

PROJETOS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES: conceito de reservação x conceito de canalização

Oswaldo Moura Rezende¹; Luiz Alberto Arend Filho²; Matheus Martins de Sousa³; Marcelo Gomes Miguez⁴ & Paulo Canedo de Magalhães⁵

RESUMO --- A medida em que a urbanização aumenta e se expande, ela ocupa as várzeas de inundação e impermeabiliza o solo, dificultando a infiltração da água pluvial e realocando essas águas para outros lugares mais baixos. Assim, a drenagem passa a ser uma busca pela alocação das águas no espaço urbano. Convencionalmente, a solução clássica para projetos de controle de inundações prioriza a aceleração do escoamento e o aumento da capacidade de condução de vazão dos canais, por meio de intervenções estruturais na rede de macrodrenagem, transferindo as inundações para trechos a jusante das obras. Numa perspectiva mais sustentável, esses projetos devem, sempre que possível, buscar medidas que visam mitigar os impactos da urbanização, favorecendo os processos de infiltração e retenção das águas, no intuito de regenerar condições hidrológicas próximas às de pré-urbanização, trazendo benefícios para a qualidade de vida e visando a preservação ambiental. Neste trabalho, estas duas concepções de projetos de drenagem serão confrontadas, aplicando-se, em uma bacia com problemas de inundações, um projeto de simples canalização do rio principal e um projeto com previsão de uma estrutura de detenção dos escoamentos. Os custos com dragagem e movimentos de terra serão comparados entre as duas alternativas

ABSTRACT --- While the urbanization process increases, floodplains become to be occupied, soil imperviousness grows minimizing infiltration and redirecting rainwater to lower lands. Thus, the drainage system design turns into a search for space allocation of storm waters in urban areas. Conventionally, the classical solution for flood control projects prioritizes both flow acceleration and channel conveyance through structural interventions on the macro drainage system, transferring floods to downstream river reaches. In a sustainable perspective, such projects should, where it is possible, seek for measures to mitigate the impacts of urbanization, facilitating the processes of infiltration and retention of rainwater in order to recover hydrological conditions near the pre-development situation, bringing benefits to quality of life and to environmental preservation. In this work, these two conceptions of drainage design will be checked, both of them being applied to a basin with flooding problems. The first conception refers to a simple channelization design, conformating a new cross section for the river; the second design concept introduces a detention reservoir to the system. At the end, the costs of dredging and soil excavation will be compared between the two alternatives.

Palavras-chave: modelagem hidrodinâmica, reservatório de detenção, drenagem urbana.

¹ Aluno de Mestrado do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ – om.rezende@hidro.ufrj.br

² Aluno de Mestrado do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ – luiz.arend@hidro.ufrj.br

³ Aluno de Mestrado do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ – matheus@hidro.ufrj.br

⁴ Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro – mgmiguez@gmail.com

⁵ Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro – canedo@hidro.ufrj.br

1. INTRODUÇÃO

A medida em que a urbanização aumenta e se expande, ela ocupa as várzeas de inundação e impermeabiliza o solo, dificultando a infiltração da água pluvial, realocando essas águas para outros lugares mais baixos. A partir dessa constatação, CANHOLI (2005) sustenta a abordagem da drenagem urbana como um problema de alocação de espaços.

Os projetos de drenagem urbana desenvolvidos convencionalmente, apesar de apresentarem-se num primeiro momento “tecnicamente” corretos, tendem a perder rapidamente sua eficiência, pois não atendem ao alto crescimento da demanda urbana por infra-estrutura, na medida em que a cidade se desenvolve, necessitando de investimentos cada vez mais onerosos para permitir a continuação do funcionamento do sistema de drenagem. Basicamente, os projetos de drenagem urbana e controle das enchentes resumem-se a ações emergenciais, esporádicas e definidas apenas após a ocorrência dos desastres (POMPÊO, 2000), além de atuarem pontualmente.

Este cenário, baseado na simples e rápida retirada da água das áreas pavimentadas com alto grau de impermeabilização por meio de canalizações, apresenta-se insustentável e exige uma nova visão sobre o problema das inundações urbanas. Sob esta nova ótica, os projetos de drenagem urbana, em tese e sempre que possível, devem neutralizar os efeitos da urbanização, restabelecendo as condições hidrológicas da pré-urbanização, trazendo benefícios para a qualidade de vida e visando a preservação ambiental.

O sistema de drenagem atual deve preferir a solução da simples retirada das águas pluviais não infiltradas, provindas do aumento da impermeabilização do solo pelo processo de urbanização, com a maior eficiência possível, para buscar, hoje, as medidas que visam mitigar os impactos desse processo de impermeabilização, através da facilitação dos processos de infiltração e retenção das águas, no intuito de regenerar condições hidrológicas próximas às de pré-urbanização. Destaca-se porém, a importância da combinação do uso das estruturas de drenagem tradicionais e não convencionais objetivando a otimização do sistema (TUCCI, 2007). A quebra do antigo paradigma não deve aposentar todas as suas técnicas, mas sim adaptá-las a um novo uso, agregando ao conhecimento tradicional os recursos propostos como solução sustentável.

A nova concepção do sistema de drenagem urbana passa a considerar todo o funcionamento da bacia como um sistema integrado, e através do entendimento do seu funcionamento natural, busca soluções que alterem o mínimo possível as parcelas do ciclo hidrológico. Para isso, são utilizados muitos conceitos de retenção/detenção e infiltração das águas de chuva, procurando manter o mais próximo possível as condições hidrológicas pré-urbanização, retardando os fluxos e favorecendo a infiltração para compensar os efeitos da urbanização (MIGUEZ *et al.*, 2007).

Visto isso, este trabalho pretende comparar duas alternativas para um projeto de drenagem e controle de enchentes, representando, em cada situação, uma concepção diferente, a fim de se confrontar a visão clássica, na qual prioriza-se a aceleração do escoamento através da canalização, com a visão sustentável, na qual busca-se preservar as condições pré-urbanização mais próximas possíveis, através de dispositivos de retenção e infiltração.

2. METODOLOGIA

Para atingir seu objetivo, este trabalho foi conduzido de acordo com o seguinte processo metodológico:

- 1) Visitas a campo e levantamento de dados;
- 2) Delimitação da bacia hidrográfica em estudo;
- 3) Definição do Modelo de Células como ferramenta de simulação;
- 4) Discretização da bacia em células de escoamento;
- 5) Modelagem hidrológica-hidrodinâmica da situação atual da bacia;
- 6) Escolha de duas alternativas de projeto de drenagem e controle de enchentes;
- 7) Simulação das alternativas e análise dos resultados;
- 8) Estimativa orçamentária para cada alternativa;
- 9) Comparação dos resultados.

3. MODELAGEM MATEMÁTICA

Foram utilizados dois modelos computacionais para simular a bacia hidrográfica do valão Gaspar Ventura, um modelo hidrológico para obter os hidrogramas de cheia dos cursos d'água e um modelo hidrodinâmico capaz de simular os escoamentos tanto na calha do rio, quanto nas planícies adjacentes ao canal.

3.1. Sistema HIDRO-FLU para apoio a Projetos de Controle de Cheias

A modelagem hidrológica foi desenvolvida através do Sistema Hidro-Flu (MAGALHÃES, 2005), programa computacional desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, que, entre múltiplas aplicações, pode servir exclusivamente como um modelo chuva-vazão do tipo concentrado.

