



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL PARCIAL

X

BARRAGEM DE CONTROLE DE CHEIAS:

Medidas de mitigação para as enchentes no perímetro
urbano da cidade de Resende – RJ

Luiza Batista de França Ribeiro

Patricia Lessa de Lacerda Nick

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadores:

Marcelo Gomes Miguez

Paulo Renato Barbosa

Rio de Janeiro

SETEMBRO 2011

REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL PARCIAL

X

BARRAGEM DE CONTROLE DE CHEIAS:
MEDIDAS DE MITIGAÇÃO PARA AS ENCHENTES NO PERÍMETRO URBANO
DA CIDADE DE RESENDE – RJ

Luiza Batista de França Ribeiro

Patricia Lessa de Lacerda Nick

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa

Marcelo Gomes Miguez

José Edson Falcão de Farias Júnior

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO de 2011

Ribeiro, Luiza Batista de França

Nick, Patricia Lessa de Lacerda

REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL PARCIAL X BARRAGEM DE CONTROLE DE CHEIAS: Medidas de mitigação para as enchentes no perímetro urbano da cidade de Resende – RJ / Luiza Batista de França Ribeiro e Patricia Lessa de Lacerda Nick. – Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2011.

X, 68 p.: il.; 29,7cm.

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Co-orientador: Paulo Renato Barbosa

Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Engenharia Civil, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 65 - 68

1. Requalificação fluvial 2. Barragem de controle de cheias 3. Enchente 4. Faixa marginal de proteção 5. Planejamento urbano I. Marcelo Gomes Miguez II. Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil IV. Título

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL PARCIAL X BARRAGEM DE CONTROLE DE CHEIAS:
Medidas de mitigação para as enchentes no perímetro urbano da cidade de Resende
– RJ

Luiza Batista de França Ribeiro
Patricia Lessa de Lacerda Nick

Setembro / 2011

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Curso: Engenharia Civil

A falta de planejamento e fiscalização do uso do solo nas cidades do Brasil gerou um padrão de ocupação do espaço urbano desordenado, marcado por um processo acelerado de transformações. As consequências da falta de planejamento urbano podem ser percebidas de diversas maneiras. O presente trabalho trata do problema das enchentes, que está diretamente relacionado ao uso do solo e ao planejamento urbano. As soluções de engenharia mais comuns se traduzem em obras que, na maioria das vezes resolvem o problema para um curto prazo, sem levar em consideração os aspectos relacionados à sustentabilidade e os problemas que estas mesmas soluções podem gerar em longo prazo. O objetivo principal deste trabalho é fazer uma análise comparativa entre duas medidas de mitigação para as enchentes na cidade de Resende, no Rio de Janeiro: uma barragem de controle de cheias e algumas técnicas de requalificação fluvial. Esta análise será feita para dois tempos de recorrência, com o objetivo de verificar a eficiência destas medidas nas condições de projeto, e para uma situação mais crítica.

Palavras-chave: Requalificação fluvial, barragem de controle de cheias, enchentes, planejamento urbano, faixa marginal de proteção

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

PARCIAL RIVER RESTORATION X FLOOD CONTROL DAMS:

Mitigation actions for flooding on the urban perimeter of the city of Resende - RJ

Luiza Batista de França Ribeiro
Patricia Lessa de Lacerda Nick

September /2011

Advisor: Marcelo Gomes Miguez

Course: Engenharia Civil

The lack of planning and control of land use in Brazilian has created a pattern of disorderly occupation of the urban space, distinguished by an accelerated transformation process. The consequences of this lack of urban planning can be perceived in different ways. This work concurs about the problem of flooding, which can be related to land use and urban planning. The most common engineering solutions are often translated in works that, in most cases, solve the problem for a short term, without considering the aspects related to sustainability and the long-term problems that these solutions may generate. The main objective of this work is to make a comparison between two mitigation solutions in the city of Resende, Rio de Janeiro: a flood control dam, and some possible river restoration techniques. This analysis will be made for two different return periods, in order to verify if the efficiency of the solutions for the magnitude of the rainfall design event, and for a worst situation.

Keywords: River restoration, Flood control dams, Floods, Urban planning

Conteúdo

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	MOTIVAÇÃO	9
1.2	METODOLOGIA RESUMIDA	10
1.3	OBJETIVO	11
2	A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SESMARIA	12
2.1	DESCRIÇÃO DA BACIA	12
2.2	AS ENCHENTES NA CIDADE DE RESENDE	15
3	PROPOSTAS PARA MITIGAÇÃO DAS ENCHENTES NA BACIA DO RIO SESMARIA	17
3.1	MEDIDAS TRADICIONAIS:	17
3.1.1	<i>Barragem de controle de Cheias</i>	17
3.2	MEDIDAS ALTERNATIVAS:	19
3.2.1	<i>Requalificação fluvial parcial</i>	19
4	METODOLOGIA	26
4.1	MODCEL	26
4.2	LEVANTAMENTO DE DADOS	29
4.2.1	<i>Trabalho de campo</i>	31
4.3	DADOS DE ENTRADA	32
4.3.1	<i>Topologia</i>	32
4.3.2	<i>Chuva de projeto</i>	34
4.3.3	<i>Parâmetros da bacia hidrográfica</i>	35
4.3.4	<i>Condições de contorno</i>	36
4.3.5	<i>Calibração</i>	37
5	DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS	39
5.1	CENÁRIO 1: SITUAÇÃO ATUAL	41
5.2	CENÁRIO 2: BARRAGEM DE CONTROLE DE CHEIAS	41
5.3	CENÁRIO 3: REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL PARCIAL	44
6	RESULTADOS	49
6.1	CENÁRIOS	49
6.1.1	<i>Cenário 1a: Situação atual – TR=25 anos</i>	49
6.1.2	<i>Cenário 1b: Situação atual – TR=100 anos</i>	50
6.1.3	<i>Cenário 2a: Barragem de contenção de cheias – TR=25 anos</i>	51
6.1.4	<i>Cenário 2b: Barragem de contenção de cheias – TR=100 anos</i>	52
6.1.5	<i>Cenário 3a: Requalificação fluvial parcial – TR=25 anos</i>	52
6.1.6	<i>Cenário 3b: Requalificação fluvial parcial – TR=100 anos</i>	53
6.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
7	CONCLUSÕES	62
8	RECOMENDAÇÕES	64
9	BIBLIOGRAFIA	65
10	ANEXOS	69

Índice de figuras

Figura 2.1: Localização da Bacia do Rio Sesmaria, Modificado de Braga et al. (2008).	12
Figura 2.2: Trecho do rio Sesmaria, onde se observa a erosão da margem direita e a grande quantidade de solos em suspensão (foto tirada em 21/01/11, arquivo pessoal)	14
Figura 3.1: A visão da requalificação fluvial. Fonte: Adaptado de RECUPERACIÓN FLUVIAL: CONCEPTOS segundo CIRF / Andrea Nardini	21
Figura 3.2: Efeito da Retificação. Fonte: Adaptado Renaturation des Cours D'Eau	22
Figura 3.3: Etapas da implantação da FMP. Fonte: Revitalização de rios – orientação técnica – SEMADS/RJ	25
Figura 4.1: Representação esquemática de uma região dividida em células (FONTE: Manual do MODCEL).....	27
Figura 4.2: Representação dos escoamentos entre as células de rio, FMP e planície.	31
Figura 4.3: Localização das seções transversais levantadas ao longo do rio Sesmaria	32
Figura 4.4: Esquema topológico das células da bacia do Sesmaria.....	33
Figura 4.5: Condições de contorno	37
Figura 5.1: Localização da barragem no perfil longitudinal do rio Sesmaria.....	42
Figura 5.2: Vista em planta da área do reservatório.....	43
Figura 6.1: Cotagrama da célula 10201 (margem esquerda) TR= 25 anos.....	55
Figura 6.2: Cotagrama da célula 10501 (margem esquerda) TR= 25 anos.....	55
Figura 6.3: Cotagrama da célula 10701 (margem esquerda) TR= 25 anos.....	55
Figura 6.4: Cotagrama da célula 10202 (margem direita) TR= 25 anos	56
Figura 6.5: Cotagrama da célula 10502 (margem direita) TR= 25 anos	56
Figura 6.6: Cotagrama da célula 10702 (margem direita) TR= 25 anos	56
Figura 6.7: Cotagrama da célula 10703 (margem esquerda) TR= 25 anos.....	57
Figura 6.8: Cotagrama da célula 10704 (margem direita) TR= 25 anos.....	57
Figura 6.9: Cotagrama da célula 10201 (margem esquerda) TR= 100 anos.....	58
Figura 6.10: Cotagrama da célula 10501 (margem esquerda) TR= 100 anos.....	58
Figura 6.11: Cotagrama da célula 10701 (margem esquerda) TR= 100 anos.....	58

Figura 6.12: Cotagrama da célula 10202 (margem direita) TR= 100 anos	59
Figura 6.13: Cotagrama da célula 10502 (margem direita) TR= 100 anos	59
Figura 6.14: Cotagrama da célula 10702 (margem direita) TR= 100 anos	59
Figura 6.15: Cotagrama da célula 10703 (margem esquerda) TR= 100 anos	60
Figura 6.16: Cotagrama da célula 10704 (margem direita) TR= 100 anos	60

Índice de tabelas

Tabela 4.1: Indicação da numeração utilizada na divisão da bacia em células de escoamento	33
Tabela 4.2: Dados para a determinação das condições de contorno	37
Tabela 5.1: Coeficientes de <i>runoff</i> utilizados na descrição dos cenários atual e requalificação fluvial parcial	45
Tabela 5.2: Coeficiente de Manning das ligações entre as células de canal do rio Sesmaria, nos cenários atual e requalificação fluvial parcial.....	46
Tabela 5.3: Coeficiente de Manning das ligações entre as células de canal do rio Formoso, nos cenários atual e requalificação fluvial parcial.....	47
Tabela 5.4: Coeficiente de Manning das ligações entre as células de canal do rio Feio, nos cenários atual e requalificação fluvial parcial.....	47
Tabela 5.5: Coeficiente de Manning das ligações entre as células de canal do rio São João, nos cenários atual e requalificação fluvial parcial	47
Tabela 6.1: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 1a.....	49
Tabela 6.2: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 1b.....	50
Tabela 6.3: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 2a.....	51
Tabela 6.4: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 2b.....	52
Tabela 6.5: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 3a.....	53
Tabela 6.6: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 3b.....	54

1 Introdução

A falta de planejamento e fiscalização do uso do solo nas cidades do Brasil gerou um padrão de ocupação do espaço urbano desordenado, marcado por um processo acelerado de transformações. As consequências da falta de planejamento urbano podem ser percebidas de diversas maneiras.

Projetos relacionados à mitigação das enchentes urbanas vêm sendo elaborados há muitos anos. A proposta deste trabalho é estudar duas medidas de mitigação e realizar a análise comparativa entre os resultados obtidos em cada uma, para dois eventos de tempo de recorrência diferentes. Trata-se de uma comparação entre a eficiência de uma barragem de contenção de cheias e da requalificação fluvial parcial.

Historicamente as barragens de contenção de cheias vêm sendo utilizadas com sucesso em diversas cidades que sofriam com as enchentes. A opção de armazenar a água dos rios em reservatórios e controlar a vazão defluente, pode ser considerada uma medida muito eficaz. Existem, porém, inúmeros casos onde as barragens deixam de ser solução, e passam a ser um problema maior do que se não existissem. Isto acontece quando o volume de chuva é maior do que a capacidade de armazenamento das barragens, e o vertimento resultante acarreta vazões sem controle. Além disso, o falso sentimento de segurança induzido a montante, acompanhado da falta de controle da ocupação do solo urbano, fazem com que a população se aproxime mais das áreas originalmente inundáveis, aumentando ainda mais a fragilidade do sistema.

O conceito de requalificação fluvial, embora venha sendo estudado ao redor do mundo desde meados do século passado, ainda é pouco difundido no Brasil, e conta com raros exemplos de aplicação se comparado com as alternativas mais convencionais. Trata-se de um conjunto de técnicas e medidas que visam melhorar a qualidade do rio em um sentido amplo, aproximando-o do seu estado natural.

1.1 Motivação

O escopo deste trabalho inclui um estudo de caso no qual serão analisadas as medidas propostas na bacia hidrográfica do Rio Sesmaria, que está situado em Resende, no Estado do Rio de Janeiro. Ao longo da última década esta cidade sofreu

muitos prejuízos resultantes dos alagamentos causados pelas chuvas de verão, e sendo esta uma região que vem mostrando grande crescimento urbano, essa situação tende a se agravar em um futuro próximo.

A escolha desta bacia se deu após uma visita de campo promovida pela missão do SERELAREFA (Sementes da Rede Latina de Recuperação de Ecossistemas Fluviais e Aquáticos), que é um projeto de pesquisa assinado entre representante da Comunidade Européia e alguns países Latino Americanos, entre eles o Brasil. Com vistas a promover a discussão e interações sobre temas de requalificação fluvial. Tanto o fato de que o rio Sesmaria possui grande parte de sua extensão em área rural, como o fato de que seu trecho urbano sofre com alagamentos anuais, fazem com que a bacia do Rio Sesmaria seja ideal para o estudo aqui proposto.

Além disso, o laboratório GEOHECO (Geo-Hidroecologia) da UFRJ possui várias pesquisas em andamento na bacia, viabilizando uma interação interdisciplinar, além de possibilitar que os estudos, somados, contribuam para o maior entendimento do comportamento desta bacia.

