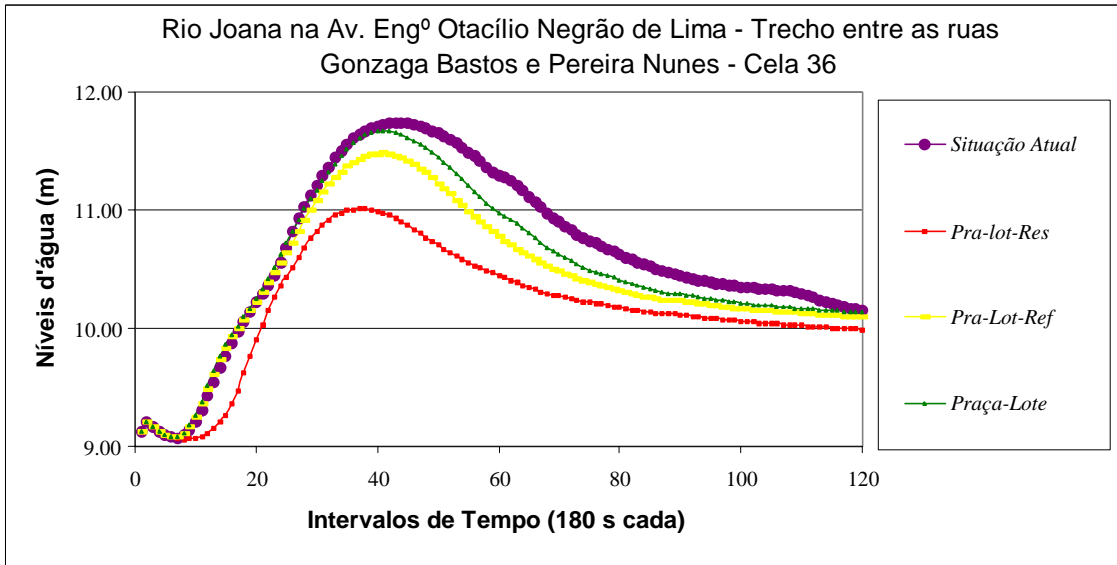


Figura 6.134 - Rio Joana a céu aberto antes de entrar em galeria no trecho entre a ruas Pereira Nunes e Teodoro da Silva.

No P3, na planície urbana, verifica-se a ausência de complementaridade das medidas potenciais quando combinadas com as demais (figura 6.125).

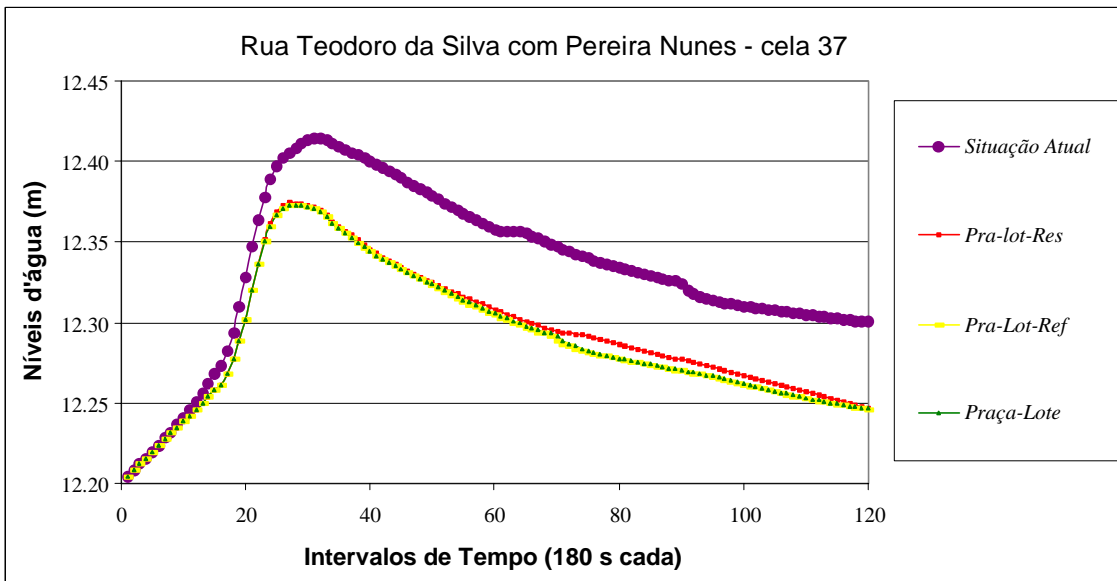


Figura 6.135 - Planície do rio Joana.

No terço inferior da bacia, no P4, nota-se novamente a superioridade das medidas distribuídas em combinação com os reservatórios de encosta na calha do rio Joana (figura 6.126).