No Hidro-Flu, o cálculo de um hidrograma a partir de um hietograma de projeto pode ser dividido em quatro etapas:

- 1) Caracterização da Bacia Hidrográfica → Esta etapa tem por fim o cálculo do tempo de concentração através das características da bacia hidrográfica em estudo.

2) Hietograma de Projeto → Esta etapa tem por fim a criação de um hietograma de projeto a partir de critérios adotados pelo modelador para definição da duração da chuva, da distribuição temporal e da intensidade pluviométrica.

3) Separação dos Escoamentos → Nesta etapa, o modelador deve optar por um método para a representação da divisão entre a parte da chuva que infiltra e a parte que contribui para o escoamento superficial. As opções do Hidro-Flu são o Método Racional, o Índice ϕ e o Método do *Soil Conservation Service* (SCS).

4) Hidrograma de Projeto → Nesta etapa é feita a transformação da chuva excedente em um hidrograma de projeto, executada através da aplicação de um método de Hidrograma Unitário Sintético (HUS), construído a partir de uma composição entre o Hidrograma Triangular do Método Racional adaptado para chuvas complexas e o Hidrograma Unitário Sintético do SCS.

3.2. Modelo Hidrodinâmico de Células de Escoamento – MODCEL

Miguez (2001) desenvolveram uma metodologia para modelação de inundações em áreas urbanas através de células de escoamento. Esse modelo foi resultado da evolução de um modelo de células desenvolvido por Miguez (1994) para simular as cheias do Pantanal Mato-Grossense. O conceito de células de escoamento, por sua vez, remonta aos trabalhos de Lorgeré, Zanobetti, Preissman e Cunge (1970). 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. As hipóteses de aplicação do modelo de células em bacias urbanas são:

1) A natureza pode ser representada por compartimentos homogêneos, interligados, chamados células de escoamento.

2) 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 é diretamente relacionado com o nível d'água no centro da célula.

3) Cada célula comunica-se com células vizinhas, que são arrançadas 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.

4) O escoamento entre células pode ser calculado através de leis hidráulicas conhecidas como, por exemplo, a *Equação Dinâmica de Saint-Venant*.

5) A vazão entre duas células adjacentes, em qualquer tempo, é apenas função dos níveis d'água no centro dessas células.

6) As seções transversais de escoamento são tomadas como seções retangulares equivalentes, simples ou compostas.

7) 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.

O modelo de células possui o seguinte conjunto de tipos de células pré-definido:

- ✓ **de rio**, ou canal, por onde se desenvolve o escoamento principal da drenagem à céu aberto, podendo ser a seção simples ou composta;
- ✓ **de galeria**, subterrânea, complementando a rede de drenagem;
- ✓ **de planície urbanizada**, para a representação de escoamentos a superfície livre em planícies alagáveis, bem como áreas de armazenamento, associadas a um certo padrão de urbanização, ligadas umas às outras por ruas;
- ✓ **de planície natural**, onde também ocorrem escoamentos superficiais, mas com armazenamento em toda a célula, sem considerar qualquer padrão de urbanização;
- ✓ **de reservatório**, simulando o armazenamento d'água em um reservatório temporário de armazenamento, dispondo de uma curva *cota x área superficial*. A célula tipo-reservatório cumpre o papel de amortecimento de uma vazão afluente.

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:

- vazão entre as células i e k , vizinhas entre si;
- cota do nível d'água no centro da célula i ;
- área superficial do espelho d'água na célula i ;
- vazão relativa à parcela de chuva ocorrida sobre a célula i e disponível para escoamento;
- variável independente relativa ao tempo.

A formulação numérica do modelo proposto inicia-se com o processo de discretização da equação diferencial que, originalmente contínua, passa a ser considerada em termos de incrementos finitos. No caso do modelo de células adotado neste estudo, a discretização temporal da equação diferencial **(1)**, representativa da conservação da massa, é feita procurando-se linearizar

numericamente todos os termos que apresentam não-linearidades, para que não haja a necessidade de um procedimento iterativo de solução, a fim de simplificar o modelo numérico.

4. ESTUDO DE CASO

No Brasil, inúmeros casos de abordagens ditas convencionais aos desafios de drenagem urbana e controle das inundações podem ser encontrados. Uma região emblemática e muito representativa da história do desenvolvimento das medidas de combate às enchentes encontra-se no estado do Rio de Janeiro, mais precisamente na região denominada Baixada Fluminense.

A Baixada Fluminense apresenta uma gama de dificuldades e problemas ligados ao processo de urbanização na região metropolitana, como um passado com crescimento populacional vertiginoso, ocupação e uso do solo sem planejamento e controle, falta de investimentos em infraestrutura urbana e descontinuidade nas políticas públicas.

Além disso, essa bacia recebeu importantes investimentos na área de controle das inundações a partir dos anos 30 do século passado, primeiramente implantando-se estruturas projetadas para uso agrícola. Com o intenso crescimento populacional e a ocupação não planejada da bacia, essas estruturas tornaram-se ociosas e a população passou a sofrer constantemente com os efeitos das inundações urbanas. Ao longo do século XX, foram realizados diversos projetos para atenuar esse cenário, sendo implementadas apenas partes das intervenções previstas, seja por limitações financeiras ou por dificuldade sociais, como a grande necessidade de relocação de moradias em áreas de risco. Um importante marco na busca por melhorias no nível de proteção contra as inundações foi a confecção do Plano Diretor Integrado de Controle de Inundações da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí (SERLA, 1996).

Recentemente, no ano de 2007, foi iniciado um estudo de revisão desse plano com vistas a formação de base técnica atualizada para elaboração de projetos de controle de inundações que viabilizassem investimento do Governo Federal através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Esse estudo de revisão, elaborado pelo Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente da COPPE/UFRJ, previu ações conjuntas para prover a preservação ambiental e evitar a degradação da área urbana, por meio de intervenções estruturais na macrodrenagem e não estruturais, como a revisão dos Sistemas de Controle do Uso do Solo. Essas ações baseiam-se nos mais recentes conceitos de controle de inundações, utilizando técnicas de reservação, recuperação ambiental dos cursos d'água e preservação de áreas de inundação natural dos rios livres de urbanização.

4.1. Características da Bacia Hidrográfica do valão Gaspar Ventura

O valão Gaspar Ventura situa-se nos bairros Pantanal, em de Duque de Caxias, e Vila Esperança, no município de Belford Roxo. Afluente do rio Sarapuí pela margem esquerda, o valão Gaspar Ventura recebe, em seu trecho superior, duas contribuições significativas: o valão dos Colonizadores e o valão da rua Providência.

Atualmente, o valão Gaspar Ventura se desenvolve em um canal a céu aberto com seção em solo natural desde a travessia da rua Albano até a foz no rio Sarapuí, apresentando alguns pequenos trechos com galerias de concreto. Este curso d' água apresenta dois trechos críticos quanto às inundações, sendo eles:

- 1) Entre as ruas General Artigas e Riva D'ávia e;
- 2) entre a rua Lauro Sodré e a foz no rio Sarapuí.

O valão Providência apresenta seção em solo, sendo que, no trecho superior, o canal se estende por entre casas e, no trecho inferior, por entre as vias da rua (alameda) Nogueira da Cruz. O valão dos Colonizadores, todo também com seções em solo, situa-se entre a rua Aperana e a avenida dos Colonizadores.

As características das bacia hidrográficas do valão Gaspar Ventura e seus afluentes são apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3, e a delimitação da bacia pode ser vista na Figura 1.