1.2 Metodologia Resumida

A análise proposta será desenvolvida com apoio de modelagem hidráulica computacional. Para isso será utilizado o Modelo de Células de Escoamento – MODCEL. Esta escolha se deu porque o modelo permite a verificação dos níveis d'água atingidos no ponto que se queira para cada uma das medidas e tempos de recorrência propostos. A representação da realidade em modelos está longe da perfeição. Contudo, dependendo dos critérios de análise, os modelos serão mais ou menos adequados em função de suas características e vocações.

Será modelada a situação atual e visando que os resultados se aproximem da realidade, uma calibração parcial será realizada. Esse cenário servirá como base para a criação dos cenários das duas medidas propostas nesse trabalho, a barragem de contenção de cheias e a requalificação fluvial parcial. Para uma análise da eficiência das propostas, os cenários serão modelados para diferentes tempos de recorrência, 25 e 100 anos

O cenário atual será montado a partir de dados obtidos com o GEOHECO, na visita de campo, em planta, e na internet, com o objetivo de aproximar o cenário elaborado da realidade.

1.3 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é fazer uma análise comparativa entre as medidas proposta, e verificar a sua eficiência para cada tempo de recorrência.

2 A bacia hidrográfica do Rio Sesmária

2.1 Descrição da bacia

A bacia do rio Sesmária está localizada no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, compreendida entre os municípios de Arapeí e São José dos Barreiros, no Estado de São Paulo, e Resende no Estado do Rio de Janeiro (Figura 2.1). Possui uma área de drenagem de 149 km², onde o uso e cobertura do solo incluem áreas urbanizadas, florestas, pastos e plantações de Eucalipto.

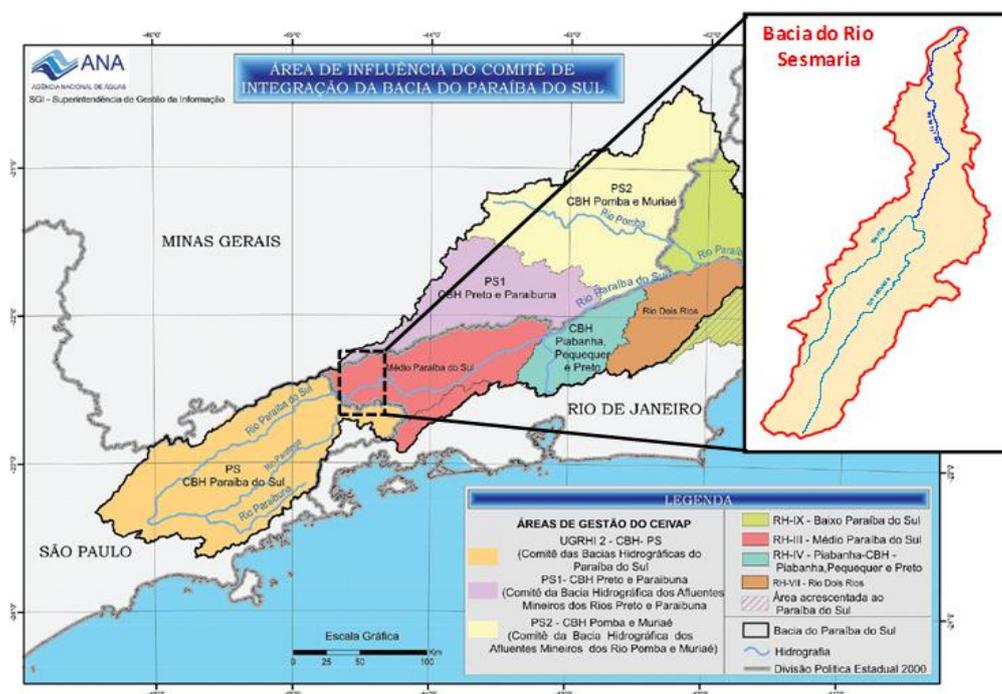


Figura 2.1: Localização da Bacia do Rio Sesmária, Modificado de Braga et al. (2008).

A transformação histórica da bacia do rio Sesmária pode ser descrita a partir da evolução ocorrida ao longo de séculos no vale do rio Paraíba do Sul. Por estar localizada entre três Estados de grande importância política e econômica para o país (Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais), a bacia do rio Paraíba do Sul passou, ao longo de séculos, por diferentes tipos de uso e ocupação do solo e sofreu, conseqüentemente, muitas mudanças em sua paisagem.

Originalmente a região era toda ocupada por Mata Atlântica, floresta com o bioma mais rico em biodiversidade do planeta. Porém, entre meados do século XVIII até o final do século XIX, predominou na região o cultivo de café, que, pela sua grande força político-econômica, se expandiu incontroladamente resultando na grande devastação da cobertura vegetal na região.

No século XX, após o declínio dessa atividade, observou-se no Sudeste e no Centro-oeste do país a expansão da fronteira agropecuária. Na bacia do rio Sesmaria não foi diferente. As encostas, já bastantes desgastadas pelo plantio de café, foram transformadas em extensos campos de gramíneas para a produção leiteira, o que gerou, novamente, alterações nos regimes climáticos e hidrológicos da região, segundo DANTAS (1995).

Nas décadas de 40 e 50 deste mesmo século, o crescimento da industrialização e a instalação da CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) em Volta Redonda motivaram a instalação de fabricas do setor automobilístico, aeroespacial e bélico na região. Em consequência disso houve o crescimento dos núcleos urbanos no corredor Rio-São Paulo.

Porém, desde o começo do século XXI, uma nova monocultura vem ganhando espaço. A expansão do cultivo do eucalipto em vastas áreas, que se iniciou em São Paulo, vem crescendo em direção ao Rio de Janeiro. De acordo com SATO (2008), no ano de 2000, 76% da área da bacia do rio Sesmaria era composta por gramíneas e pastagens, enquanto manchas de cobertura arbórea (23%) concentravam-se no domínio montanhoso correspondente a Serra da Bocaina. A cidade de Resende ocupava 1% do território e não se observava plantio de eucalipto na bacia. Com a alta taxa de expansão do plantio do eucalipto, atualmente observa-se várias fazendas da monocultura instaladas nos topos das colinas, ocupando a paisagem antes degradada. As gramíneas e pastagens passam a representar 71% da região, as florestas 21% e o eucalipto 6%. Todavia, a parcela urbana da bacia passa a ocupar 2% do território, representada quase que unicamente pela área urbana de Resende. Espera-se um aumento neste valor, uma vez que a cidade está em pleno crescimento, o que pode ser observado pela instalação de condomínios residenciais em áreas rurais. A figura 1 do Anexo I apresenta o mapa de uso e cobertura do solo atual na bacia

O rio Sesmaria nasce da confluência de dois rios, os rios Feio e Formoso. São aproximadamente 21 km de rio, sendo 16 km em região predominantemente rural, e 3,5 Km atravessando a região urbanizada de Resende, até desaguar no rio Paraíba do Sul. O rio Sesmaria, ao longo de seu comprimento, passa por vales encaixados e

planícies inundáveis. É um rio com muitos meandros e que está em constante transformação morfológica e hidrodinâmica, seja por parte do grande aporte de sedimentos, ocasionando trechos assoreados, ou pela movimentação de suas margens e meandros, devido aos processos erosivos.



Figura 2.2: Trecho do rio Sesmária, onde se observa a erosão da margem direita e a grande quantidade de solos em suspensão (foto tirada em 21/01/11, arquivo pessoal)

Os rios Feio e Formoso apresentam características bastante diferentes quanto a quantidade de sedimentos em suspensão, o que pode ser verificado pela diferença de turbidez entre eles. O Feio é um rio de águas pouco turvas, enquanto o Formoso é repleto de sedimentos, podendo ser apontado como maior responsável pela contribuição dos sedimentos para o Sesmária. Os dois afluentes estão localizados em vales encaixados, com altitudes que variam de 460m a 670m em relação ao marco zero do IBGE. O maior eixo de drenagem da bacia tem a extensão de 38 km e é formado pelos rios Formoso e Sesmária. O principal afluente do rio Sesmária é o rio São João. Localizado na margem direita do Sesmária, a 2,7 km da confluência dos rios Feio e Formoso, sua área de drenagem apresenta-se coberta de vegetação, o que pode ser observado na figura 2 no anexo I.

Segundo Coelho Netto (2003), do ponto de vista geomorfológico, atualmente a paisagem da região do Médio vale do Paraíba do Sul encontra-se heterogênea, instável e submetida a mudanças ambientais cada vez mais rápidas. A formação de canais erosivos tende a favorecer a ocorrência de deslizamentos, particularmente junto às encostas mais íngremes. Sua intensificação nas cabeceiras de drenagem vem acarretando um aumento das taxas de assoreamento nos rios e, conseqüentemente, aumento das inundações nas planícies.

Outro fator prejudicial à situação atual desta bacia é a ausência de mata ciliar em muitos trechos dos seus rios. Segundo os autores do projeto PLANÁGUA SEMADS, no volume Rios e Corregos, de abril de 2001.

As matas ciliares têm importante papel na ecologia e na hidrologia de uma bacia hidrográfica, pois auxiliam na manutenção da qualidade da água, na estabilidade dos solos das margens, evitando a erosão e o assoreamento, no desenvolvimento e sustento da fauna silvestre aquática e terrestre ribeirinha e na regularização dos regimes dos rios através dos lençóis freáticos

2.2 As enchentes na cidade de Resende

Durante os últimos anos, o município de Resende vem sendo afetado pelas enchentes do rio Sesmaria. Nos eventos de 2010, bairros inteiros ficaram debaixo d'água, deixando moradores ilhados, abalando estruturas de prédios, casas e pontes. A situação se agravou devido à ausência de rede de esgoto na região, uma vez que com os níveis d'água altos, o esgoto não consegue escoar, tornando as enchentes um problema gravíssimo de saúde pública. As figuras contidas no anexo II mostram imagens das enxurradas que atingiram Resende no ano de 2010.

Em carta resultante da vistoria técnica realizada em 2009 por especialistas da SPU (Secretaria do Patrimônio da União), protocolada na Procuradoria da República de Resende, é possível observar o descaso e a omissão dos governantes quanto à ocupação das margens do rio Sesmaria, situação que pode ter agravado os problemas de enchentes na cidade nos últimos anos. Abaixo encontra-se um trecho desta carta:

Nos pareceu inclusive, apenas com base no observado e considerando a nossa experiência na observação dos rios e suas enchentes, que configura-se que grande parte das áreas aterradas

estará contida dentro de áreas que eram atingidas por enchentes ordinárias com tempo de recorrência até 20 anos.

Mais uma vez nos deparamos com o absurdo do descaso com que se vem tratando bem de uso comum do povo, pois se permite a ocupação de áreas que entendemos como de extravasamento, ou seja, áreas de calha secundária do rio Sesmaria. A omissão de todos permitiu que se ocupassem áreas de dominialidade federal e de preservação permanente.

Esta ocupação irregular, com a devastação da mata ciliar e execução de aterros, mudam o regime de escoamento do rio provocando uma instabilidade no seu curso. Nesse ponto o rio com tantas adversidades, com a supressão das áreas de espraiamento, só poderá responder com enchentes mais rápidas e de cotas mais elevadas...

Em 16 de março de 2010 uma tromba d'água atingiu a cidade de São José do Barreiro, e em pouco tempo causou devastação no município de Resende. Segundo jornais da região, o rio Sesmaria subiu cerca de 8 metros em duas horas, invadindo as planícies adjacentes, deixando submersos casas e veículos. A defesa civil informou que algumas edificações tiveram suas estruturas abaladas. Foi o caso do desbarrancamento da cabeceira da principal ponte da Av. Kennedy, importante via de circulação da cidade.

Depois do ocorrido, foram realizadas várias reuniões entre a defesa civil, as associações de moradores e a secretaria de obras do município no intuito de contabilizar as perdas e definir as providências que deveriam ser tomadas para evitar futuras enchentes. Porém, nove meses depois outra enchente alagou novamente os bairros, afetou casas, chegando a provocar o desabamento de encostas e de uma rua, e a interdição da ponte na Av. Saturnino de Brito. Dessa vez 84 famílias foram afetadas, segundo o cadastro da prefeitura.

3 Propostas para mitigação das enchentes na bacia do rio Sesmaria

Visando prevenir a cidade de Resende das enchentes que andam ocorrendo, algumas medidas de mitigação podem ser sugeridas. Medidas tradicionais, como dragagem, construção de canal de desvio e barragem, e/ou propostas alternativas, como reflorestamento, recuperação fluvial e programa de educação ambiental são os recursos mais utilizados.

3.1 Medidas tradicionais:

A canalização dos rios foi vista, durante muito tempo, como uma das melhores propostas para resolver as dificuldades com a drenagem e o saneamento nas cidades. Porém, trata-se de um recurso que muitas vezes não resolve o problema; apenas o conduz para jusante.

A dragagem de rios também pode ser vista como uma medida possível, uma vez que, ao rebaixar o fundo e promover o alargamento das margens, o escoamento das águas é beneficiado. Porém, alterando as variáveis morfológicas dependentes, como largura e a profundidade do rio, não se alteram as variáveis determinantes para a morfologia (descargas sólidas e líquidas). Pelo princípio do auto-ajustamento, se as descargas sólida e líquida não se alteram, e o rio vai buscar restaurar o seu equilíbrio, podendo ficar assoreado novamente.

Outra alternativa muito utilizada é a construção de barragens para contenção de cheias.