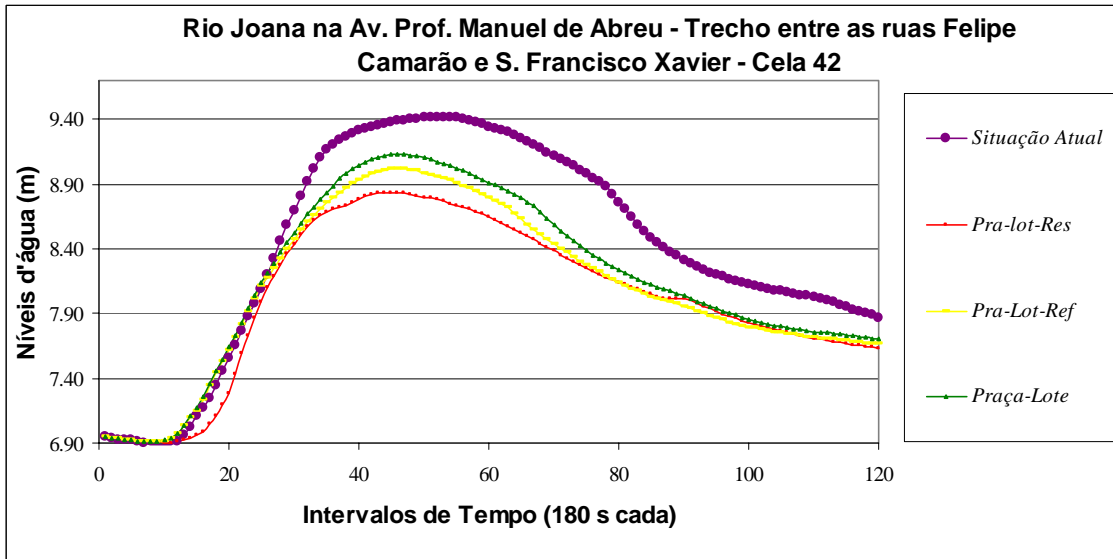


Figura 6.136 - Rio Joana a céu aberto após sua saída em galeria na rua Teodoro da Silva próximo à confluência coma galeria da rua Visconde de Santa Isabel.

No trecho final da bacia no P1, após a contribuição das galerias das ruas V. de Santa Isabel e Torres Homem, observa-se que pela primeira vez em uma combinação, o rio Joana não extravasando nesta região, comprovando a superioridade da combinação reservatórios de lotes-reservatórios de praça-reservatórios de encosta na calha da bacia como um todo (figura 6.127).

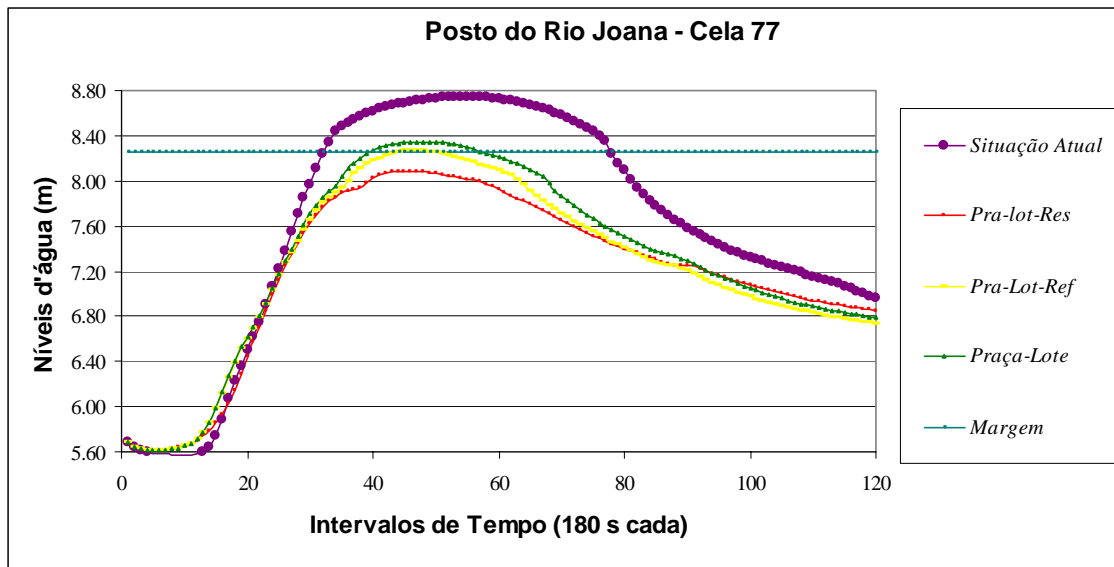


Figura 6.137 - Rio Joana próximo a sua foz no rio Maracanã.

A situação da planície urbana no P1 é bastante melhorada em todas as combinações com reduções de 40cm no pico da cheia (figura 6.128), com a combinação das medidas distribuídas com os reservatórios de encosta se destacando levemente em relação a sua

combinação com o reflorestamento devido ao vertimento de 2cm deste último, por 20 minutos, ocorrido na calha do rio na região (figura 6.127).

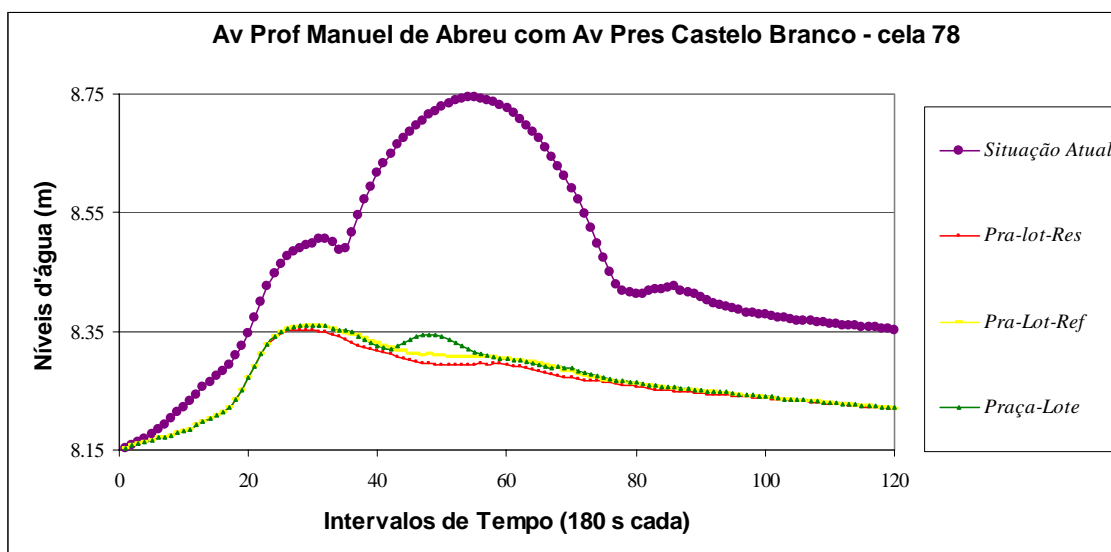


Figura 6.138 - Planície do rio Joana em seu terço final, célula localizada logo adiante da célula 77.