Tabela 1 - Características da Bacia Hidrográfica do valão Gaspar Ventura

Seção do Exutório	Área de drenagem (km ²)	Extensão do talvegue (km)	Desnível (m)
Foz	5,47	3,68	94

Tabela 2 - Características da Bacia Hidrográfica do valão Providência

Seção do Exutório	Área de drenagem (km ²)	Extensão do talvegue (km)	Desnível (m)
Foz	0,97	1,67	111

Tabela 3 - Características da Bacia Hidrográfica do valão dos Colonizadores

Seção do Exutório	Área de drenagem (km ²)	Extensão do talvegue (km)	Desnível (m)
Rua dos Canários	1,22	1,84	95
Foz	1,67	2,67	97

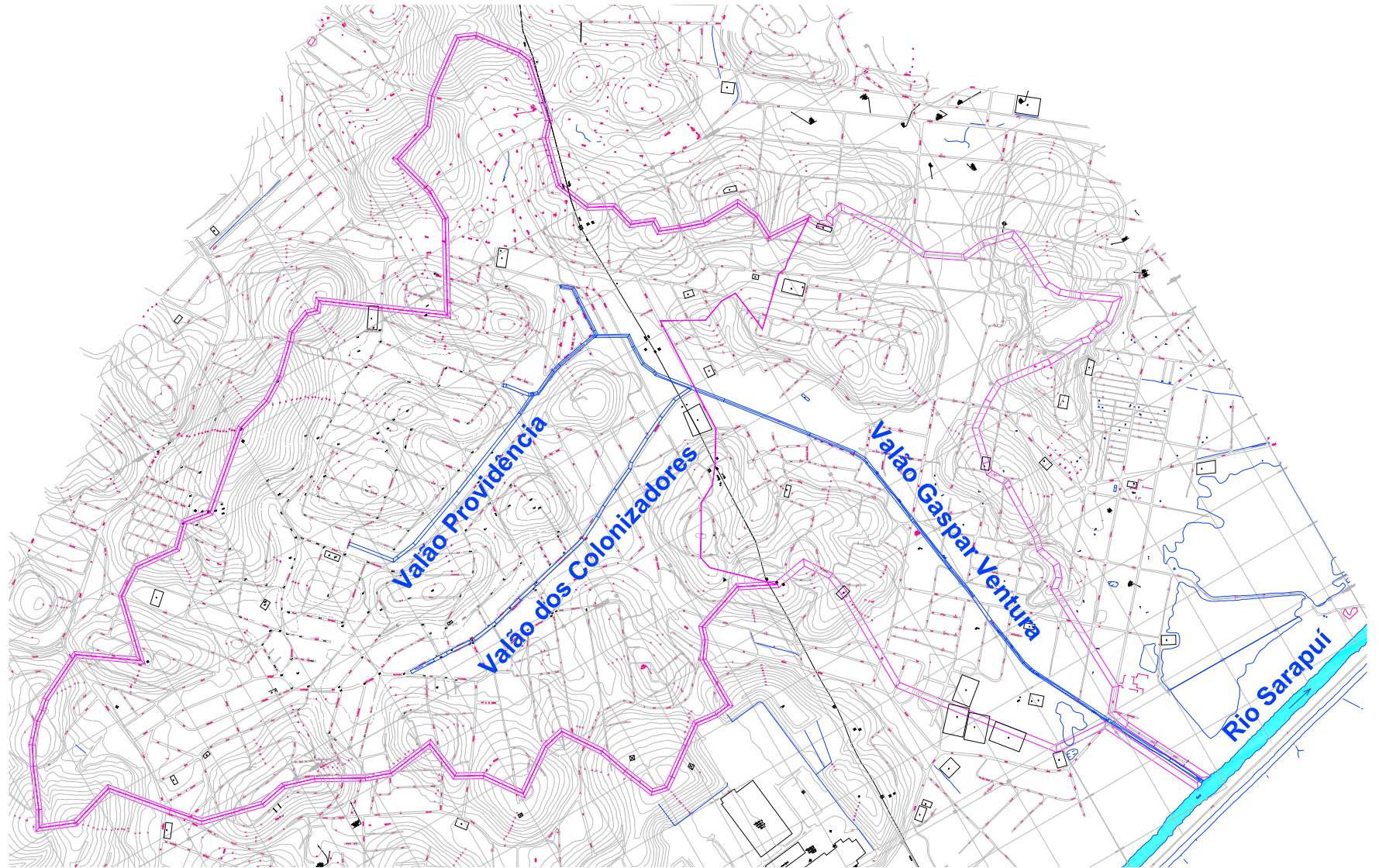


Figura 1 - Delimitação da Bacia Hidrográfica do valão Gaspar Ventura

4.2. Estudo Hidrológico

Para a modelagem hidrológica dos valões Gaspar Ventura, Providência e dos Colonizadores utilizou-se o Sistema Hidro-Flu, apresentado no item 3.1.

Os critérios adotados para o cálculo das vazões de enchente foram:

- ✓ tempo de retorno igual a 20 anos;
- ✓ intensidade da precipitação constante no tempo e uniformemente distribuída no espaço;
- ✓ tempo de duração da precipitação igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica.

O tempo de concentração foi estimado através da equação de *Kirpich*, e para a separação da precipitação efetiva utilizou-se o método SCS.

Os hidrogramas calculados para cada bacia, resultantes da modelagem hidrológica, estão apresentados nas Figuras 2 a 8.

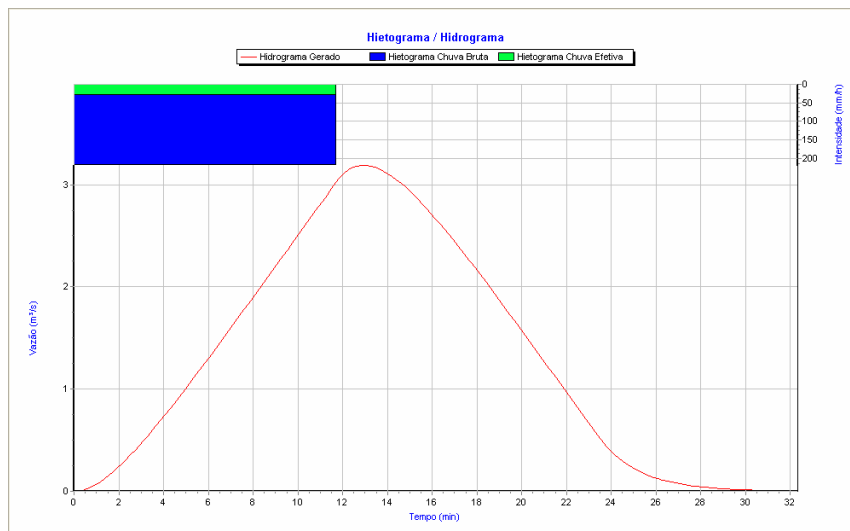


Figura 2 – Valão Gaspar Ventura: Hidrograma de a montante do valão da Providencia, TR=20 anos