3.1.1 Barragem de controle de Cheias

Devido ao seu enorme potencial hidrelétrico, o Brasil possui diversas barragens de aproveitamento energético. Muitas delas são dimensionadas não só para gerar energia, mas também com o objetivo de conter um volume de espera para cheias. Ao longo do ano, o ONS (Operador Nacional do Sistema) determina a vazão defluente de cada aproveitamento hidroelétrico, visando preparar os reservatórios para o período chuvoso, além de garantir a geração, suprimindo a demanda por energia.

Como exemplo de barragens de controle de cheias existentes no Brasil, pode-se citar as que existem no Vale Itajaí, em Santa Catarina, e na bacia do rio Capibaribe, em Pernambuco.

As barragens de Jucazinho, Goitá, Tapacurá e Carpina foram construídas para evitar as enchentes na região metropolitana de Recife. A última barragem inaugurada foi a de Carpina, em 1975, depois da grande enchente que atingiu Recife. Moradores da região metropolitana ainda temem os alagamentos. Porém, em entrevista à Nordeste TV, o diretor-presidente da Agência Pernambucana de Águas e Climas, Marcelo Asfora, afirma;

O esvaziamento da barragem se faz de forma controlada. A abertura da comporta é feita de forma planejada e a Defesa Civil é avisada com um dia de antecedência. No Recife, ocorrem alagamentos porque há áreas mais baixas do que a parte superior da calha do Rio Capibaribe. São transtornos, mas que efetivamente não chegam a ser 0,01% daquilo que ocorreria se, de fato, não estivéssemos operando essa barragem.

As barragens de Taió, Ituporanga e José Boiteux estão localizadas nos rios afluentes ao rio Itajaí-Açu e tem o objetivo de proteger várias cidades do Vale do Itajaí das enchentes. O Ministério da Integração Nacional, junto ao governo do Estado, operam um sistema de informação simultânea, onde é possível acompanhar a capacidade de armazenamento de cada uma das três estruturas. O final do mês de Agosto e início de Setembro de 2011 foram marcados por grande destruição causada pelas enchentes nas cidades próximas ao rio Taió-Açu. Uma das maiores preocupações foi o manuseio das comportas das barragens, que não poderiam ser totalmente abertas, uma vez que os rios se encontravam com níveis altos, e nem fechadas, pois aumentariam a área alagada a montante.

Em Resende, depois dos eventos de chuva do ano de 2010 na bacia do rio Sesmaria, o Secretário de Obras de Resende, Rubens Almada, propôs algumas medidas para prevenção de futuros acidentes e a construção de uma barragem foi uma delas. “Falar em alargar as margens é algo que não funciona, pois um volume além do esperado ainda poderá nos surpreender. Podemos criar uma barragem para evitar o caos na área urbana, desviar o fluxo da água para áreas pertinentes, por exemplo”, afirma Almada, em reportagem do jornal Folha Fluminense de 02 fevereiro de 2011. Segundo a mesma reportagem, essa alternativa ainda está sendo analisada pelos órgãos do governo competentes.

Motivado por esta situação, este trabalho se propõe a analisar a simulação de uma barragem de controle de cheias no rio Sesmaria para o tempo de recorrência de 25 anos. Segundo a Lei 12.334/10, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragem, a implementação de uma grande barragem exige o Plano de Segurança de Grandes Barragens, juntamente com o Plano de Ações Emergenciais, a execução de inspeções e as revisões periódicas de segurança. Segundo a Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB), para uma barragem ser considerada grande deve ter altura de 15 metros ou 10 a 15 metros e armazenar três milhões de metros cúbicos de água em seu reservatório. O tempo de recorrência foi escolhido seguindo as recomendações do Ministério das Cidades, no Manual para Apresentação de Propostas para projetos de drenagem urbana e controle de erosão marítima e fluvial, onde é determinado que para obras de controle de inundação o nível aceitável corresponde às cheias de período de retorno de 25 anos.

3.2 Medidas alternativas:

Algumas medidas de mitigação de enchentes não fornecem uma resposta tão imediata quanto as mais utilizadas. Como exemplos podem ser citados programas educacionais ambientais, criação de áreas de preservação ambiental e implementação de conjunto de ações e técnicas que visam a melhoria do corpo hídrico, de uma forma mais abrangente.

3.2.1 Requalificação fluvial parcial

A Requalificação, Renaturalização e Recuperação dos rios são medidas que propõem diferentes ações e técnicas, mas que objetivam fornecer a melhoria da qualidade do curso d'água. Seja recuperando os ecossistemas que antes existiam, intervindo no comportamento hidráulico do rio, favorecendo a formação de meandros e possibilitando que em determinados momentos ocorra o extravasamento natural dos rios para as planícies adjacentes. Esses princípios se baseiam em ajustar a demanda humana e as funções do uso às condições naturais do ambiente ribeirinho, ao invés de ajustar o sistema natural do rio às necessidades da humanidade (European Centre of River Restoration, 2010).

Neste estudo, será proposta a requalificação fluvial como medida de mitigação das enchentes de Resende. A requalificação fluvial vem sendo estudada em diversos países ao longo das últimas décadas.

Como os problemas com a urbanização desordenada e descaso com os rios, de uma forma geral, estão presentes em todo o mundo, há muitas organizações desenvolvendo pesquisas sobre esse tema. Como é o caso do Centro de Requalificação Fluvial, que surgiu impulsionado pela Diretiva Quadro da Água, quadro comunitário estabelecido pela União Europeia para a proteção e a gestão da água. Cujo objetivo principal é alcançar um “bom estado” ecológico e químico de todas as suas águas de comum uso entre os países participantes, até 2015.

A requalificação fluvial pode ser descrita como um conjunto de práticas que objetivam melhorar a qualidade de um rio através de ações estruturais e não estruturais. As ações estruturais são intervenções na bacia hidrográfica, enquanto as não estruturais dizem respeito a instrumentos de gestão que viabilizem o manejo sustentável da bacia.

É possível encontrar na literatura mais de uma definição para requalificação fluvial. Todas as definições, porém, têm a mesma essência. Tratam de conjuntos de técnicas que implicam em uma melhora no escoamento e na qualidade dos rios, tentando aproximá-los do seu estado original.

Segundo o Centro Italiano per la Riquilificazione Fluviale (CIRF, 2006), a requalificação fluvial é o conjunto integrado e sinérgico de ações e técnicas, dos mais diversos tipos (desde aspectos jurídico-administrativo-financeiro até aspectos estruturais), destinadas a tornar um curso d'água, com a área mais intimamente ligada a ele ("sistema do rio"), em um estado mais natural possível, capaz de desempenhar as suas funções nas características do ecossistema (geomorfológicas, físicas, químicas e biológicas) e com maior valor ambiental, tentando satisfazer ao mesmo tempo o desenvolvimento socioeconômico.

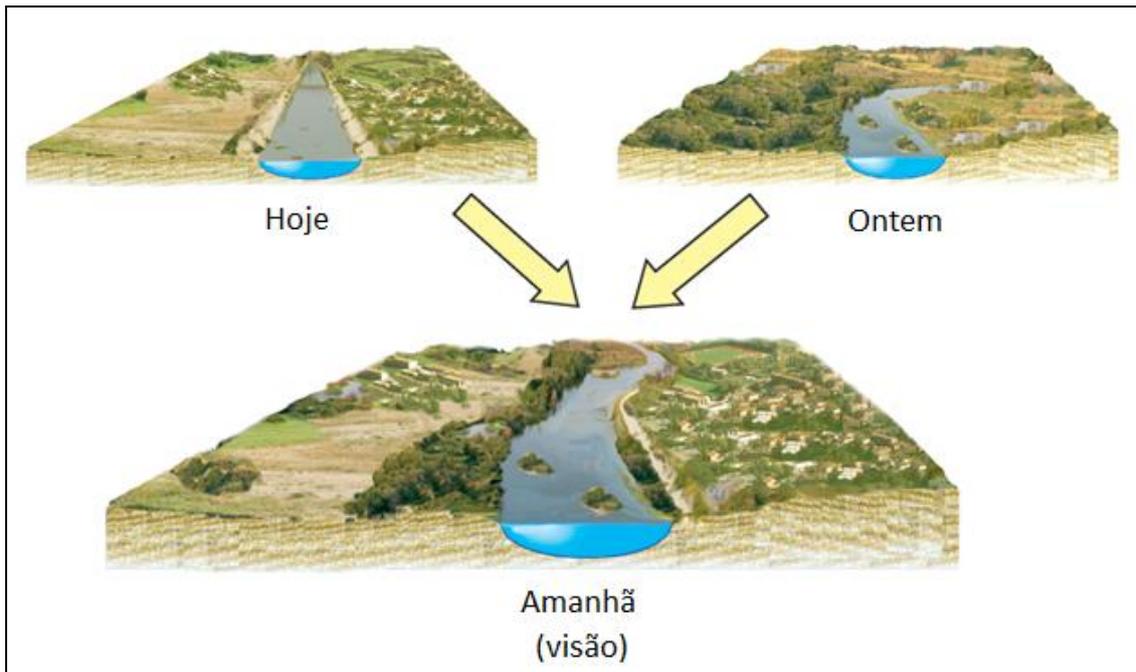


Figura 3.1: A visão da requalificação fluvial. Fonte: Adaptado de RECUPERACIÓN FLUVIAL: CONCEPTOS segundo CIRF / Andrea Nardini

Uma outra definição que pode ser sugerida é a da Agência Ambiental Americana, EPA (Environmental Protection Agency). Para eles a Restauração dos rios, consta na manipulação das características físicas, químicas ou biológicas de um local com o objetivo de retomar as funções naturais das zonas úmidas degradadas.

A requalificação se faz necessária quando um rio passa por processos impostos pelo homem, que o afastam de seu estado natural. Tais processos provocam mudanças que, na maioria dos casos, pioram a qualidade do rio, como será explicado a seguir.

A falta de planejamento das cidades do Brasil deu lugar a ocupações desordenadas, permitindo que as prioridades dos centros urbanos se confundissem com a urgência na demanda por moradia. Desta forma, permitiu-se que as margens dos rios fossem ocupadas por casas e prédios, o que, ao longo dos anos, contribuiu para a falsa sensação de que, quando chove, o rio invade a cidade. O que ocorre, contudo, é justamente o contrário. As planícies de alagamento foram equivocadamente ocupadas pelo homem, que vêm sofrendo as conseqüências destas ocupações indevidas.

Outro problema grave é o despejo de lixo e esgoto nos rios. Além de piorar a qualidade das águas e oferecer graves riscos à saúde pública e à biodiversidade do

local, estes hábitos contribuem ainda mais para o assoreamento dos rios, mau cheiro, obstrução de galerias, tornando o rio um ambiente desagradável.

A falta de ordenamento do uso do solo facilita a expansão do cultivo de monoculturas. Essa produção intensiva, aliada à falta de conhecimento das características e propriedades da terra, leva a aceleração da degradação física e biológica do solo, facilitando os processos erosivos e a prejudicando a infiltração, como pode ser observado no crescimento da desertificação em algumas áreas do Rio Grande do Sul, ocasionado pelo cultivo de monoculturas (BALSAN, 2006). O aumento da geração de sedimentos ocasiona maior transporte desses para o rio, o que pode facilitar o assoreamento. Sendo a vazão líquida uma característica constante, a diminuição da seção de escoamento justifica o aumento da velocidade, o que pode ocasionar a erosão em trechos à jusante.

Outra ação que pode ser considerada negativa é a prática de retificação dos rios. Muito comum quando se deseja escoar cheias, viabilizar a navegação, ocupar o terreno marginal ou rebaixar o nível d'água. Uma das possíveis conseqüências da retificação é o aumento da velocidade da água nos rios, que favorece todo o processo erosivo, como mencionado anteriormente. O aumento da velocidade acontece devido à alteração na relação entre o comprimento e o desnível; que gera um aumento na declividade do trecho retificado (Figura 3.2).

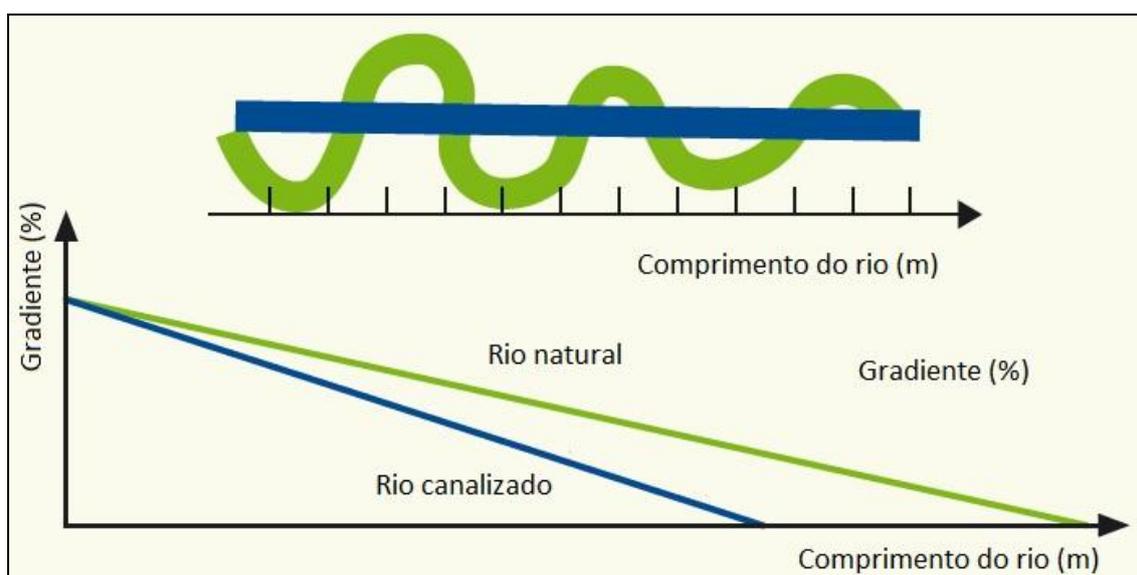


Figura 3.2: Efeito da Retificação. Fonte: Adaptado Renaturation des Cours D'Eau

Outro fator que contribui para o aporte de sedimentos nos rios é a retirada da mata ciliar, ocasionada pela ocupação irregular e pela expansão das fronteiras agrícolas.