6.4.1. Discussão dos Resultados

Os resultados apresentados permitem definir um melhor conjunto de obras para este estudo de caso. De uma forma geral, pode-se observar que as melhores intervenções 3 a 3 tem em comum o fato de apresentar como parte integrante do conjunto, as intervenções em lotes e reservatórios de praças, distribuídas na bacia, com destaque para combinação destas com os reservatórios de encosta.

Quando combinada com os reservatórios de encosta as medidas distribuídas apresentam efeitos benéficos de forma generalizada na bacia, pois os reservatórios de encostas amortecem as águas das sub-bacias altas, em estado natural ou favelizadas, controlando as vazões superficiais nesta parte da bacia, beneficiando principalmente os reservatórios em praças, que captariam preferencialmente estas vazões, e a rede de macrodrenagem, e favorecendo também os reservatórios de lotes, por evitarem escoamentos descontrolados nas ruas, eventualmente invadindo lotes, ou escoamentos excessivos na própria rede, impedindo que os lotes não tenham saída. Os problemas que os reservatórios de encosta apresentavam na parte baixa da bacia são compensados pelas medidas distribuídas, proporcionando uma complementaridade ímpar na calha do rio Joana na parte baixa da bacia, impedindo que o mesmo verta para as ruas no trecho.

7. CONCLUSÕES

Como discutido no transcorrer desta Tese, o problema das enchentes urbanas vem fazendo parte, com freqüência, da rotina dos habitantes das grandes cidades, tendo, por vezes e paradoxalmente, como principal causa, o próprio processo de urbanização.

Como agravante tem-se que as devidas ações de planejamento urbano, que seriam capazes de minimizar os impactos oriundos deste processo, na grande maioria dos casos não foram estabelecidas ou não foram adequadamente implementadas. Assim, tem-se hoje, nas grandes cidades brasileiras, um quadro em que se pode constatar a ocupação desordenada de diversas áreas desses núcleos urbanos, a remoção da cobertura vegetal da bacia, a ocupação de grandes extensões de várzeas naturalmente inundáveis, a impermeabilização de grandes áreas das bacias, além da geração de lixo e esgoto sanitário, que, por vezes, não é coletado e tratado adequadamente. Todos estes fatores modificam e causam impactos no sistema de drenagem natural, tendo como consequência, usualmente, o aumento da freqüência, da magnitude, da extensão e do tempo de permanência das cheias, afetando assim toda a sociedade diretamente ou indiretamente.

Medidas de controle de enchentes, em situações tão diversas, como as encontradas nas grandes cidades, com distintas histórias de ocupação, resultando em diferentes padrões de uso do solo que aliado a diversos fatores como as próprias variações de relevo, as ações tomadas (ou não) ao longo do tempo no sentido de ordenar o crescimento da cidade e compatibilizá-lo com o funcionamento do sistema de drenagem, as medidas de controle desenvolvidas, o grau de educação ambiental das comunidades, entre outros tantos fatores, leva a uma situação em que soluções prontas, padronizadas ou importadas de outras locais se tornam muito difíceis.

Nesse contexto, este trabalho apresenta a proposta de um procedimento de tratamento do problema de enchentes urbanas, de modo sistêmico, com apoio de um modelo matemático para auxílio nas simulações de funcionamento integrado do sistema de drenagem, levando em consideração também a atuação de estruturas da paisagem urbana.

O controle das enchentes urbanas pode ser feito através de medidas estruturais, tais como, reservatórios de detenção, estruturas de infiltração, implantação ou ampliação de canalizações, entre outras; no entanto, medidas não estruturais, como a elaboração de planos diretores de drenagem urbana, o zoneamento de áreas de inundação, a criação de sistemas de alerta, educação ambiental, entre outras várias, também podem e devem ser adotadas com este intuito. Neste trabalho o foco recaiu sobre a utilização de medidas estruturais, destacando-se o uso de reservatórios de detenção em encostas, em praças, em lotes, reflorestamento e medidas tradicionais de obras de canalização na rede de macrodrenagem. A escolha deste conjunto de intervenções foi discutida no corpo do trabalho.

Uma questão fundamental para o estudo da eficiência destas medidas estruturais é que o efeito combinado dessas intervenções é, usualmente, bastante diferente da soma dos efeitos individuais de cada uma. Isto ocorre em virtude dos efeitos sinérgicos de complementação e competição funcional e espacial entre estas intervenções. A identificação das reais potencialidades de cada tipo de intervenção, isoladamente ou em conjunto com outras intervenções, deve ser feito tendo como foco principal a análise do escoamento na bacia hidrográfica como um todo, de forma integrada, hidrodinâmica e sistêmica. Cabe ressaltar que a relevância do estudo dos efeitos combinados das intervenções de controle de cheias tem como um dos principais objetivos a otimização dos recursos econômicos disponíveis para este fim. Lembrando que sempre que se verifica a competição funcional entre estas estruturas, há desperdício de recursos.