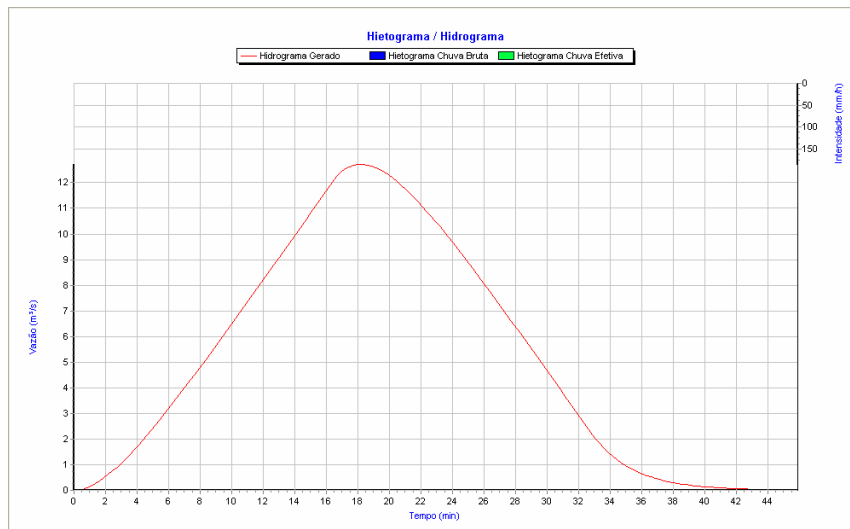


Figura 3 - Valão Gaspar Ventura: Hidrograma de enchente a montante do valão dos Colonizadores, TR=20 anos

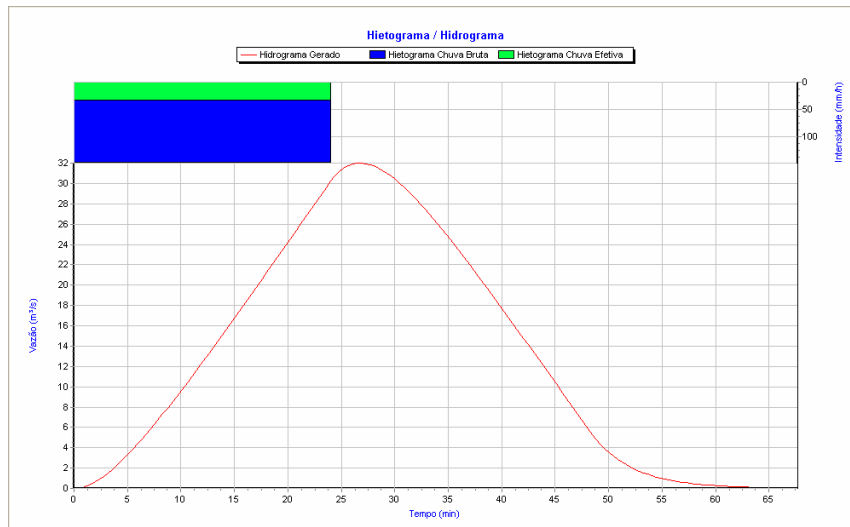


Figura 4 – Valão Gaspar Ventura: Hidrograma de enchente na rua Júlia Vieira, TR=20 anos

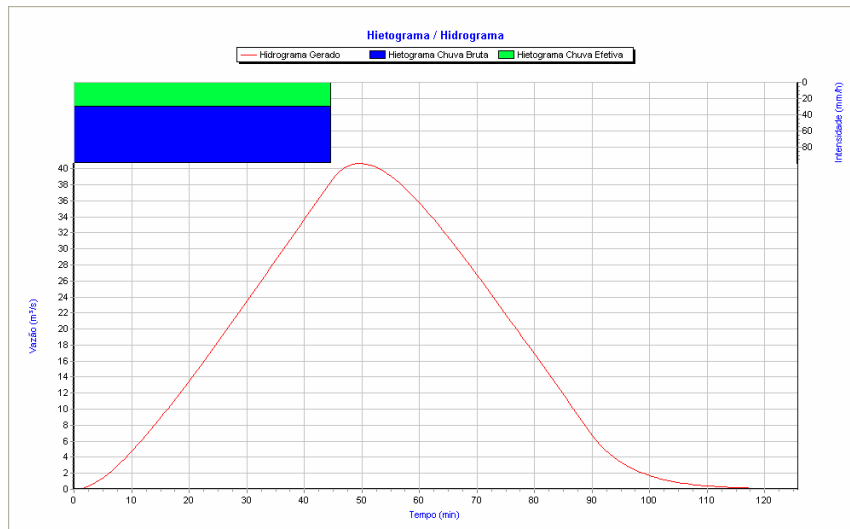


Figura 5 – Valão Gaspar Ventura: Hidrograma de enchente na foz, TR=20 anos

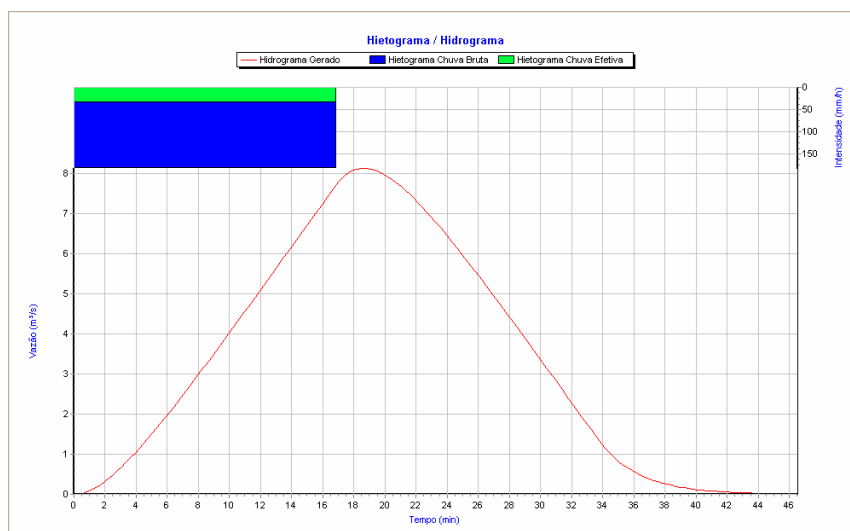


Figura 6 – Valão Providência: Hidrograma de enchente na foz, TR=20 anos

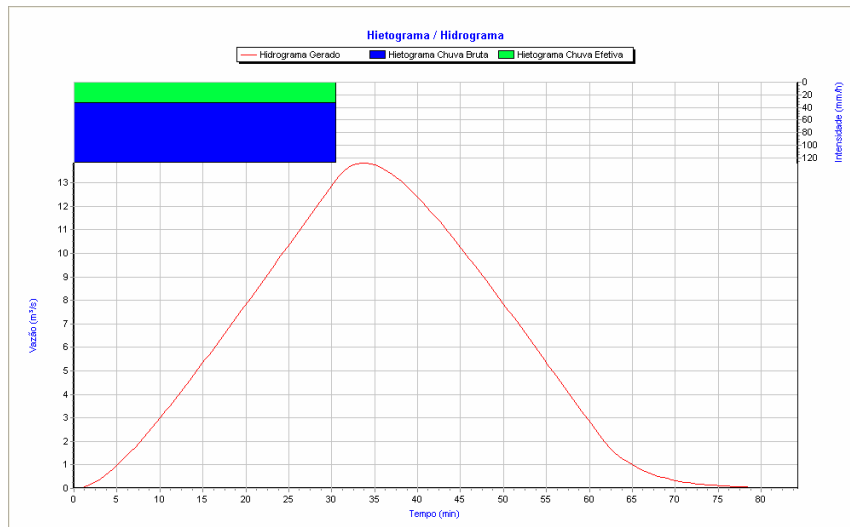


Figura 7 – Valão dos Colonizadores: Hidrograma de enchente na rua dos Canários, TR=20 anos