A requalificação fluvial proposta neste trabalho é parcial. Para propor uma requalificação fluvial completa seriam necessários não só dados históricos a respeito da morfologia do rio Sesmaria, como também dados mais refinados sobre a situação atual do rio, além de abordar componentes da ecologia do rio. Ainda assim, a requalificação parcial sugere técnicas que podem ter um impacto significativo na bacia e permite a análise comparativa aqui proposta.

Serão propostas aqui duas medidas. A escolha destas foi feita, principalmente, em função da sua aplicabilidade. As duas medidas escolhidas contam com o respaldo do Código Florestal, e interferem pouco nas propriedades rurais localizadas na bacia do rio Sesmaria. As medidas aqui propostas são a preservação da vegetação nativa nos topos de morro e o reflorestamento de algumas áreas estratégicas, como a da mata ciliar nas faixas marginais de proteção. O reflorestamento da mata ciliar nas faixas marginais de proteção tem um papel fundamental na preservação dos rios, como pode ser visto na figura 3.3. Trata-se de uma medida que gera não só um aumento na infiltração da água no solo, como também diminui a velocidade de escoamento do *runoff*. Além disso, o reflorestamento também ajuda a evitar a erosão do solo e o aporte de sedimentos para o rio.

A escolha do comprimento da faixa marginal de proteção é de difícil definição. A dificuldade está na delimitação das margens dos rios, uma vez que a localização e a largura dos rios não são fixas, variando sazonalmente. Além disso, o comportamento de cada rio depende não só do uso e cobertura do solo na bacia na qual ele está inserido, como também das características do leito de cada rio. Optou-se por utilizar, então, a faixa marginal de proteção sugerida no Código Florestal vigente, como detalhado mais adiante.

Os topos dos morros devem ter sua vegetação preservada por motivos semelhantes. Assim como a mata ciliar nas margens, a existência de vegetação nos topos dos morros tem um papel importante ao contribuir para a infiltração da água de chuva, diminuir a erosão causada pelo efeito splash e aumentar a retenção dos sedimentos que seriam carregados para os rios.

Segundo o artigo 2º da Lei Federal número 7.803 de 1989, que altera o Código Florestal vigente:

“Consideram-se de preservação permanente pelo só efeito desta lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo do rio ou de qualquer curso d’água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

1) igual a 30 metros para cursos d’água de menos de 10 metros de largura.

(...)

c) nas nascentes ainda que intermitentes e nos chamados “olhos d’água”, qualquer que seja sua situação topográfica num raio mínimo de cinqüenta metros de largura;

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive”.

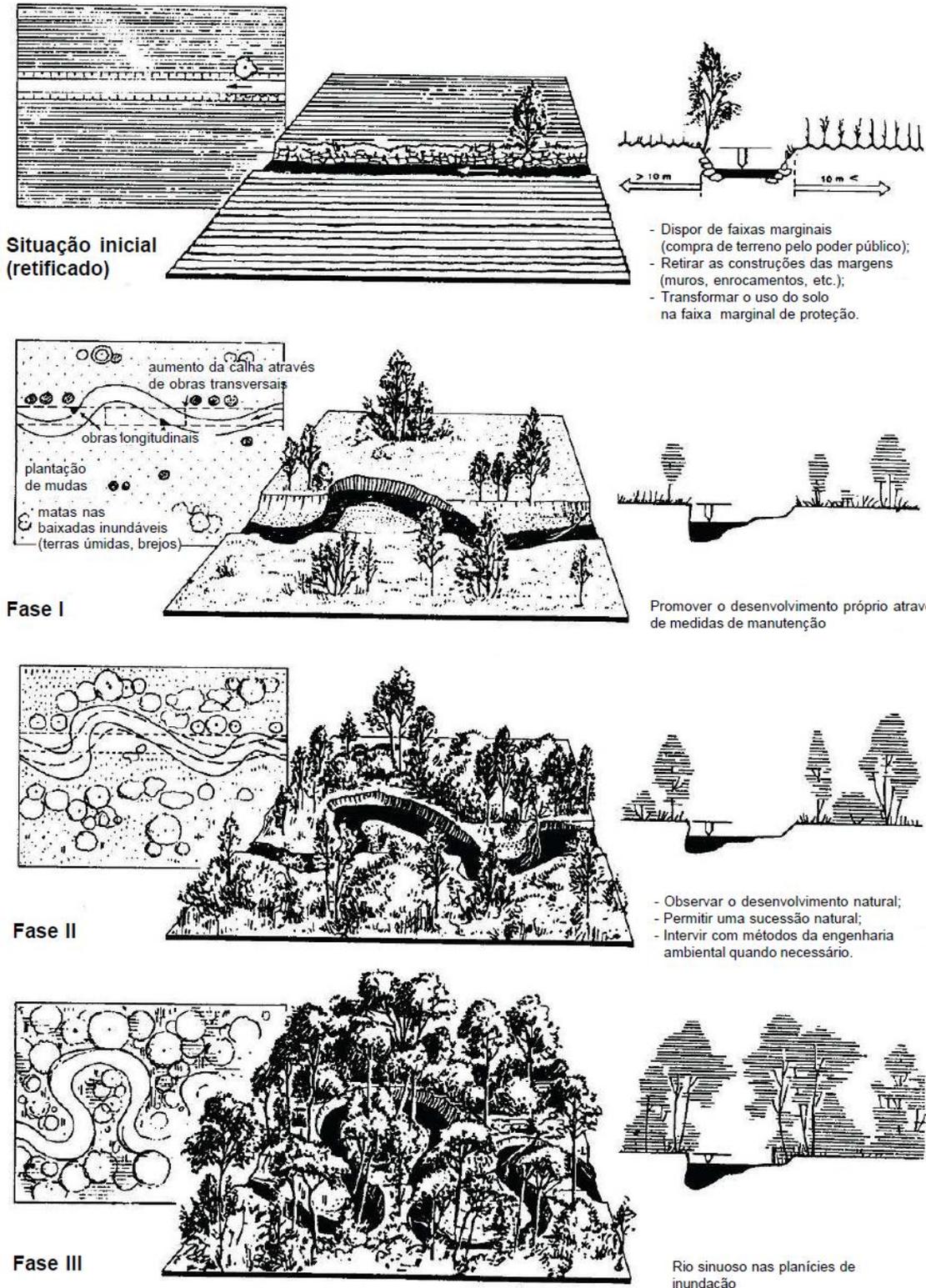


Figura 3.3: Etapas da implantação da FMP. Fonte: Revitalização de rios – orientação técnica – SEMADS/RJ

4 Metodologia

Com a finalidade de analisar e comparar quantitativamente as medidas propostas optou-se por utilizar um modelo matemático de simulação hidrodinâmica. O modelo escolhido foi o MODCEL - Modelo de Células de Escoamento, por se tratar de um modelo hidrodinâmico gratuito, que permite a simulação do escoamento entre planícies e rio com características variáveis e a análise dos níveis d'água e vazões provocados por determinado evento.

Para isso, foram criados três cenários, que representam as situações que o presente trabalho se propõe a analisar. Os cenários propostos serão detalhados no capítulo seguinte, porém, para melhor entendimento da metodologia torna-se necessário citá-los aqui.

Cenário 1: Situação atual

Cenário 2: Barragem de controle de cheias

Cenário 3: Requalificação fluvial parcial

Cada um dos cenários se divide em dois, gerando assim os cenários a que chamamos de *a* e *b*. Os cenários *a* serão simulados com uma chuva de tempo de recorrência igual a 25 anos, enquanto os cenários *b* com chuva de tempo de recorrência igual a 100 anos. A finalidade desta medida é avaliar se a eficiência das propostas está ou não limitada à magnitude do evento.

4.1 MODCEL

O modelo de células foi criado por Marcelo Gomes Miguez durante o desenvolvimento de sua tese de mestrado, em 1994. A partir de então ele foi sendo aperfeiçoado, até que em 2001 Miguez desenvolveu uma nova versão do modelo, com a finalidade de aumentar o grau de representatividade dos fenômenos das cheias urbanas através da criação de novos tipos de células e ligações.

Trata-se de um modelo computacional hidrodinâmico, que permite uma representação adequada tanto dos escoamentos que se concentram na calha fluvial, como dos que ocorrem por sobre as planícies de inundação, sendo assim capaz de

representar as diversas interações da bacia em estudo, possibilitando ainda simular intervenções futuras na região.

O modelo permite que o terreno seja representado por células de escoamento. Cada célula recebe a contribuição de precipitações e, assim, através de processos hidrológicos, há transformação de chuva em vazão dentro de cada célula. Como as células podem se comunicar hidraulicamente com suas vizinhas, a partir do momento em que essas vazões são geradas, uma malha de escoamento é criada entre elas.

Assim como em qualquer modelo, o grau de detalhamento desejado na resposta e o tipo de dado que se deseja analisar vai ser o fator determinante para que se possa escolher o tamanho das células em relação à bacia hidrográfica. As células podem ser de vários tipos como, por exemplo, de canal, planície, reservatório, encosta, galeria, entre outras. A escolha do tipo a ser utilizado deve levar em consideração as características do terreno. Para a simulação aqui proposta foram utilizados apenas três tipos de células: de canal, de planície urbanizada e de planície não urbanizada.

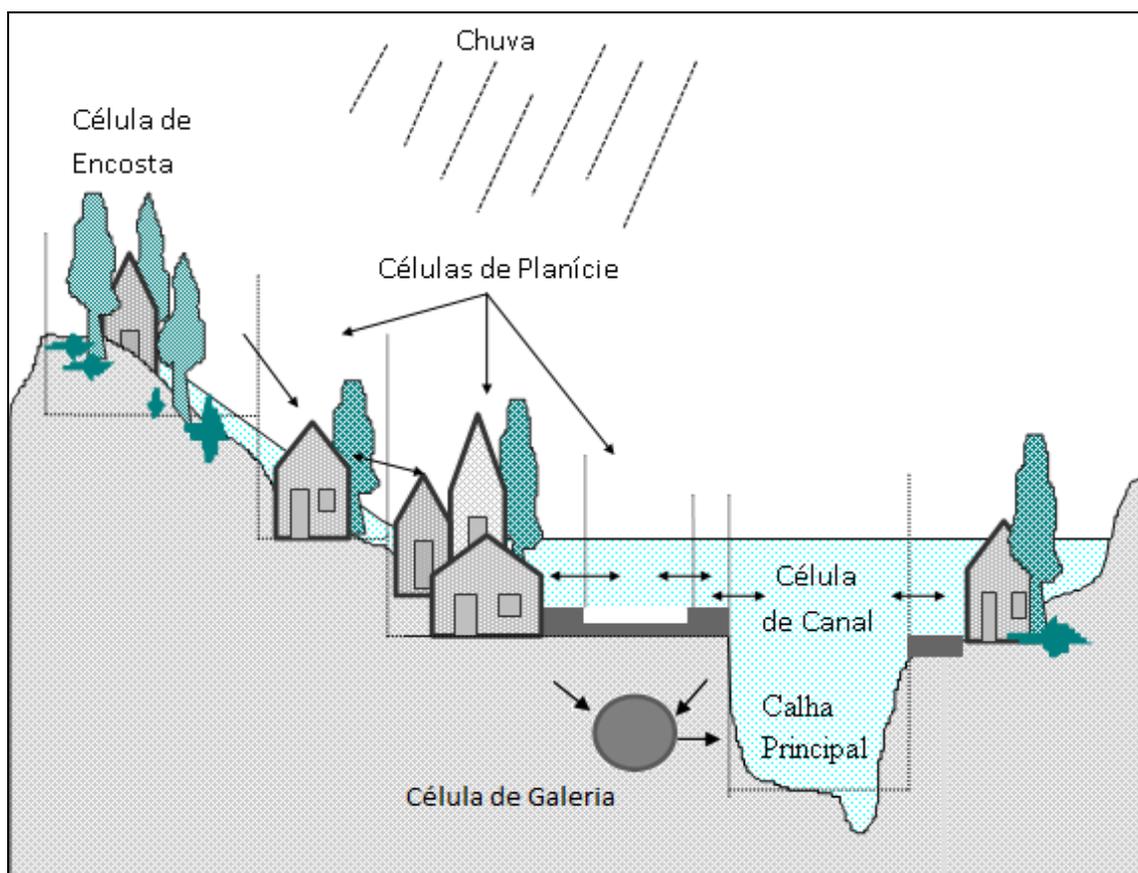


Figura 4.1: Representação esquemática de uma região dividida em células (FONTE: Manual do MODCEL)

O processo de modelagem por células de escoamento inicia-se pela análise da região através de levantamentos e plantas topográficas, aerofotogrametrias, imagens de satélite, e visitas de campo, entre outras fontes de informações disponíveis. Com isso, faz-se a divisão da bacia em células, de acordo com o uso do solo e topografia da área. Após essa divisão é necessário construir um esquema topológico que integra a rede de células, mostrando as suas interações com as células vizinhas. A montagem desse esquema faz parte da entrada de dados, e permite a solução numérica do modelo.