Assim, o que deve ser buscado é a complementação dos efeitos de cada uma das intervenções. Neste estudo buscou-se trabalhar especificamente sobre a questão da complementação funcional, de modo a saber que medidas podem conjuntamente potencializar a redução de alagamento. Um arranjo espacial otimizado é, sem dúvida, fundamental para o adequado controle de enchentes; entretanto, avaliar uma bacia de modo a tentar garantir cobertura espacial vasta para diferentes medidas de controle de enchentes, com efeitos positivos para o sistema é uma atividade um pouco menos complexa, exatamente por associar diferentes intervenções a diferentes áreas de atuação. Nesse caso, a complexidade da simulação recai sobre a conjugação de diferentes tempos de concentração, associados a atuação de cada intervenção, de modo a não se ter efeitos nocivos ao sistema. Por exemplo, medidas de amortecimento na parte baixa da bacia

podem eventualmente retardar o pico de modo a combina-lo com o pico vindo de partes altas, mais distantes, que sem o devido tratamento podem até aumentar o efeito da enchente. Como esta situação é altamente dependente da bacia em particular de estudo, procurou-se não focar a combinação espacial, para tentar chegar-se a conclusões de ordem mais geral.

Os fenômenos hidráulicos e hidrológicos que se manifestam e de modo integrado originam e propagam as cheias são muito complexos e não apresentam solução analítica. É neste sentido que o uso de modelos matemáticos capazes de simular o comportamento da bacia e do sistema de drenagem se destaca como abordagem para equacionar este problema e prever o comportamento de intervenções de controle de cheias e cenários de desenvolvimento urbano. A modelação matemática dos sistemas de drenagem urbana, e principalmente das cheias que ocorrem no mesmo, consiste numa importante ferramenta de apoio aos processos de planejamento urbano, escolha e avaliação de projetos de engenharia, elaboração de planos diretores e tomada de decisão associada à drenagem urbana. Neste sentido, adotou-se aqui o modelo desenvolvido na COPPE/UFRJ por Miguez e Mascarenhas (2001) para a simulação de cheias urbanas.

As conclusões ora estabelecidas dividir-se-ão em três módulos de apresentação: uma relativa ao comportamento do modelo, outra sobre os procedimentos propostos; e a última sobre estudo de caso da bacia do rio Joana.

Em relação ao modelo matemático, um ponto positivo a se destacar refere-se à versatilidade do mesmo, como pode ser atestado na sua utilização para representação dos reservatórios em praças e em lotes. Por outro lado, um ponto a ser melhorado refere-se ao nível de representação das estruturas hidráulicas quando aumenta-se o detalhamento da área modelada. Assim, tanto na representação de reservatórios em praças como nos lotes, onde células foram subdivididas e detalhadas, com adequações para o seu funcionamento com maior riqueza de detalhes, como mostrado ao longo deste texto, cumpre lembrar que as estruturas hidráulicas foram representadas por seções retangulares equivalente, o que é uma boa representação para a macro-drenagem e não compromete o funcionamento sistêmico, mas é uma aproximação forte para as galerias circulares da micro-drenagem. Uma outra observação refere-se à pesada base de dados, que trabalhada em arquivos do tipo texto, para o grande número de simulações

realizado, trouxe algumas dificuldades operacionais. De modo geral, entretanto, para os fins propostos, o modelo mostrou grande vocação para a representação da bacia como um sistema integrado, habilitando-o, conforme previsto, como uma importante ferramenta nos processos de planejamento e projeto de intervenções de controle de enchentes.

Com relação aos procedimentos propostos, verificou-se, a partir dos resultados obtidos que, de fato, existem obras com maior ou menor grau de complementaridade, em termos funcionais, e torna-se importante em uma avaliação, o uso de ferramentas de apoio a decisão, para otimizar resultados e evitar desperdícios. Considera-se aqui que o procedimento proposto é pertinente:

- é necessário dispor de um modelo apropriado à finalidade em vista,
- o modelo deve ser ajustado à realidade local da bacia em estudo;
- como não se esperam respostas absolutas de qualquer modelo, o engenheiro/planejador/projetista deve gerar conjuntos diversos de alternativas e verificar como estas alternativas se comportam em cenários simulados;
- a combinação de propostas é fundamental, tanto do ponto de vista de atuação funcional complementar, potencializando resultados, como em termos de atuação distribuída e sistêmica – neste ponto, mostra-se muito importante também a questão da avaliação espacial para localização das obras.

Este último tópico traz uma questão que, como antecipado, não era objetivo desta Tese, por trazer um caráter particular ao estudo, relativa à combinação espacial de efeitos. Dados os resultados obtidos, entretanto, percebeu-se que a separação destes efeitos é bastante difícil: embora conclusões funcionais possam ser obtidas, a localização espacial de um conjunto de obras de um dado tipo, mesmo em arranjos espaciais distribuídos de forma aproximadamente homogênea sobre a bacia, traz efeitos sobre os resultados, particularizando-os em algum grau. Em uma bacia real, de fato, a distribuição espacial não é exatamente homogênea e cada obra do conjunto terá particularidades, inclusive com dimensões e capacidades de atuações diferentes.

Em relação ao estudo de caso proposto, que serviu como base de teste para a indicação do procedimento geral estabelecido, várias observações puderam ser feitas,

comprovando alguns resultados qualitativamente esperados, mas que puderam ser vistos em termos também quantitativos, e trazendo novas informações para auxílio ao combate de enchentes.