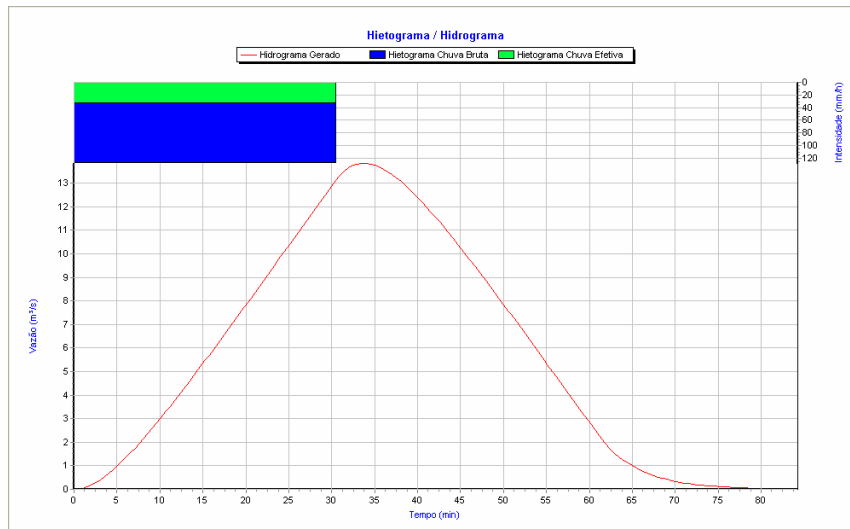


Figura 8 – Valão dos Colonizadores: Hidrograma de enchente na foz, TR=20 anos

4.3. Cenários

Com a finalidade de se comparar uma intervenção tipicamente tradicional, priorizando o aumento da capacidade de vazão através de dragagem e ampliação da calha do rio, com uma alternativa que considerasse o conceito de reservação e detenção do escoamento, através da amortização do hidrograma de cheia em uma bacia de detenção, foram previstos dois cenários, no intuito de avaliar duas diferentes alternativas de intervenção para o controle das inundações na bacia em estudo.

Esses cenários buscaram representar a categorização das medidas de controle das inundações citada por Welsh (1989, *apud* CANHOLI, 2005):

- ✓ Conceito de canalização: canalização convencional voltada à implantação de galerias e canais de concreto, retificação de traçado e aumento da declividade de fundo, com o objetivo de promover o rápido afastamento das águas.
- ✓ Conceito de reservação: utilização de reservatórios e outras medidas visando o aumento do tempo de concentração e redução da vazão de pico, i.e., o amortecimento da onda de cheia.

A detenção dos escoamentos tem por finalidade principal reduzir o pico das enchentes, por meio do amortecimento das ondas de cheia, armazenando uma parte dos volumes gerados no escoamento superficial.

A implantação de dispositivos de armazenamento possibilitam a reabilitação de sistemas existentes, podendo ser considerado, portanto, uma medida corretiva. Podem ser separados em dois grupos: reservatórios *in-line*, quando posicionados no eixo principal do sistema de drenagem e reservatórios *off-line*, quando posicionados fora do eixo.

4.3.1. Cenário 1 – Conceito de Canalização

Nesta alternativa, foram consideradas intervenções para melhorar a condutividade hidráulica, acelerando o escoamento e aumentando a capacidade de vazão do canal.

Portanto, para toda a extensão do valão Gaspar Ventura e seus afluentes, foram previstas a dragagem e implantação de seção trapezoidal com área molhada capaz de conduzir a vazão máxima decorrente de uma chuva com tempo de recorrência de 20 anos.

4.3.2. Cenário 2 – Conceito de Reservação

Neste caso, foi prevista a implantação de um reservatório *in-line* no trecho a montante da confluência dos valões Gaspar Ventura e Colonizadores. Em eventos de cheia, esse reservatório receberá o extravasamento das águas do valão pelas margens, amortecendo o hidrograma de cheia para jusante. Assim, as seções transversais demandadas para o canal, a jusante do reservatório, serão menores em área, diminuindo a necessidade de escavação e abatendo o custo final da intervenção. Nos trechos a montante do reservatório, foram mantidas as seções do Cenário 1.

O terreno adjacente ao valão, no trecho para implantação do reservatório, deverá ser nivelado na cota 2,30 m, a fim de comportar o volume necessário para amortecimento do hidrograma de cheia. As Figuras 9 e 10 apresentam o local destinado ao reservatório.

A concepção do reservatório foi dirigida a permitir o múltiplo uso da área, sendo proposto a implantação de um parque fluvial urbano com áreas de lazer que admitam eventuais alagamentos, como quadras de esporte, pista de corrida e outras. Como não existe um sistema de saneamento eficiente na região, os corpos d'água apresentam péssimas condições de qualidade das águas, por isso, essa alternativa deve receber especial atenção, principalmente nos serviços de limpeza da área alagada após as chuvas.