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:

$$A_{Si} \frac{dZ_i}{dt} = P_i + \sum_K Q_{i,K}$$

Onde:

Q = vazão entre as células i e k , vizinhas entre si;

Z = cota do nível d'água no centro da célula i ;

A = área superficial do espelho d'água na célula i ;

P = vazão relativa à parcela de chuva ocorrida sobre a célula i e disponível para escoamento;

t = variável dependente relativa ao tempo.

Assim como as células podem ser de vários tipos, as ligações entre elas também variam em função da equação de escoamento que se deseja utilizar. As ligações podem ser de planície, de canal, de vertimento, de entrada ou saída de galeria, de bueiro, etc. Foram utilizadas as ligações de canal, de planície, e de vertimento. As equações utilizadas em cada tipo de ligação estão apresentadas a seguir:

- Ligação de canal: Equação dinâmica de Saint Venant →

- $$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g \cdot (S_0 - S_f)$$

- Ligação de planície: Equação dinâmica de Saint Venant desconsiderando

o termo de inércia $\rightarrow \frac{dZ}{dx} = -g \cdot S_f$

- Ligação de vertimento: Equação para escoamento livre \rightarrow

$$Q_{i,k} = \phi_L \cdot L \cdot (Z_k - Z_c)^{3/2}$$

Equação para escoamento afogado $\rightarrow Q_{i,k} = \phi_A \cdot L \cdot (Z_i - Z_c) \cdot \sqrt{Z_k - Z_i}$

ϕ_L, ϕ_A - coeficiente de descarga sobre vertedouro, livre e afogado, respectivamente.

L - comprimento do vertedouro

- Ligação de orifício: $Q_{i,k} = \varphi \cdot A_{i,k} \cdot \sqrt{2g(Z_i - Z_\theta)}$

φ - coeficiente de escoamento através do orifício de área $A_{i,k}$, entre as células

Z_θ - cota de fundo da saída do orifício

A esta etapa, segue-se a confecção dos arquivos de entrada necessários, que compreendem os dados e parâmetros de cada célula da região em estudo, suas ligações e as condições de contorno necessárias para a modelagem, assim como a chuva de projeto.

O resultado gerado pelo MODCEL são dois arquivos que fornecem os valores dos níveis d'água, e das vazões trocadas entre as células, para cada intervalo de tempo de cálculo. O número de intervalos de tempo de cálculo é um parâmetro informado ao modelo, que determina a duração do evento que se deseja simular.

4.2 Levantamento de dados

A bacia do Rio Sesmaria é objeto de estudo do Laboratório GEOHECO (Grupo de Geo-Hidroecologia), da UFRJ, desde 2006, nos projetos "Hidrologia e Erosão em Pastagens Degradadas com Introdução de Eucalipto no Domínio da Mata Atlântica: metodologias para reabilitação florestal, controle erosivo e recarga de aquíferos no médio vale do rio Paraíba do Sul" e "Hidrologia e Erosão em Cabeceiras de Drenagem sob Diferentes Usos de Solo na Eco-região da Mata Atlântica: bases teórico-metodológicas para zoneamento e monitoramento ambiental". A existência

destes estudos viabilizou a obtenção de dados como medição de vazão dos rios afluentes e detalhamento de uma seção em cada rio da bacia do Sesmaria.

A planta utilizada foi resultado da extração das curvas de nível de um modelo digital de elevação (MDE) do IBGE feito a partir de ortofotos na escala 1:25.000. A hidrografia foi obtida no site do IBGE, na escala 1:50.000, e sobreposta às curvas de nível. Devido à diferença de escala foi necessário um trabalho de correção das inconsistências da hidrografia para ajustá-la às curvas de nível. Foram utilizadas imagens do Google Earth para auxiliar nessas correções.

A partir da planta, foi possível traçar os perfis longitudinais do rio Sesmaria e de seus afluentes; Feio e Formoso, apresentados no anexo III.

Tanto o traçado do rio e a identificação das quebras de declividade, assim como a análise de características específicas como, por exemplo, mudanças de largura ao longo do rio, permitiram a divisão do mesmo em células de escoamento. As células de rio têm seu escoamento representado por ligações de canal.

Para cada célula de escoamento do rio Sesmaria foram propostas duas células adjacentes, de largura igual a 30 metros, uma em cada margem, denominada aqui de célula de faixa marginal de proteção (FMP) (Figura 4.2). Assim como mencionado no capítulo anterior, esta faixa de 30 metros foi definida em função da LEI FEDERAL 4.771/86, que institui o novo Código Florestal. As células de FMP escoam para o rio através de ligações de vertimento, além de se comunicarem por ligações tipo planície.

Além disso, na região urbanizada (Resende) as células de FMP recebem contribuição dos *runoffs* gerados nas planícies urbanizadas que, por sua vez, tem como caminho preferencial as ruas quando a microdrenagem está totalmente afogada. Esta comunicação é representada no modelo pelas ligações de planície, cuja largura varia em função do número de ruas existente nas fronteiras entre as células.

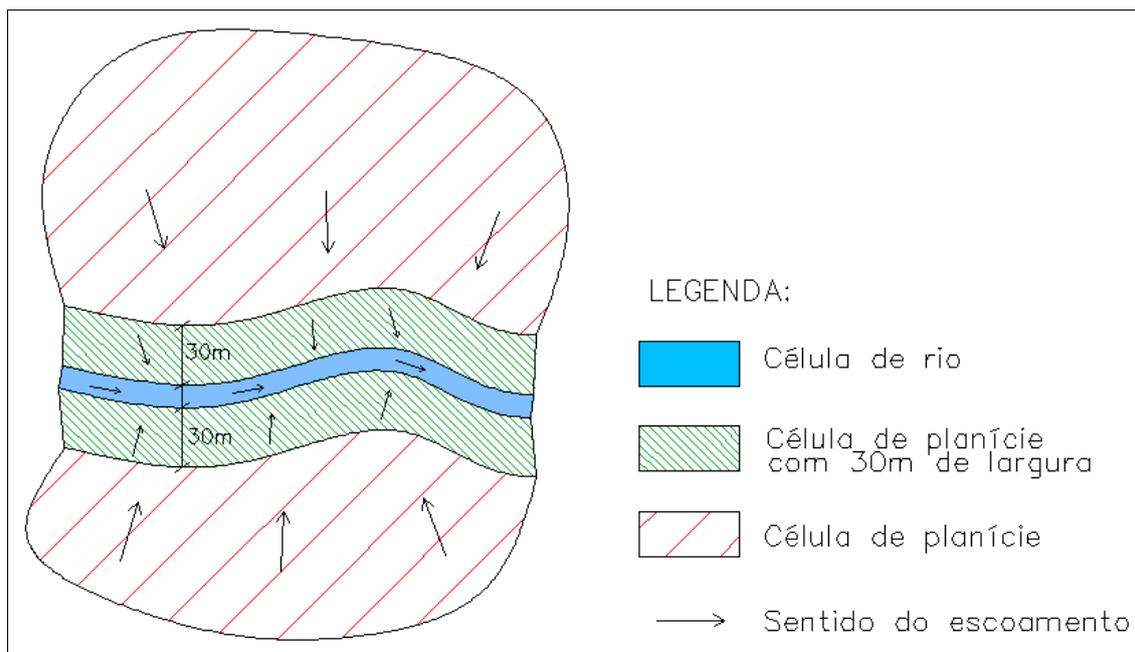


Figura 4.2: Representação dos escoamentos entre as células de rio, FMP e planície.

As bacias de contribuição foram divididas em células de encosta e de planície. Nas imediações do rio Sesmaria, as células de planície se conectam com as células de FMP através de ligações de planície, enquanto as células de encosta das sub-bacias dos rios Feio, Formoso e São João têm seu escoamento em direção aos rios, representado por ligações de vertimento.

4.2.1 Trabalho de campo

Foi realizada uma visita ao local de estudo, com a finalidade de obter seções transversais ao longo do rio Sesmaria. A visita contou com a presença das autoras do presente trabalho, bem como da aluna de mestrado Ana Caroline Pitzer e do professor de topografia Virgílio Noronha.

A estrada RJ-161, que acompanha o rio Sesmaria em quase toda a sua extensão foi percorrida de carro. Foram levantadas cinco seções transversais ao longo do rio, com distâncias entre si variando entre 1,5 quilômetros e 3,0 quilômetros. A escolha do número de seções foi feita em função do tempo e material disponíveis. Levando-se em conta a escala, o nível de detalhamento da bacia e os resultados desejados, este número de seções pode ser considerado representativo e satisfatório.

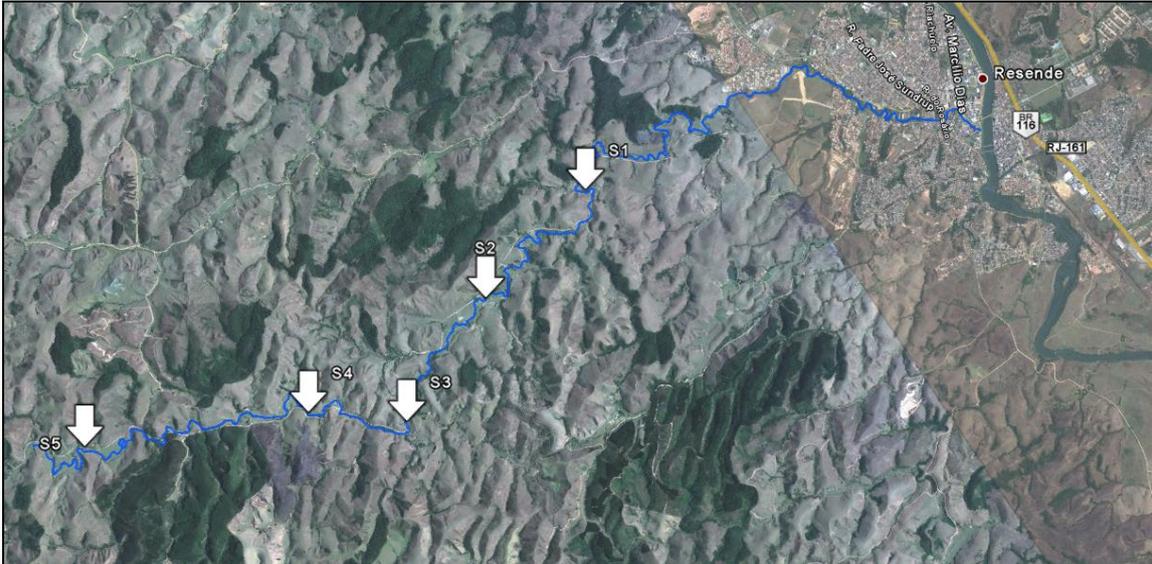


Figura 4.3: Localização das seções transversais levantadas ao longo do rio Sesmaria

O levantamento das seções transversais foi feito com o auxílio da Estação Total Modelo 465336, operado pelo professor Virgílio Noronha e as cotas foram obtidas com auxílio do GPS Garmin 60CSX. Este modelo de GPS utiliza o sistema barométrico, que possui maior precisão que os GPS's comuns.

Algumas fotos desta visita podem ser observadas no anexo IV

As seções levantadas estão contidas no anexo V.

4.3 Dados de Entrada

4.3.1 Topologia

Uma vez definidas as células e as ligações entre elas, foi possível montar o esquema topológico, que pode ser visualizado no anexo VI. A figura 4.4 ilustra o esquema.

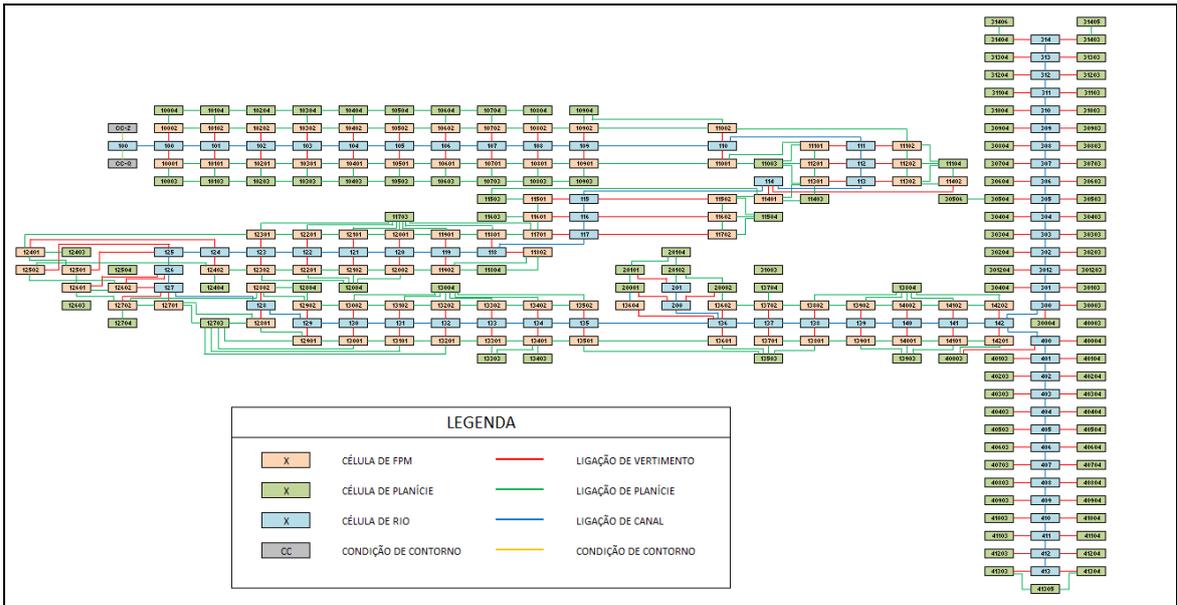


Figura 4.4: Esquema topológico das células da bacia do Sesmaria

4.3.1.1 Divisão da bacia em células de escoamento

A divisão da bacia gerou 275 células de escoamento, sendo 76 células de rio, 110 células de planície (faixa marginal de proteção e planície urbanizada), e 89 células de encosta, como especificado abaixo:

Tabela 4.1: Indicação da numeração utilizada na divisão da bacia em células de escoamento

Células	Descrição
10	rio Paraíba do Sul
100 a 142	rio Sesmaria
200 e 201	rio São João
300 a 314	rio Formoso
400 a 413	rio Feio
10001 a 14201	Células de planície com largura de 30 metros beirando a margem esquerda do rio Sesmaria
10002 a 14202	Células de planície com largura de 30 metros beirando a margem direita do rio Sesmaria
10003 a 10903	Células de planície que representam sub-bacias de contribuição na margem esquerda do rio Sesmaria
10004 a 10804	Células de planície que representam sub-bacias de contribuição na margem direita do rio Sesmaria
11003 a 13903	Células de encosta que representam sub-bacias de contribuição na margem esquerda do rio Sesmaria
10904 a 14204	Células de encosta que representam sub-bacias de contribuição na margem direita do rio Sesmaria
30003 a 31405	Células de encosta que representam sub-bacias de contribuição na margem esquerda do rio Formoso
30004 a 31406	Células de encosta que representam sub-bacias de contribuição na margem direita do rio Formoso
40003 a 41305	Células de encosta que representam sub-bacias de contribuição na margem esquerda do rio Feio
40004 a 41304	Células de encosta que representam sub-bacias de contribuição na margem direita do rio Feio

A divisão da bacia em células de escoamento pode ser observada no anexo VII.