Em linhas gerais pode-se dizer o seguinte:

- As intervenções tradicionais simuladas atuaram localmente com eficiência, mas ao drenar melhor a região de aplicação destas obras, transferiu maiores volumes para jusante, alagando regiões antes não alagáveis e agravando alagamentos pré-existentes. Esta situação era esperada. Na combinação com outras intervenções, entretanto, apesar do comportamento seguir os padrões já descritos, houve melhoria em trechos já um pouco a jusante das intervenções, com piora nas partes mais baixas. Cabe ressaltar que as modificações introduzidas com as intervenções tradicionais foram, de fato, de porte considerável. Nesse contexto, pode-se inferir que medidas tradicionais, bem dosadas com medidas de armazenamento, podem ser úteis em casos práticos de controle de enchentes. Esta possibilidade vem desmistificar uma tendência atual, correta em concepção, de se evitar canalizações e atuar nas causas do processo, propondo-se restaurar as vazões de pré-urbanização, o que se considerada adequado pelo autor desta tese e seus Orientadores, mas que não deve ser generalizado ou tomado como resposta pronta. Eventualmente, pequenas correções de calha podem ajudar a compor um sistema integrado de controle de enchentes de modo eficaz.
- As intervenções de armazenamento, sem exceção para o caso em estudo, sempre que vistas individualmente, geraram benefícios, especialmente no entorno próximo, mas não conseguiram manter o rio em sua calha. Este comportamento pode ser atribuído à situação pregressa de grandes alagamentos. Percebe-se que parte considerável dos bairros estudados funciona hoje como um grande reservatório temporário indesejável. Houve, portanto uma troca: águas que se espalhavam pelas ruas foram reordenadas e reencaminhadas para a rede de drenagem. Então, embora as planícies tivessem uma redução de níveis de alagamento, a calha não percebia reduções significativas com os amortecimentos.

- As intervenções nas encostas, reservatórios e reflorestamento, mostraram-se concorrentes boa parte das vezes, o que poderia ser esperável, embora suas atuações sejam conceitualmente bastante diferentes: enquanto o reservatório de encosta reordena a distribuição dos volumes d'água no tempo, administrando uma vazão de saída, função de sua capacidade de amortecimento, o reflorestamento propicia uma modificação nas parcelas do ciclo hidrológico, favorecendo uma retirada de volume d'água da parcela de escoamento superficial, seja por interceptação ou por favorecimento à infiltração. Em termos de modelação, a vazão amortecida pelo reservatório tem forma achatada, com pico bastante reduzido e recessão prolongada. Já o reflorestamento, representado por uma modificação na transformação da chuva total em chuva efetiva, minorando o coeficiente de escoamento superficial, reduz as ordenadas de chuva, mas não muda a forma do hidrograma de cheia.
- Os reservatórios de praças e de lotes, por encontrarem-se distribuídos sobre a bacia e sendo capazes de atuar na atenuação dos escoamentos e alagamentos superficiais poderiam vir a apresentar um caráter concorrente. Entretanto, não foi isto que se viu. Estas obras complementaram-se adequadamente na grande maioria dos casos. Os reservatórios de lotes, atuando na fonte, mas restritos às áreas particulares dos logradouros, tiveram boa complementação dos reservatórios em praças, que controlaram os escoamentos gerados em ruas, passeios, parques públicos e outras áreas não controladas na fonte, bem como captaram ainda resíduos de escoamento provenientes de locais mais distantes da bacia. Essa combinação acabou sendo levada até o final das simulações, sendo ainda complementada, nos melhores resultados obtidos, pelo reflorestamento e, principalmente, pelos reservatórios de encosta.
- A trinca de intervenções reservatórios de encosta\reservatório de praças\reservatórios de lotes conseguiu manter o rio dentro da calha na crítica região da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, junto ao Estádio do Maracanã. Parece que o efeito de reorganizar o escoamento das encostas foi mais interessante, do ponto de vista hidráulico, do que o efeito de redução de volumes superficiais do reflorestamento. Destaca-se, entretanto, que o reflorestamento, por motivos ambientais e de resgate do comportamento hidrológico de pré-urbanização, pode vir a ser uma medida mais interessante. Em contra-partida, problemas sociais podem

surgir com a proposta de reflorestamento, pela necessidade de relocação de populações pobres estabelecidas em encostas degradadas.

- Destaca-se que reservatórios de praças e de lotes que eventualmente sejam propostos para áreas mais baixas e alagáveis, sem nenhum outro tratamento, serão absolutamente inefetivos, pois serão submersos de fora para dentro, pelos próprios escoamentos superficiais que geram o alagamento local. O reservatório de praça proposto para a região da Praça Médici sofreu com este problema, mostrando-se inadequado, exceto para o caso em que, ao final das simulações, o rio manteve-se em calha. Esta observação é importante e remete a uma etapa posterior de trabalho, que deveria mapear as regiões para aplicação dos dispositivos propostos, especialmente no que se refere ao zoneamento das áreas de interesse para a localização dos reservatórios em lotes.

Todas estas observações, com inúmeras possibilidades e variações diversas, mostra o quanto é importante a fase inicial de estudo e concepção para se desenvolver adequadamente estratégias de controle de enchentes que sejam efetivas e econômicas. Dentro deste contexto justifica-se, então, a proposta de procedimento geral conduzida nesta Tese, como uma possibilidade viável para o tratamento do problema de cheias urbanas.