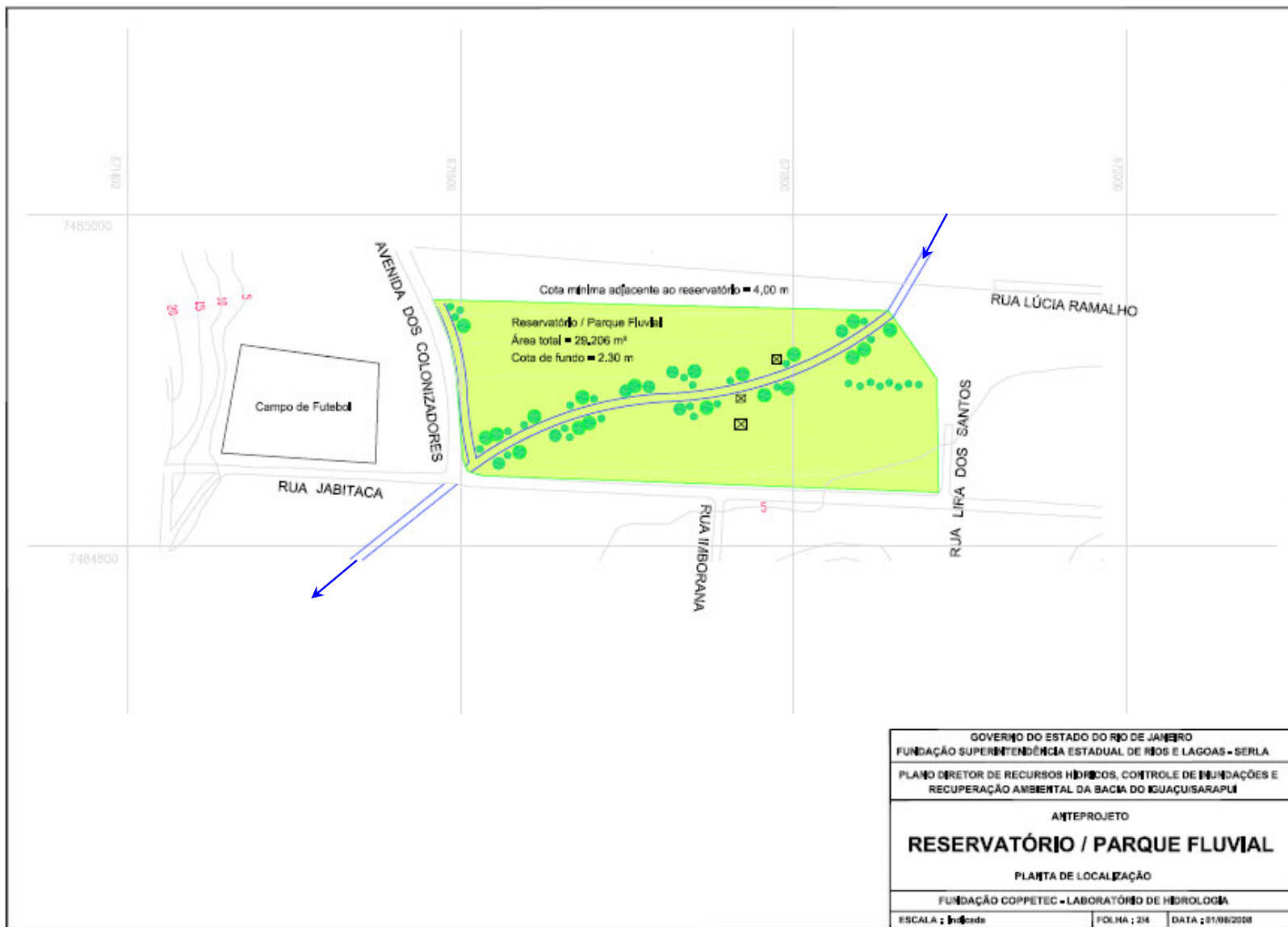


Figura 9 – Croquis do parque fluvial inundável (FONTE: COPPETEC, Projeto PEC10094, Relatório PDIS-007-R0)



Figura 10 – Área para implantação do reservatório em verde e possível desvio do curso do valão em azul

4.4. Estudo Hidrodinâmico

Conforme citado anteriormente, para caracterização do comportamento hidráulico do valão Gaspar Ventura, foi utilizado como ferramenta de modelagem o Modelo de Células de Escoamento – MODCEL, descrito sucintamente no item 3.2. A bacia foi subdividida em 48 células, sendo 15 células representando os canais e as 33 restantes simulando as planícies de inundação e as encostas. Como critério e parâmetros de projetos foram adotados tempo de recorrência da precipitação de projeto igual a 20 anos, chuva constante com duração igual ao tempo de concentração da bacia e coeficiente de escoamento superficial C igual a 0,66 (equivalente ao CN de 74,5).

As condições de contorno adotadas foram:

- ✓ Montante: vazões de base igual 100 l/s (CC3 e CC4)
- ✓ Jusante: hidrograma (CC1) e cotagrama (CC2) de enchente do rio Sarapuí para um tempo de recorrência de 20 anos (Figura 11)

O esquema topológico que representa essa discretização da bacia em células pode ser visto na Figura 12, enquanto a divisão em planta pode ser vista na Figura 13.