4.3.2 Chuva de projeto

A chuva é um dos principais dados de entrada do modelo. Foram geradas duas chuvas de projeto; uma com tempo de recorrência (TR) igual a 25 anos, e outra com TR igual a 100 anos.

As duas chuvas foram determinadas com auxílio do software HIDROFLU.

4.3.2.1. Cálculo do hidrograma de vazão

O HIDRO-FLU é um sistema computacional para realização de rotinas hidrológicas com foco em pequenas bacias, a partir do qual se pode obter a geração de hidrogramas, a partir de uma chuva medida ou de projeto (Magalhães, 2005). O software possibilitou a determinação da chuva de projeto, através da transformação de dados de precipitação em vazão, levando-se em consideração as características da bacia.

O primeiro passo foi a determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial no exutório. A partir da inserção de alguns parâmetros como área de contribuição, extensão do rio principal e declividade média, o programa calcula alguns tempos de concentração de acordo com diferentes fórmulas existentes, como por exemplo as fórmulas de Kirpich, de Dooge e de George Ribeiro. Cabe ao usuário escolher um valor para adotar. Neste trabalho foi adotado um valor intermediário entre os calculados pela equação de Dooge e de George Ribeiro, 429 e 718 minutos respectivamente. O valor escolhido foi de 660 minutos, por ser tratar também de um número que facilitasse os cálculos uma vez que os intervalos de tempo utilizados na modelação eram de meia hora.

No momento seguinte, foi definido o tempo de duração da chuva, que teve o mesmo valor que o tempo de concentração da bacia do rio Sesmaria: onze horas. Escolheu-se também utilizar a equação de chuvas intensas de Otto Pfastetter. O programa conta com os dados da equação para o posto pluviométrico de Resende.

A chuva calculada para o tempo de retorno de 25 anos foi de 116,8 milímetros, enquanto para a recorrência de 100 anos, foi de 149,6mm. Tais resultados serviram de dado de entrada para o modelo de células de escoamento. Os cenários foram simulados para 76 intervalos de tempo de 30 minutos. Sendo os 10 primeiros nulos, cuja função é normalizar as condições iniciais do modelo. Os 22 intervalos seguintes

correspondem às 11 horas de chuva, que é o tempo de concentração da bacia, e os 44 últimos têm a função de viabilizar a análise do trecho final do hidrograma. Os parâmetros de entrada são apresentados na interface do Hidroflu, e encontram-se no anexo VIII, junto aos relatórios gerados.

4.3.3 Parâmetros da bacia hidrográfica

A determinação dos coeficientes é fundamental na representação do terreno. A partir dos coeficientes definidos, as características da bacia que influenciam o regime de escoamento são traduzidas para o modelo.

4.3.3.1 Coeficiente de Manning

O coeficiente de Manning deve traduzir as características particulares do escoamento, tais como rugosidade da superfície de escoamento, existência de singularidades (pontes, meandros, etc), tipo de superfícies, entre outras. Ele deve representar a resistência que o trecho confere ao escoamento.

A definição dos coeficientes de Manning foi feita a partir uma planilha de cálculo que se encontra no anexo IX. Esta planilha foi criada segundo a equação e os parâmetros enunciados abaixo, seguindo as recomendações de Ven Te Chow, no livro Open-Channel Hydraulics, que também se encontram no anexo IX.

$$\eta = (\eta_0 + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4) m_0$$

Onde,

$\eta_0 =$ *material do leito*

$\eta_1 =$ *grau de irregularidade do fundo*

$\eta_2 =$ *variação da seção transversal*

$\eta_3 =$ *efeitos da obstrução*

$\eta_4 =$ *vegetação*

$m_0 =$ *grau de meandramento*

A planilha de cálculo acima mencionada leva em consideração o tipo de vegetação, material de revestimento, grau de irregularidade, variação de seção, existência de obstruções e existência de meandros.

4.3.3.2 Coeficiente de runoff

O coeficiente de *runoff* é determinado em função do tipo de cobertura existente no local. Pode ser interpretado como a porcentagem da vazão gerada pela chuva que escoou superficialmente.

Os coeficientes escolhidos para esse trabalho foram os recomendados pelo manual do modelo. São coeficientes de freqüente utilização, que apresentam bons resultados na caracterização de projetos já simulados pelo MODCEL. Para sua determinação, foram analisados o mapa de uso e cobertura do solo e imagens do Google Earth.

4.3.3.3 Coeficiente de vertimento

Estes coeficientes também foram escolhidos seguindo as recomendações do modelo. Estão presentes nas ligações de vertimento.

Alguns valores sugeridos pelo modelo são:

Coeficiente de vertimento frontal ao escoamento: $K_{vf} \cong 0.13$;

Coeficiente de vertimento lateral ao escoamento (adotado nas ligações entre uma célula de rio e suas células superficiais marginais): $K_{vl} \cong 0.10$ $K_{vf} \cong 0.013$

Outros parâmetros como coeficiente de vertedor e coeficiente de orifício foram utilizados na modelação para a ligação de reservatório.

4.3.4 Condições de contorno

Além do arquivo de entrada de chuva, outro input do modelo são as condições de contorno. Essas representam condições ou informações adicionais ao modelo, de extrema importância para a determinação dos escoamentos. Neste caso, elas introduzem as vazões de base existentes nos rios afluentes, indicadas por uma condição de contorno na sua nascente. A célula 10, que representa o rio Paraíba do Sul, possui duas condições de contorno: de vazão e de cota. Esta simplificação é utilizada para limitar a necessidade de representação do rio Paraíba do Sul, realizando um recorte na modelação.

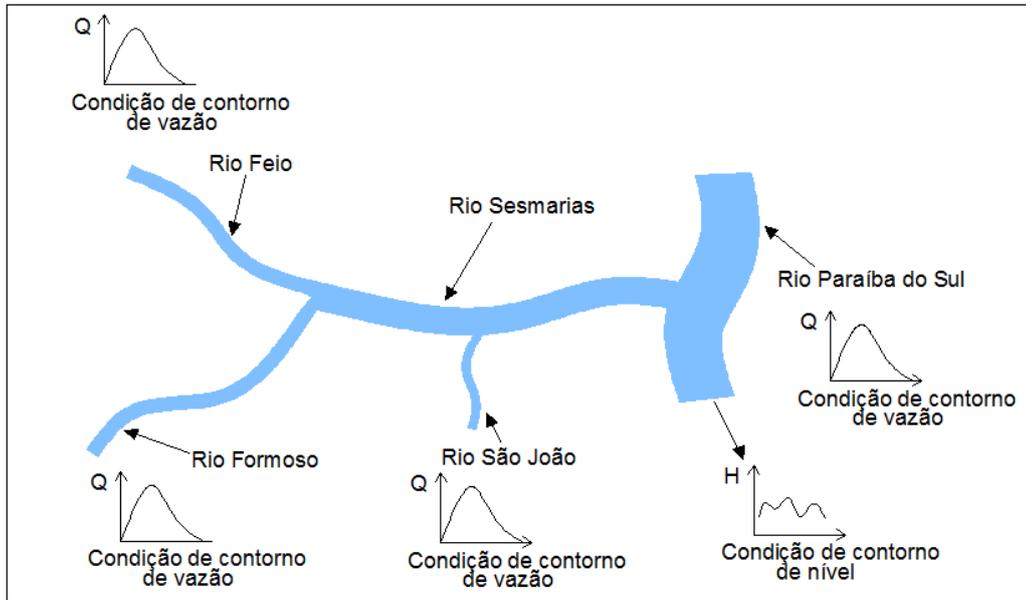


Figura 4.5: Condições de contorno

As vazões dos afluentes foram determinadas a partir de dados de medições realizadas pela GEOHECO em determinadas seções destes rios, nos meses de julho e setembro de 2008. Estas vazões podem ser consideradas vazões de base, por terem sido medidas em um período caracterizado pela baixa ocorrência de chuvas. A tabela abaixo apresenta esses valores.

Tabela 4.2: Dados para a determinação das condições de contorno

Rio:	Coordenada:	Data:	Vazão:
São João	22°34'02.9"S	08/07/2008	0.115 m ³ /s
	44°28'26.06"O		
Feio	22°34'58.77"S	30/09/2008	0.391 m ³ /s
	44°29'09.27"O		
Formoso	22°36'12.3"S	08/07/2008	0.723 m ³ /s
	44°28'51.5"O		

4.3.5 Calibração

A etapa de calibração de um modelo matemático consiste em definir os parâmetros que ajustem os resultados obtidos na modelação de acordo com os dados reais observados e calculados.

Um exemplo disso seriam os valores de medições pluviométricas, atrelados às variações das medições dos níveis d'água em determinada seção, correspondente a interferência deste evento de chuva. Neste caso, a calibração exigiria informar esta chuva ao modelo, e ajustar os parâmetros de forma a gerar níveis de acordo com aqueles reais obtidos em campo. As medições de níveis d'água existentes não possuem referência geográfica, impossibilitando a comparação entre os valores. Devido à inconsistência dos dados disponíveis, a calibração não pôde ser feita com exatidão. Essa questão será melhor abordada no capítulo seguinte.

5 Descrição dos cenários

A análise das propostas será feita a partir da comparação entre os resultados obtidos no MODCEL. Para isso foi necessário criar três cenários, possibilitando a representação das diferentes situações sugeridas. Um cenário representa a situação atual, outro simula os efeitos da barragem, e um terceiro permite a análise dos efeitos da requalificação fluvial parcial do rio.

Com a finalidade de observar se a eficiência das medidas propostas é limitada pela magnitude do evento, cada um dos cenários será simulado com duas chuvas de projeto, somando um total de seis cenários a serem estudados, como listado abaixo:

Cenário 1.a) Situação atual com chuva de tempo de recorrência de 25 anos.

Cenário 1.b) Situação atual com chuva de tempo de recorrência de 100 anos.

Cenário 2.a) Barragem com chuva de tempo de recorrência de 25 anos.

Cenário 2.b) Barragem com chuva de tempo de recorrência de 100 anos.

Cenário 3.a) Requalificação parcial fluvial com chuva de tempo de recorrência de 25 anos.

Cenário 3.b) Requalificação parcial fluvial com chuva de tempo de recorrência de 100 anos.

A simulação de um mesmo cenário para duas chuvas diferentes viabiliza uma comparação entre os níveis d'água atingidos nas planícies da cidade de Resende para as duas medidas propostas. Os principais objetivos desta medida são:

-Avaliar as consequências do dimensionamento da barragem para uma chuva de 25 anos na ocorrência de uma chuva de TR=100 anos.

-Comparar a eficiência das medidas propostas para o evento de maior tempo de recorrência (cenários 2b e 3b).

Os parâmetros utilizados na caracterização de cada cenário foram definidos de forma a aproximá-los da situação que se pretende simular.

Na representação das planícies pertencentes à cidade de Resende, não foi considerada a interferência da microdrenagem. Devido à escolha da escala de discretização da bacia, julgou-se irrelevante a contribuição da microdrenagem para a análise dos resultados.

Outra premissa, de grande importância para a modelação, foi a condição de contorno de vazão e cota do rio Paraíba do Sul. No intuito de simular uma situação crítica para o sistema, foram escolhidos como condições de contorno, os valores máximos de cota e vazão sugeridos para o trecho de Resende. Segundo as Regras de Operação para Controle de Cheias da ONS, a vazão máxima defluente da barragem de Funil que não trará danos a cidade de Resende é de 850 m³/s, o que corresponde à cota de 390.3 metros nas imediações do rio Sesmaria. Estes valores configuram uma situação extrema, onde a capacidade de escoamento do rio Paraíba do Sul se encontra no seu limite.