8. RECOMENDAÇÕES

Da mesma forma que foi desenvolvida a etapa relativa às conclusões deste estudo, as recomendações também dividir-se-ão em três módulos de apresentação: uma relativa ao comportamento do modelo, outra sobre os procedimentos propostos; e a última sobre o caso de estudo da bacia do rio Joana.

Em relação ao modelo duas recomendações gerais podem ser feitas:

- acrescentar ao modelo, especialmente no que se refere a ligação tipo galeria, a possibilidade de seções circulares e, eventualmente, com geometria qualquer variável;
- aprimorar as interfaces de utilização do programa, de modo a facilitar a entrada de dados e permitir uma visualização espacial de resultados gerados.

Em relação aos procedimentos propostos, chama a atenção a dificuldade de separação dos efeitos funcionais daqueles espaciais promovidos pelas intervenções propostas. De fato, ambos acontecem conjuntamente, em maior ou menor escala de importância. Para ajudar a iluminar esta situação, duas propostas surgem:

- a instrumentação de uma bacia como piloto de trabalhos futuros, com informações detalhadas e coletadas também para as áreas de planície – mesmo sem medições contínuas, são necessárias informações de alagamento das planícies, o que pode ser conseguido, pontualmente, por postos que registrem, pelo menos, os níveis máximos atingidos para uma dada chuva medida;
- outra possibilidade é construir uma bacia hipotética, toda conhecida e controlada, preferencialmente com característica unidimensional, de modo a localizar as intervenções em linha e minimizar a dispersão espacial e reconduzir os estudos.

Outras possibilidades sugeridas, para incrementar os procedimentos metodológicos sugeridos, tratam da tentativa de isolar as intervenções e procurar caracterizar espacialmente o seu comportamento, de modo a produzir recomendações de

direcionamento de intervenções associadas a trechos de rios – alto, médio-alto, médio, médio-baixo, baixo. Um exemplo de resultado que mostra a importância de se agregar este procedimento refere-se ao efeito observado para o reservatório da praça Médici, conforme relatado anteriormente nas conclusões deste trabalho. Esta praça, não importando a sua cota de coroamento, o diâmetro de saída de seu orifício e mesmo o seu volume (face aos alagamentos locais) teve sempre o seu funcionamento comprometido por alagamentos de fora para dentro, tomando o seu volume útil e impedindo qualquer amortecimento prático.

A combinação dos efeitos funcionais e espaciais, levando a termo uma aplicação completa para uma bacia real, particularizando o caso, mas levando-o à proposição final do conjunto ótimo de obras propostas também pode ser um interessante estudo de caso.

Em relação agora ao caso particular estudado, considera-se natural estender a aplicação do Rio Joana de modo a se chegar ao resultado ótimo, com a verificação de funcionamento do conjunto de intervenções encontrado para um conjunto menor e selecionado de praças e com uma definição para a região propícia à implantação dos reservatórios de lotes. Outras considerações que precisam ser feitas relacionam-se ao uso de áreas privadas, como estacionamentos de mercados e *shopping centers*, o uso de áreas livres da própria UERJ e do Estádio do Maracanã, e à avaliação da possibilidade de funcionamento adequado de medidas de infiltração, entre outras aqui não consideradas, além da proposição quantitativa de medidas de controle de transporte de sedimentos e da qualidade da água.

Evoluir no estudo do rio Joana pode ser o caminho mais simples para se chegar a confecção de um Plano Diretor de Drenagem Urbana e de um Manual de Drenagem associado. Deste modo, o município do Rio de Janeiro estará concretamente avançando em direção a um cenário futuro com menores prejuízos e transtornos decorrentes das enchentes nesta cidade.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMEC. *Earth and Environmental Center for Watershed Protection*. Georgia Stormwater Management Manual, Volume 2: Technical Handbook. Atlanta, 2001.
- ARAÚJO, P.R. de; TUCCI, C.E.M. e GOLDENFUM, J.A. *Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, Porto Alegre, 2000.
- ARIZONA. *Harvesting Rainwater for Landscape Use*. [on line], disponível na internet via WWW.URL: <http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1052/harvest.html>.
- BALADES, J.D.; BERGA, P.; BOURGOGNE, P. *Impact d'une tranchée drainante par temps de pluie*. NOVATECH-98, 1998.
- BRASHEAR, R.W., PROMISE, J. e ROESNER, L. A. *Utilizing the world wide web to organize and convey urban storm water management principles to diverse audiences*. Proc. The Eighth International Conference on Urban Storm Drainage, Sydney, Australia. August 30 – September 3, 1999.
- BUTLER, D. e DAVIES, J.D. *Urban Drainage*. E & FN Spon, London, 2000.
- BLAKE, GJ. *The Interception Process*. In: Predictions in Catchment Hydrology, Chapman TG and Dunin FX(ed), Australian Academy of Science, Canberra Australia. 1975.
- CAMPOS, R.O.G. *Inundações Urbanas: Considerações Gerais e Modelação Matemática com Incorporação da Obstrução por Resíduos Sólidos*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001.
- CANEDO, L.P.C. *Modelo Hidráulico-Hidrológico Distribuído, Estudo de Caso: Bacia do Rio Joana*. Trabalho de Final de Curso, DRHIMA, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- CASQA, *California Stormwater Quality Association*. New Development and Redevelopment Handbook. California, 2003.
- CICCO, V.; EMMERICH, W.; FARIA, A.J. & FUJIEDA, M. *Projeto de pesquisas hidrológicas em florestas natural na Reserva Estadual de Cunha; determinação do balanço hídrico*. In: Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais: a influencia das florestas no manejo de bacias hidrográficas, XI. Curitiba-Pr, fev.7-8, 1984.
- CRUZ, M.A.S.; ARAÚJO, P.R. e SOUZA, V.C.B. *Estruturas de Controle do Escoamento Urbano na Microdrenagem*. Porto Alegre, 1999.