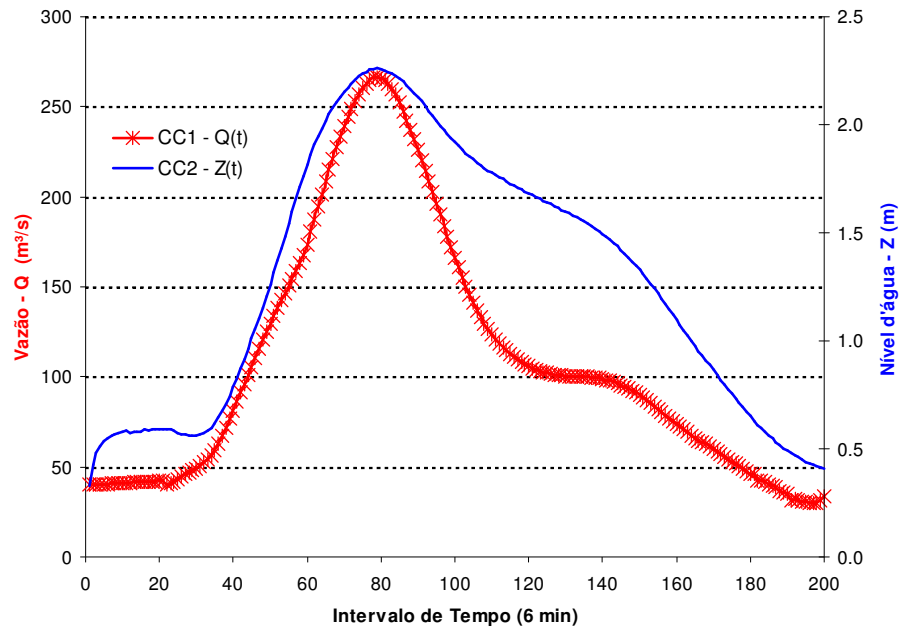


Figura 11 – Condições de contorno de jusante

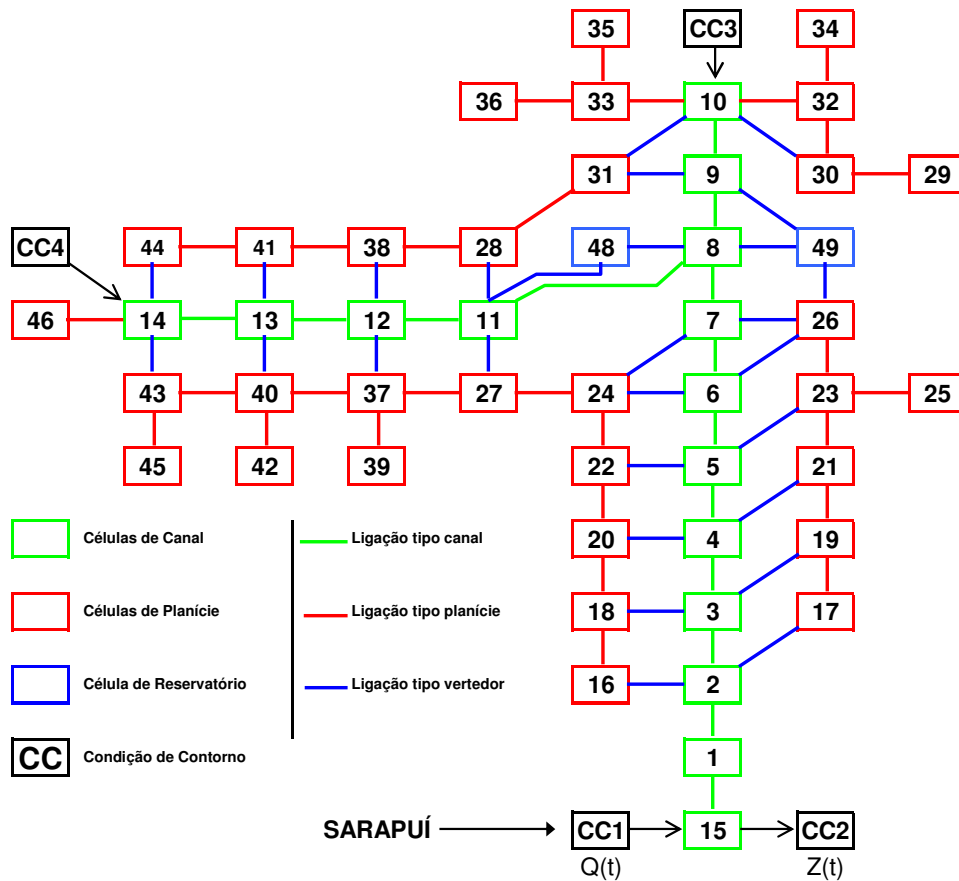


Figura 12 – Esquema Topológico do modelo da bacia do valão Gaspar Ventura

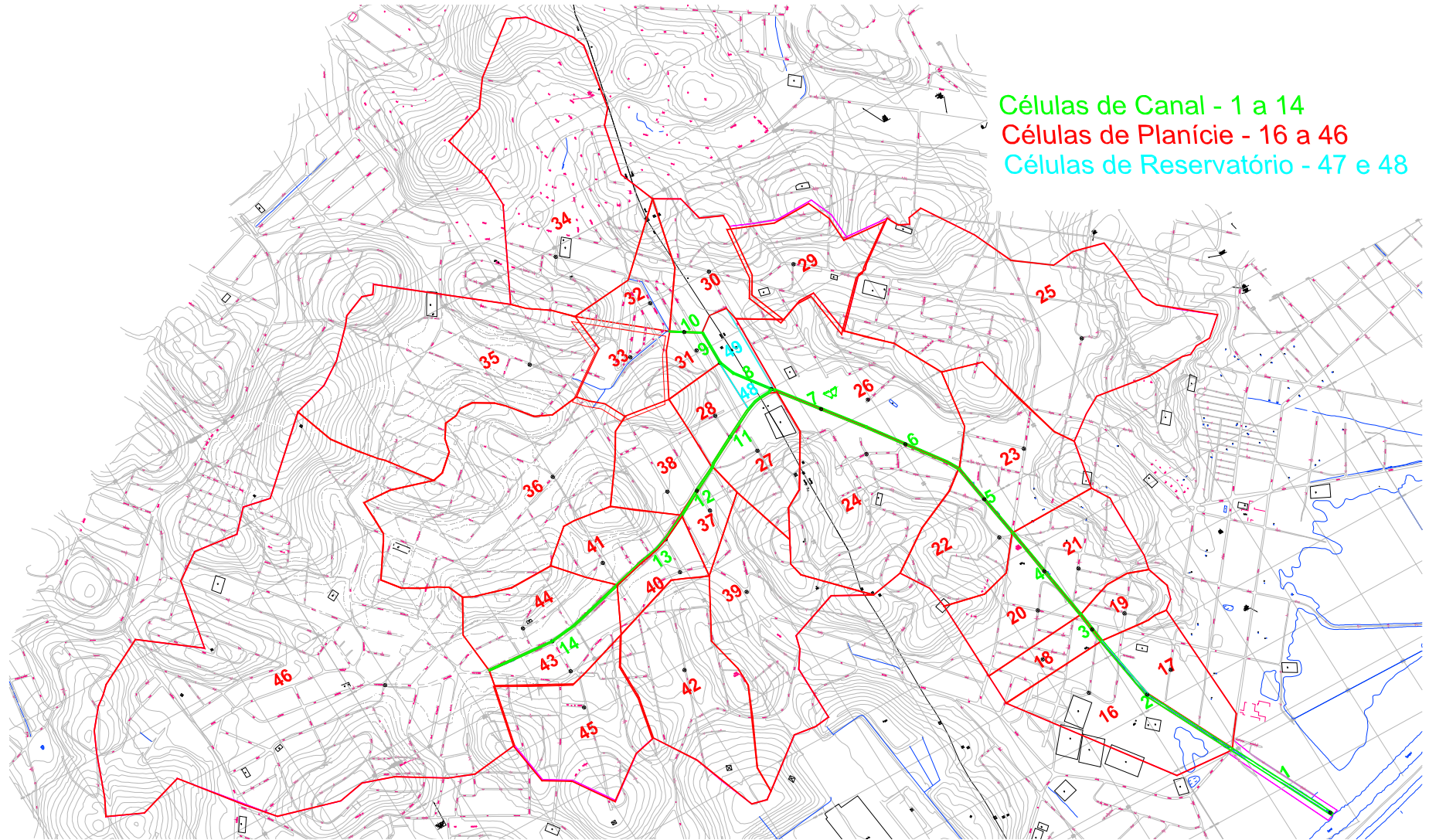


Figura 13 – Subdivisão da bacia do valão Gaspar Ventura em células de escoamento para modelagem hidrodinâmica

Para cálculo do perfil de linha d'água no valão Gaspar Ventura aplicou-se um modelo unidimensional para a simulação de escoamento em regime permanente, através da versão 4.0 do aplicativo HEC-RAS⁶. Para o parâmetro de perda de carga adotou-se um coeficiente de *Manning* igual a 0,030. As condições de contorno adotadas foram:

- ✓ Valão Gaspar Ventura: nível d'água no rio sarapuí associado a uma enchente de tempo de recorrência igual a 20 anos;
- ✓ Valão da Providência: nível d'água no valão Gaspar Ventura associado a uma enchente de tempo de recorrência igual a 20 anos;
- ✓ Valão dos Colonizadores: nível d'água no valão Gaspar Ventura associado a uma enchente de tempo de recorrência igual a 20 anos;

5. RESULTADOS

O gráfico da Figura 14 apresenta os hidrogramas afluente e efluente do reservatório previsto, calculado através da simulação no MODCEL. Esse gráfico mostra um amortecimento de aproximadamente 30% na vazão de pico do hidrograma de cheia.