Durante a criação dos cenários observou-se que mesmo propondo medidas severas para reduzir os alagamentos em Resende, os mesmos continuavam significativos. Isso foi observado não só na simulação de um cenário utópico de requalificação fluvial parcial, onde se propôs a recuperação da mata ciliar junto ao rio Sesmaria e o reflorestamento completo de toda a bacia dos rios Feio e Formoso, uma área de aproximadamente 100 km², como também na simulação de uma barragem de grande altura com orifício de área insignificante, considerando então, que todo o escoamento ficaria acumulado a jusante desta barragem fictícia. Os cenários acima descritos apresentaram alagamentos significativos nas planícies de Resende, o que indica que o trecho do Rio Sesmaria compreendido na área urbana da cidade de Resende não possui capacidade para escoar pequenas vazões. Tanto para o cenário 2 como para o cenário 3 optou-se por acabar com os estrangulamentos presentes no corpo hídrico, mantendo uma largura mínima de dez metros e retirando os sedimentos que se acumularam no rio através do aprofundamento de um metro na extensão do rio Sesmaria em Resende. Essas mudanças foram aplicadas no trecho compreendido entre as células 100 e 110, correspondente ao segmento que passa pela área urbana de Resende.

Os cenários serão descritos nos itens a seguir.

5.1 Cenário 1: Situação Atual

Como o nome indica, representa a bacia do rio Sesmaria como ela se encontra hoje. O objetivo deste cenário é representar a realidade da bacia, para que se possa entender como ela se comporta na situação dos eventos pluviométricos escolhidos, e assim, fornecer uma base para a implementação dos cenários 2 e 3.

A calibração da bacia do rio Sesmaria deveria ter sido realizada com base na comparação entre os resultados obtidos, a partir da modelação do cenário atual, juntamente com os dados de chuva da região e das cotas medidas no rio Sesmaria e em seus afluentes. A partir de comparações entre a resposta gerada pelo modelo e as medições, seriam sugeridas alterações nos parâmetros, até que a diferença entre estes chegasse a valores tão pequenos quanto se desejasse.

Não foi possível, porém, realizar a calibração deste modelo. Apesar da região e suas proximidades conterem cerca de nove estações pluviométricas, algumas com series históricas, não há dados consistentes das medições de níveis d'água encontrados na bacia. Então, escolheu-se realizar uma calibração parcial, onde os dados obtidos foram comparados com os alagamentos registrados na cidade de Resende nos dias das fortes chuvas. A calibração exerce influência direta na escala de análise que se deseja fazer dos resultados. A insuficiência de dados para calibração pouco influencia a análise aqui proposta, uma vez que o objetivo principal deste trabalho é comparar os resultados dos alagamentos para as duas medidas propostas, a partir da mesma base.

O anexo X apresenta as tabelas com os coeficientes utilizados para caracterizar as células que compõem a bacia.

5.2 Cenário 2: Barragem de controle de cheias

O cenário 2 possui muitas características semelhantes ao cenário 1. A grande diferença é a inserção de uma pequena barragem e a retirada de sedimentos acumulados em um trecho do rio Sesmaria que inviabilizavam a condução de pequenas vazões, como explicado anteriormente.

A localização da barragem fictícia se deu a partir de uma análise cuidadosa do terreno. Foram levados em consideração aspectos como declividade do rio, área alagada, e volume de armazenamento do reservatório.

Em um primeiro momento, ao analisar o perfil do rio Sesmaria, procurou-se posicionar o eixo da barragem em um local onde a declividade fosse mais acentuada, de forma a minimizar a área a ser alagada pelo reservatório. Contudo, os trechos de maiores declividades estão localizados mais a montante do rio Sesmaria, de forma que a jusante da barragem a área de contribuição permaneceu grande, gerando alagamentos consideráveis na cidade.

Depois procurou-se posicionar a barragem em um vale encaixado próximo à cidade de Resende, com o intuito de minimizar a contribuição das planícies. Esta proposta, no entanto, resultou em uma extensa área alagada pelo reservatório, pois a montante da barragem existia uma vasta área plana.

Levando em consideração esses dois aspectos buscou-se alocar a barragem não muito longe da cidade de Resende, para que a contribuição da região a jusante desta não fosse de grande significância. Mas também que se encontrasse numa região, onde as declividades do rio e planícies não fossem pequenas, de tal forma a obter um reservatório de grande volume, sem alagar uma vasta área. Além disso, procurou-se um vale encaixado, onde a largura da barragem é menor, buscando assim minimizar os custos de construção e manutenção, aumentando sua viabilidade econômica. Foi escolhido, então, um local a 12 km da cidade de Resende para o posicionamento do eixo da barragem, como pode ser visto na figura 5.1.

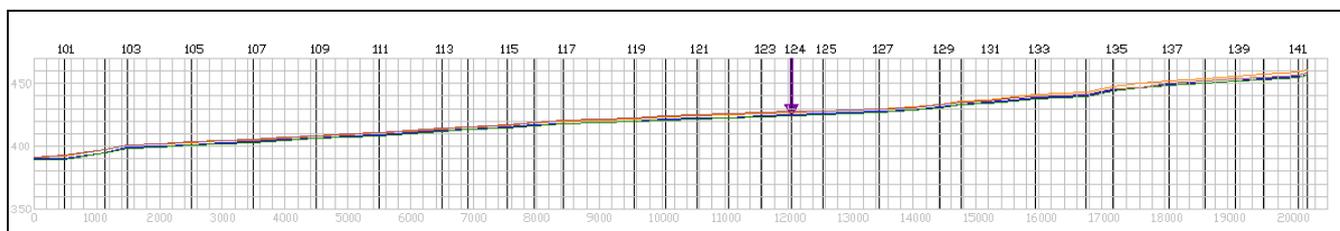


Figura 5.1: Localização da barragem no perfil longitudinal do rio Sesmaria

Esta localização corresponde à fronteira entre as células 123 e 124 do rio Sesmaria. A montante desse trecho existe uma região de planície que se pretende alagar para a formação do reservatório (figura 5.2).

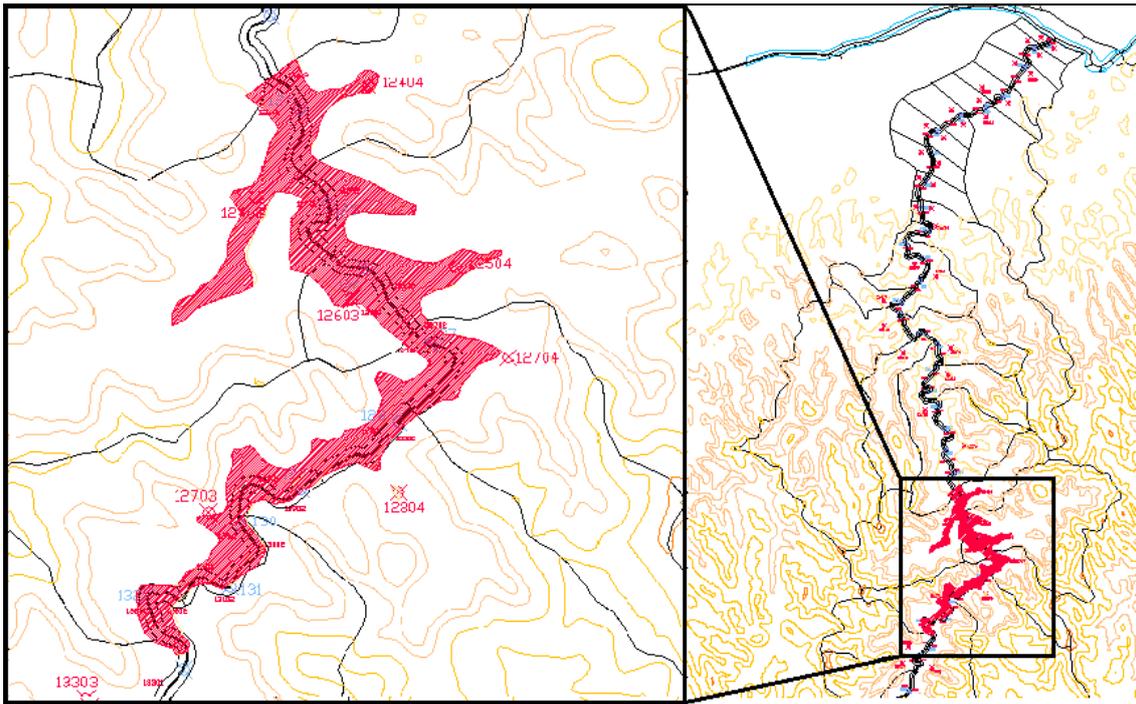


Figura 5.2: Vista em planta da área do reservatório

Para a determinação das características da barragem como cota da crista e área e do orifício, foram testados alguns cenários diferentes, seguindo as recomendações do Ministério das cidades, como apresentado no item 3.1.1. Foram analisadas diversas combinações de altura da barragem e área de orifício, visando conseguir os menores resultados para os alagamentos na cidade de Resende. Obteve-se um reservatório de dimensões de altura do barramento igual a 10.5 metros e comprimento de coroamento igual a 65 metros. Foi proposto um único orifício situado a cinquenta centímetros do fundo do rio, com área de 0.3 m². A área alagada pelo reservatório é de 0.8 km², e o seu volume aproximado é 1.540.000 m³.

A representação da barragem foi feita através da mudança do tipo de ligação entre as células 124 e 123, que antes se comunicavam através de uma ligação do tipo Canal, e agora passam a se comunicar por uma ligação tipo Reservatório. As células de faixa marginal de proteção neste ponto não mais se comunicam com as células a jusante, e todo o escoamento agora deve passar pelo orifício ou pelo vertedouro.

A ligação de reservatório permite a introdução de elementos importantes, tais como área do orifício, cota do orifício, cota de vertimento, largura de vertimento, etc.

Os valores utilizados na descrição deste cenário são apresentados em tabelas contidas no anexo XI.

5.3 Cenário 3: Requalificação fluvial parcial

A requalificação fluvial parcial sugere alterações em aspectos físicos da bacia. Essas mudanças devem diminuir a velocidade do escoamento no rio Sesmaria, aumentar significativamente a infiltração nas faixas marginais de proteção (FMP) e nas regiões onde foi proposto o reflorestamento, além de dificultar o escoamento e o aporte de sedimentos que ocorre entre as planícies e os rios dessa bacia.

Tais mudanças são representadas neste cenário por alterações nos coeficientes de Manning e de *runoff*.

No caso das células de faixa marginal de proteção, o reflorestamento da mata ciliar foi traduzido pela diminuição do coeficiente de *runoff*, que passou de 0.5 para 0.3, excluindo apenas as células de FMP que estão na área urbana de Resende.

O aumento do coeficiente de *runoff*, resultante do reflorestamento de algumas regiões e principalmente dos topos dos morros, foi determinado através de uma ponderação em função da área a ser reflorestada e a área total de cada uma das células. Esta ponderação levou em consideração o *runoff* de 0.15 (floresta) nas áreas reflorestadas e 0.4 nos pastos, gramíneas e encostas. Os coeficientes de Manning foram recalculados a partir da equação de Ven Te Chow, como explicado no item 4.3.3.1. Desta vez, foi levada em conta a recuperação da mata ciliar ao longo da maioria dos trechos dos rios Sesmaria e São João, o que resultou no aumento do valor deste coeficiente.

Parte das células de FMP está no perímetro urbano de Resende. Como esta região é ocupada por edificações, não foi proposta a desapropriação e o reflorestamento nesse trecho. Como tais desapropriações seriam demasiado complicadas, preferiu-se um cenário que não sugere a realização de obras e procedimentos dentro da cidade para que não esbarrassem em questões legais e políticas. Assim o coeficiente de Manning entre as ligações das células de canal e o *runoff* das células de FMP não foi alterado neste trecho. Neste cenário também foi considerada a mudança das dimensões da calha do rio Sesmaria como explicado no início deste capítulo.

A preparação deste cenário se deu em etapas. Em uma primeira simulação sugeriu-se uma requalificação fluvial parcial, onde apenas as faixas marginais de proteção e os topos de morro seriam reflorestados. Então, utilizando a planta altimétrica, as áreas correspondentes ao terço superior dos morros foram obtidas. O que viabilizou o cálculo do coeficiente de *runoff*, que ficou próximo ao valor de 0.38.

Os resultados obtidos foram pouco expressivos, observou-se que esta escolha desta área de reflorestamento não foi suficiente, pois os alagamentos em Resende continuaram apresentando valores insatisfatórios.

A partir de então, foram testados diversos cenários até que foi encontrado um cenário admissível, que leva em consideração um reflorestamento um pouco maior do que aquele realizado apenas nos topos de morro, e também que pouco interfere nas áreas rurais. Foi feita uma ponderação entre as áreas reflorestáveis e as áreas rurais, para se encontrar um valor equivalente para o coeficiente de *runoff* como já mencionado anteriormente. Estes dados podem ser observados nas tabelas no anexo XII.

A comparação dos valores escolhidos para os coeficientes de Manning e runoff, na caracterização dos cenários descritos anteriormente, pode ser observada nas tabelas a baixo. Ressalta-se que os coeficientes utilizados no cenário atual são os mesmos que descrevem o cenário da barragem de controle de cheias.