- CEHPAR. *Estudos de Simulação do Escoamento do Rio Cachoeira em Joinville*. Relatório Final - Projeto HG56, Maio de 1985.
- CUNGE, J.A. . *Two-Dimensional Modelling of Flood Plains*. In: Unsteady Flow in Open Channels, cap. 17. Colorado, Water Resources Publications, 1975.
- CUNGE, J.A.; HOLLY Jr., F.M.; VERWEY, A. . *Practical Aspects of Computational River Hydraulics*. London, Pitman Advanced Publishing Program, 1980.
- ESCOLA DE ENGENHARIA - *Estudos e Projetos de Obras Cíveis e Prontas Atuações de Controle Sistêmico das Enchentes na Bacia Hidrográfica do Canal do Mangue*. Proposta COPPETEC PP/6637A à Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, maio de 1998.
- ESCOLA DE ENGENHARIA - *Execução de Concepção e de Projetos de Obras Cíveis e Ações de Controle das Enchentes na Bacia Hidrográfica do Canal do Mangue, Relatório Final*. Proposta COPPETEC PP/6637A à Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- FASSBENDER, H.W. *Química de los suelos*. IICA. Costa Rica. 398p. 1980
- FIELD, R., CLARK, S., FAN, C. e O'CONNOR, T.P. *Annotated bibliography of urban wet weather flow literature from 1996 through 2000*. Department of civil and environmental engineering. University of Alabama. 2000.
- FUNDAÇÃO GEORIO, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, [on line], disponível na internet via WWW.URL: <http://www.rio.rj.gov.br/georio>.
- HOLMES, J.W. e J.A. SINCLAIR. *Water yield from some afforested catchments in Victoria*. Hydrology and Water Resources Symposium, Griffith University, Brisbane, The Institute of Engineers, Australia, Preprints of papers, pp.214-218. 25-27 November 1986.
- HROMADKA II, T.V.; CLEMENTS, J.M.; SALUJA, H. *Computer Methods in Urban Watershed Hydraulics*. Mission Viejo, California, Lighthouse Publications, 1984.
- HUTCHISON, I.P.G. & MIDGLEY, D.C. *Mathematical Model to Aid Management of Outflow from the Okavango Swamp, Botswana*. Journal of Hydrology, vol. 19, p. 93-113, 1973.
- JEFFREY, W.W. *Experimental watershed in the Rocky Mountains Alberta, Canada*. International Association of Scientific Hydrology. Publicação n. 66. 1965.
- JOHNSON, W. *Physical and Economic feasibility of nonstructural flood plain management measures*. Hydrologic Engineer Center, Davis, 1978.
- LINSLEY, R.K.; FRANZINI, J.B.; TCHOBANOGLOUS, G. e FREYBERG, D. *Water Resources Engineering*. McGraw-Hill, 1992.

- MAGALHÃES, L.P.C. *Modelo Hidráulico Distribuído, Estudo de Caso: Bacia do rio Joana*. Trabalho Final de Curso, DRHIMA, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- MAGALHÃES, L.P.C.; MIGUEZ, M.G.; MASCARENHAS, F.C.B.; MAGALHÃES, P.C.; MAGALHÃES, S.C. e DUARTE, R.X.M. *Estudo da Aplicação de um Reservatório de lote com múltiplos fins*. Rio de Janeiro, 2003.
- MAJOR, T.F., LARA, A. & CUNGE, J.A., *Mathematical Modelling of Yacyreta-Apipe Scheme of the Rio Parana*. La Houille Blanche, n. 6 e 7, 1985.
- MASCARENHAS, F.C.B., MIGUEZ, M.G. *Modelação de Grandes Planícies de Inundação por um Esquema de Células - Aplicação ao Pantanal de Mato-Grosso*. Revista Brasileira de Engenharia (RBE), Caderno de Recursos Hídricos, v.12, n.2, dezembro, 1994.
- MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G. *Modelação de Cheias Urbanas Através de um Esquema de Células de Escoamento*. IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Campina Grande/PB, Brasil, novembro de 1998.
- MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G.; CAMPOS, R.O.G. *Urban Drainage Case Study - Watershed of the City of Rio de Janeiro*. The Sustainable City 2000 - First International Conference on Urban Regeneration and Sustainability; ISBN=1368-1435, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 2000.
- MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G.; CAMPOS, R.O.G. *Simulação do Escoamento Superficial em Uma Área Urbana: Proposta de um Reservatório de Amortecimento de Cheia no Parque Recanto do Trovador, Bairro do Grajaú, Bacia do Rio Joana/RJ*. Primeiro Congresso Sobre Aproveitamento e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Português; Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 2000.
- MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G.; CAMPOS, R.O.G. *Modelação Topográfica e Hidráulica de Uma Bacia Urbana para Simulação de Enchentes Através de Um Esquema de Células: Caso da Bacia do Canal do Mangue/RJ*. Primeiro Congresso Sobre Aproveitamento e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Português; Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 2000.
- MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G.; CAMPOS, R.O.G. *Aplicação de Um Modelo de Células para Avaliação de Diferentes Soluções Para o Problema de Enchentes Urbanas - Caso do Rio Maracanã/RJ*. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste .Natal/RN, Brasil, novembro de 2000.
- Maryland Department of the Environment (MDE). *Maryland Stormwater Design Manual*. Volumes I and II. September 1998 Review Draft. Prepared by the Center for Watershed Protection. Baltimore, MD. 1998.
- MIGUEZ, M., G., MASCARENHAS, F.C.B. *Modelação Matemática de Cheias Urbanas Através de um Esquema de Células de Escoamento*. Revista Brasileira

de Recursos Hídricos (RBRH), v.4, n.1, p. 119-140, ISSN 1414-381X, janeiro a março de 1999,

MIGUEZ, M.G. ; MASCARENHAS, F.C.B. *Aplicação de um Modelo de Células para o Trecho Superior do Rio Maracanã - Simulação de um Conjunto de Soleiras para Minimização de Enchentes na Região da Praça da Bandeira*. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos; Belo Horizonte/MG- dezembro de 1999.