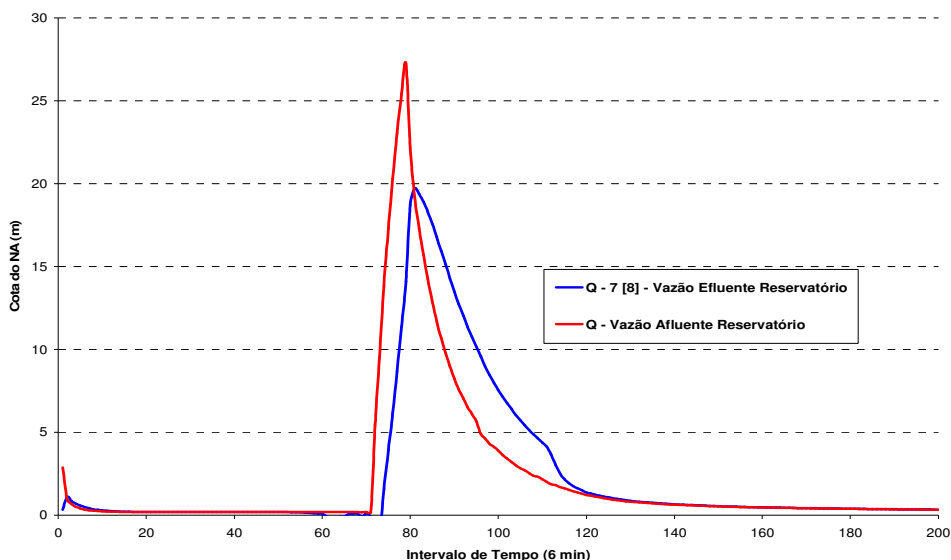


Figura 14 – Hidrogramas de cheia resultantes do processo de modelagem

⁶ HEC-RAS: *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

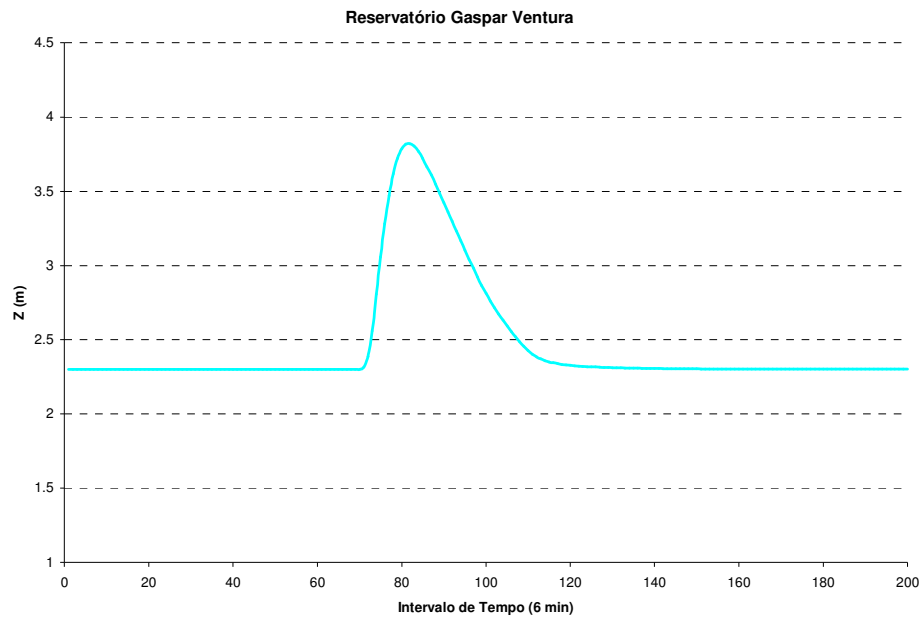


Figura 15 – Cotograma do reservatório

Na Figura 16 é possível visualizar a comparação entre as seções de projeto necessárias para comportar a vazão de cheia, para o Cenário 1 e 2, no trecho imediatamente a jusante da estrutura.

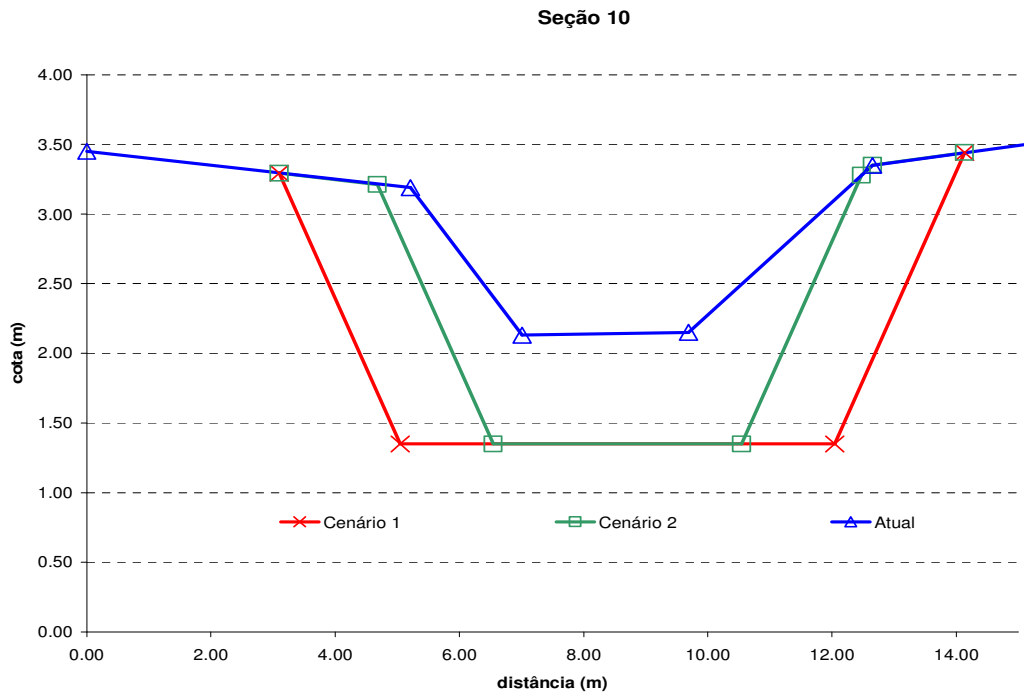


Figura 16 – Seção de projeto para os Cenários 1 e 2, no trecho a jusante da Av. dos Colonizadores

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados das simulações, foram calculados os volumes de dragagem necessários para implantação das seções de projeto de acordo com cada cenário. Os volumes e os custos de dragagem para cada situação estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Volume e custo de dragagem do valão Gaspar Ventura para ambos cenários

Cenário	Volume (m³)	Custo (R\$)
1	66.437	2.427.996,00
2	42.673	2.169.260,00
Diferença		258.736,00

Para a implantação do reservatório, ainda seria necessária a escavação de aproximadamente 17.700 m³ do terreno, para garantir o volume de armazenagem necessário para o amortecimento da cheia. Esse volume de escavação elevaria os custos com movimentação de terra do Cenário 2 para R\$ 2.272.195,00. Esse valor ainda é inferior ao necessário para o Cenário 1, permitindo uma economia de R\$ 155.800,00.

Esta é uma primeira aproximação, mas indica ganhos em favor da implementação da alternativa com o reservatório, inclusive sob o ponto de vista da sustentabilidade e possibilidade de revitalização da parte do rio e seu entorno. O detalhamento desta solução, com uma melhor conformação do reservatório e seus controles, poderia tornar ainda mais vantajosa esta concepção.

Vale ressaltar ainda, que uma análise econômica dessas alternativas traria mais acurácia ao estudo comparativo entre as soluções, uma vez que seriam considerados os benefícios advindos de cada intervenção. A redução de prejuízos precisa ser considerada, além do fato que a previsão de um reservatório de controle de inundações combinado à áreas de parque, possibilitando o uso para recreação, esportes e lazer em geral, agrega grande benefício à intervenção, devendo este ser considerado no método de análise econômica do projeto, uma vez que permite, inclusive, valorizar o espaço urbano circunvizinho.

BIBLIOGRAFIA

- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. (2005). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. ABRH, Porto Alegre – RS, 266 p.
- CANHOLI, A. P.(2005). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. Oficina de Textos, São Paulo – SP, 302 p.
- MAGALHÃES, P. C.; COLONESE, B. L.; BASTOS, E. T.; MASCARENHAS, F. C. B.; MAGALHÃES, L. P. C.; MIGUEZ, M. G. (2005). “*Sistema HIDRO-FLU para apoio a Projetos de Drenagem*” in Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, Novembro 2005.
- MIGUEZ, M. G. (1994). “*Modelação Matemática de Grandes Planícies de Inundação, através de um Esquema de Células de Escoamento, com Aplicação ao Pantanal Mato-Grossense*”. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.
- MIGUEZ, M. G. (2001). “*Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas*”. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.
- MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B.; MAGALHÃES, L. P. C. (2007). “*Multifunctional Landscapes for Urban Flood Control in Developing Countries*”. International Journal of Sustainable Development and Planning, Volume 2, Issue 2.
- PÔMPEO, C. A. (2000). “*Drenagem Urbana Sustentável*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 5 n.1, pp. 15 – 23.
- SERLA, Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (1996). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí – Ênfase: Controle de Inundações*. Relatório Final IG-RE-029-R0.
- TUCCI, C. E. M. (2007). *Inundações Urbanas*. ABRH/RHAMA, Porto Alegre – RS, 393 p.
- ZANOBETTI, D.; LORGERÉ, H; PREISSMAN, A.; CUNGE, J. A. (1970) “*Mekong Delta Mathematical Program Construction*”. Journal of the Waterways and Harbours Division, ASCE, v.96, n.WW2, pp. 181 – 199.