MIGUEZ, M.G. *Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

MAKSIMOVIC, C., editor. *New Technologies in Urban Drainage*. London, Elsevier Science Publishers, 1991.

NETTO, A.L.C. *Hidrologia de Encosta na Interface com a geomorfologia*. In: GUERRA, A,J,T.&CUNHAS,B,D. "Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos". Rio de Janeiro: Bertrand Brasil,1994. 93-148.

O'LOUGHLIN, G., BEECHAM, S., LEES, S., ROSE, L. AND NICHOLAS, D. *On-site stormwater detention systems in Sydney*, Lyon, Novatech 1995.

OTTONI,T. *Fundamentos de engenharia ambiental com ênfase em recursos hídricos, perenização e regulação fluvial*. Hidroesb (apostila). 232p. 1995.

PEDROSA, M.G.A. *Alerta Meteorológico*. In: Tormentas cariocas – Seminário prevenção e controle dos efeitos dos temporais no Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1997.

RICHMAN, T. e BICKNELL, B. *A Start at the Source: Site Planning and Design Guidance Manual for Storm Water quality Protection*, ASCE 26th Annu. Conf. Water Resource Planning Management. 1999.

SCHILLING, W., "Cisterns Against Storms". in: Featherston, R.E.; James, A. (eds.), 'Urban Storm Drainage', Pitman, London, pp.4/49-60, 1982.

SEMADS. *Enchentes no Estado do Rio de Janeiro*. Projeto Planágua SEMADS/GTZ, vol. 8, Rio de Janeiro, 2001.

SHEAFER, J.R. *Introduction to Flood Proofing*. University of Chicago, Illinois, 1967.

SOUZA, C.G.; NEVES, E.; ALAMEIDA, M.C.S.; PEIXOTO, S. *Educação Ambiental*. In: Tormentas cariocas – Seminário prevenção e controle dos efeitos dos temporais no Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1997.

SOUZA, M.M. *Apostila do processo de formação sócio-espacial do Brasil urbano e industrial*, [on line] [WWW.URL:http://www.inx.com.br/~manoel/resumat3.html](http://www.inx.com.br/~manoel/resumat3.html). Última atualização em 28 de outubro de 1998.

- SYDNEY. *ESFM Project: Water quality and Quantity for the Upper and Lower North East, Southern RFA Regions*. Resource and Conservation Division, Department of Urban Affairs and Planning., pp. 18, November 1998.
- TSUCHIYA, A. *Evaluation of on-site stormwater detention methods in urbanized area*. First International Conference On Urban Drainage. pp. 470-478. APRIL 1978.
- TUCCI, C.E.M. *Controle de Enchentes*. In: Hidrologia, Ciência e Aplicação. Editora da UFRGS, ABRH, 1993.
- TUCCI, C.E.M. e GENZ, F. *Controle do Impacto da Urbanização*. In: Drenagem Urbana. Editora da UFRGS, ABRH, 1995.
- TUCCI, C.E.M.; LOPES, M.O.S. *Zoneamento das Áreas de Inundação*. Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, Volume 3, 1985.
- TUCCI, C.E.M.; PORTO, R. LA LAINA; BARROS, M.T. DE. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre, ABRH, Editora da Universidade/UFRGS, 1995.
- TUCCI, C.E.M.; LOPES, M.O.S. *Zoneamento das Áreas de Inundação*. Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, Volume 3, 1985.
- URBONAS, B. e STAHRÉ, P. *Stormwater Best Management Practices and Detention*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- VANNI, G.S. *Controle de Enchentes e Gestão da Drenagem Urbana, Estudo de Caso: Bacia do rio Joana*, RJ.Trabalho Final de Curso, DRHIMA, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- VERTESSY, R., WATSON, F., O'SULLIVAN, S., DAVIS, S., CAMPBELL, R., BENYON, R. E HAYDON, S. *Predicting water yeld from Mountain Ash forest catchments*. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Industry Report, No.98/4. 1998.
- WATER RESOURCES COUNCIL. *Regulation of flood hazard areas to reduce flood losses*. Washington, 1971.
- WEISS, H.W.; MIDGLEY, D.C. *Suite of the Mathematical Flood Plain Models*. Journal of the Hydraulics Division , ASCE, v.104, n.HY3, p.361-376, 1978.
- WOODWORTH, J.W., Jr. *OUT OF THE GUTTER, Reducing Polluted Runoff in the District of Columbia*. 2002.
- ZANOBETTI, D. & LORGERÉ, H., *Le Modele Mathématique du Delta du Mékong*, La Houille Blanche, n. 1, 4 e 5, 1968.
- ZANOBETTI, D.; LORGERÉ, H.; PREISSMAN, A.; CUNGE, J.A. *Mekong Delta Mathematical Program Construction*. Journal of the Waterways and Harbours Division, ASCE, v.96, n.WW2, p. 181-199, 1970.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)