Tabela 5.1: Coeficientes de *runoff* utilizados na descrição dos cenários atual e requalificação fluvial parcial

Células das planícies:				Runoff atual:	Runoff requalificação:	
Sesmaria FPM trecho urbano (10001 a 10901)				0.5	0.5	
Sesmaria FPM (11001 a 14201)				0.5	0.3	
Sesmaria FPM trecho urbano (10002 a 14202)				0.5	0.5	
Sesmaria FPM (10102 a 14202)				0.5	0.3	
Sesmaria Urbanizada (10003 a 10903)				0.75	0.75	
Sesmaria Urbanizada (10004 a 10304)				0.75	0.75	
Sesmaria Média urbanização (10404 a 10704)				0.6	0.4	
Sesmaria Não urbanizada (10804 a 13804)				0.4	0.4	
Sesmaria Não urbanizada (11003 a 13903)				0.4	0.4	
Formoso (30003 a 31405)				0.4	0.275	
Formoso (30004 a 31406)				0.4	0.275	
Feio (40003 a 41305)				0.4	0.275	
Feio (40004 a 41304)				0.4	0.275	
São João (20001 a 20101)				0.25	0.222	
São João (20002 a 20004)				0.25	0.222	
Exceções (Requalificação):	Célula:	Runoff:	Célula:	Runoff:	Célula:	Runoff:
	10804	0.25	12504	0.3	13804	0.3
	10904	0.3	12703	0.3	30506	0.15
	11003	0.2	12704	0.3	31204	0.2
	11404	0.2	12804	0.3	31304	0.2
	11503	0.275	13004	0.275	31403	0.2
	11504	0.3	13303	0.15	31405	0.2
	11603	0.275	13403	0.15	31406	0.25
	11804	0.3	13503	0.3	40604	0.15
12404	0.2	13704	0.275	41305	0.2	

Observa-se que nas áreas urbanizadas o coeficiente não foi alterado e nas regiões de planície dos rios afluentes a mudança foi significativa. Existem algumas células (exceções), onde o coeficiente é menor, pois trata-se de regiões onde é possível um maior reflorestamento, como por exemplo regiões que não possuem fazendas ou núcleo urbano.

Tabela 5.2: Coeficiente de Manning das ligações entre as células de canal do rio Sesmaria, nos cenários atual e requalificação fluvial parcial

	Ligação:		Manning atual:	Manning requalificação:
	10	100	0.07	0.07
	100	101	0.0518	0.0518
	101	102	0.0667	0.0667
	102	103	0.0633	0.0633
	103	104	0.0633	0.0633
	104	105	0.043	0.043
	105	106	0.043	0.043
	106	107	0.033	0.033
	107	108	0.033	0.033
	108	109	0.033	0.033
	109	110	0.038	0.038
	110	111	0.0495	0.0713
	111	112	0.0585	0.0962
	112	113	0.0429	0.0806
	113	114	0.038	0.0713
	114	115	0.0559	0.0806
	115	116	0.038	0.0713
	116	117	0.038	0.0713
	117	118	0.043	0.062
	118	119	0.0552	0.0771
	119	120	0.038	0.0713
	120	121	0.0429	0.0806
	121	122	0.0429	0.0962
	122	123	0.038	0.0851
	123	124	0.038	0.0851
	124	125	0.0559	0.0806
	125	126	0.0713	0.0713
	126	127	0.043	0.062
	127	128	0.0633	0.0851
	128	129	0.055	0.074
	129	130	0.0518	0.0851
	130	131	0.043	0.062
	131	132	0.0585	0.0962
	132	133	0.038	0.0713
	133	134	0.045	0.074
	134	135	0.0495	0.0713
	135	136	0.0495	0.0713
	136	137	0.0713	0.0713
	137	138	0.0495	0.0713
	138	139	0.038	0.0713
	139	140	0.033	0.062
	140	141	0.0559	0.0806
	141	142	0.0429	0.0806

Tabela 5.3: Coeficiente de Manning das ligações entre as células de canal do rio Formoso, nos cenários atual e requalificação fluvial parcial

Rio Formoso	Ligação:		Manning atual:	Manning requalificação:
	142	300	0.069	0.069
	300	301	0.057	0.0713
	301	302	0.0495	0.0713
	302	303	0.0495	0.0713
	303	304	0.0559	0.0806
	304	305	0.0559	0.0806
	305	306	0.038	0.0713
	306	307	0.038	0.0713
	307	308	0.0429	0.0806
	308	309	0.0429	0.0806
	309	310	0.0426	0.0759
	310	311	0.0426	0.0759
	311	312	0.0564	0.0897
	312	313	0.0679	0.0897
	313	314	0.0541	0.0759

Tabela 5.4: Coeficiente de Manning das ligações entre as células de canal do rio Feio, nos cenários atual e requalificação fluvial parcial

Rio Feio	Ligação:		Manning atual:	Manning requalificação:
	142	400	0.0805	0.0805
	400	401	0.062	0.062
	401	402	0.062	0.062
	402	403	0.0713	0.0713
	403	404	0.0495	0.0713
	404	405	0.0585	0.0962
	405	406	0.0429	0.0806
	406	407	0.0495	0.0713
	407	408	0.038	0.0713
	408	409	0.0585	0.0962
	409	410	0.0851	0.0851
	410	411	0.0541	0.0759
	411	412	0.0426	0.0759
412	413	0.0541	0.0759	

Tabela 5.5: Coeficiente de Manning das ligações entre as células de canal do rio São João, nos cenários atual e requalificação fluvial parcial

Rio São João	Ligação:		Manning atual:	Manning requalificação:
	136	200	0.0667	0.1104
	200	201	0.0713	0.115

Na análise comparativa dos coeficientes de Manning, observa-se que em algumas ligações o coeficiente não foi alterado, por se tratar dos trechos dentro da região urbanizada de Resende ou de trechos em que exista vegetação nas margens (essa informação foi obtida através do uso do programa Google Earth). Nas demais ligações é apresentado um aumento considerável do coeficiente, resultante da recomposição vegetal das margens.

6 Resultados

A análise dos resultados será feita através da explanação das respostas obtidas para cada cenário, seguida da comparação entre os efeitos de cada projeto proposto.

Os alagamentos máximos atingidos podem ser observados nas manchas de alagamento, tabelas e cotogramas, que apresentam os maiores valores de nível d'água nas imediações de Resende.

Além disso, serão apresentados os hidrogramas dos rios para cada cenário.

As células que se comunicam com o rio Paraíba do Sul apresentaram níveis mais altos em todos os cenários. Tal fato pode ser explicado, porque foi considerada uma situação extrema para o rio Paraíba do Sul, influenciando diretamente o nível d'água ao seu redor. As células 10001, 10002, 10003 e 10004 não são, portanto, representativas para a análise aqui proposta.

6.1 Cenários

6.1.1 Cenário 1a: Situação atual – TR=25 anos

Os níveis de alagamento resultantes do cenário atual são compatíveis com o esperado, atingindo valores altos da ordem de 1.4 m nas faixas marginais de proteção, e valores entre 0.02 e 1.5 m nas planícies urbanizadas.

A tabela 6.1 apresenta os valores dos alagamentos máximos atingidos nas faixas marginais de proteção e nas planícies situadas dentro do perímetro urbano de Resende.

Tabela 6.1: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 1a

CENÁRIO 1: SITUAÇÃO ATUAL - TR = 25 anos								
FMP margem esquerda	10101	10201	10301	10401	10501	10601	10701	10801
	0,84	0,60	0,65	1,00	1,03	1,03	1,05	0,85
FMP margem direita	10102	10202	10302	10402	10502	10602	10702	10802
	0,48	0,32	0,36	0,62	0,63	0,63	0,70	0,46

Planície margem esquerda	10103	10203	10303	10403	10503	10603	10703	10803
	0,34	0,13	0,22	0,50	0,53	0,54	0,54	0,36
Planície margem direita	10104	10204	10304	10404	10504	10604	10704	10804
	0,04	0,04	0,06	0,15	0,13	0,13	0,18	0,02

A mancha de alagamento e os hidrogramas gerados por este cenário podem ser observados no anexo XIII.

6.1.2 Cenário 1b: Situação atual – TR=100 anos

Conforme esperado, o alagamento resultante da chuva de tempo de recorrência de 100 anos é superior àquele observado no cenário 1a. Esta diferença é da ordem de 10 cm, o que poderá ser observado nos cotogramas apresentados no item 6.2 neste mesmo capítulo.

A tabela 6.2 apresenta os valores dos alagamentos máximos atingidos nas faixas marginais de proteção e nas planícies situadas dentro do perímetro urbano de Resende.

Tabela 6.2: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 1b

CENÁRIO 1: SITUAÇÃO ATUAL - TR = 100 anos								
FMP margem esquerda	10101	10201	10301	10401	10501	10601	10701	10801
	1,02	0,71	0,75	1,15	1,17	1,16	1,17	1,01
FMP margem direita	10102	10202	10302	10402	10502	10602	10702	10802
	0,67	0,46	0,50	0,77	0,76	0,75	0,81	0,61
Planície margem esquerda	10103	10203	10303	10403	10503	10603	10703	10803
	0,52	0,22	0,30	0,65	0,67	0,67	0,67	0,51
Planície margem direita	10104	10204	10304	10404	10504	10604	10704	10804
	0,17	0,06	0,12	0,28	0,26	0,25	0,29	0,07

A mancha de alagamento e os hidrogramas gerados por este cenário podem ser observados no anexo XIV.

6.1.3 Cenário 2a: Barragem de contenção de cheias – TR=25 anos

A barragem de contenção de cheias escolhida foi aquela que gerou os menores alagamentos.

Vale ressaltar que os alagamentos observados como resultado deste cenário não são decorrentes do dimensionamento da barragem, e sim de contribuições locais. Esta análise pôde ser feita a partir de um cenário auxiliar, apresentado no capítulo 5, no qual foi simulada uma situação hipotética. Esta simulação contou com uma barragem imaginária cuja cota de vertimento tende ao infinito e a área do orifício tende a zero. Assim, mesmo sem a contribuição da bacia a montante da barragem ainda se pôde observar alagamentos pequenos na cidade de Resende.

Os alagamentos máximos atingidos nas planícies variam entre 0.01 e 0.07 m, enquanto nas faixas marginais de proteção estes valores são um pouco mais altos mais altos, variando de 0.08 a 0.22 m.

Esta situação pode ser observada na tabela 6.3, que apresenta os alagamentos d'água máximos.

Tabela 6.3: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 2a

CENÁRIO 2: BARRAGEM - TR = 25 anos								
FMP margem esquerda	10101	10201	10301	10401	10501	10601	10701	10801
	0,12	0,10	0,08	0,11	0,11	0,10	0,09	0,06
FMP margem direita	10102	10202	10302	10402	10502	10602	10702	10802
	0,15	0,15	0,14	0,22	0,08	0,09	0,12	0,12
Planície margem esquerda	10103	10203	10303	10403	10503	10603	10703	10803
	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01
Planície margem direita	10104	10204	10304	10404	10504	10604	10704	10804
	0,02	0,03	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,01

A mancha de alagamento e os hidrogramas gerados por este cenário podem ser observados no anexo XV.

6.1.4 Cenário 2b: Barragem de contenção de cheias – TR=100 anos

Para a chuva de tempo de recorrência de 100 anos os alagamentos nas faixas marginais de proteção variam de 0.09 a 0.26 m, e nas planícies variam de 0.01 a 0.09 m. A cota do nível d'água na célula imediatamente a montante da barragem, ultrapassou a cota da crista em 67 centímetros. O aumento dos níveis d'água atingidos na cidade de Resende, embora pequeno, pode ser explicado pelo vertimento da barragem.

A tabela 6.4 apresenta os valores dos alagamentos máximos atingidos nas faixas marginais de proteção e nas planícies situadas dentro do perímetro urbano de Resende no cenário 2b.

Tabela 6.4: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 2b

CENÁRIO 2: BARRAGEM - TR = 100 anos								
FMP margem esquerda	10101	10201	10301	10401	10501	10601	10701	10801
	0,14	0,11	0,09	0,13	0,13	0,12	0,11	0,09
FMP margem direita	10102	10202	10302	10402	10502	10602	10702	10802
	0,18	0,18	0,17	0,26	0,10	0,11	0,14	0,14
Planície margem esquerda	10103	10203	10303	10403	10503	10603	10703	10803
	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01
Planície margem direita	10104	10204	10304	10404	10504	10604	10704	10804
	0,02	0,03	0,04	0,09	0,02	0,02	0,02	0,01

A mancha de alagamento e os hidrogramas gerados por este cenário podem ser observados no anexo XVI.

6.1.5 Cenário 3a: Requalificação fluvial parcial – TR=25 anos

O cenário 3a mostrou que as técnicas propostas no projeto de requalificação parcial diminuiriam significativamente os alagamentos nas planícies urbanizadas da cidade de Resende, principalmente na margem esquerda. Os valores dos níveis máximos atingidos nas planícies variam entre 0.01 e 0.19 metros. Embora apresentem

níveis muito mais baixos, nas faixas marginais de proteção os alagamentos continuam. É possível observar uma diferença entre os níveis da margem direita e esquerda, o que é explicado pela diferença de cota entre elas.

A tabela 6.5 apresenta os valores dos alagamentos máximos atingidos nas faixas marginais de proteção e nas planícies situadas dentro do perímetro urbano de Resende no cenário 3a.

Tabela 6.5: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 3a

CENÁRIO 3: REQUALIFICAÇÃO PARCIAL - TR = 25 anos								
FMP margem esquerda	10101	10201	10301	10401	10501	10601	10701	10801
	0,26	0,29	0,28	0,57	0,49	0,51	0,54	0,51
FMP margem direita	10102	10202	10302	10402	10502	10602	10702	10802
	0,27	0,16	0,14	0,22	0,09	0,11	0,12	0,11
Planície margem esquerda	10103	10203	10303	10403	10503	10603	10703	10803
	0,19	0,04	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04
Planície margem direita	10104	10204	10304	10404	10504	10604	10704	10804
	0,02	0,03	0,02	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01

A mancha de alagamento e os hidrogramas gerados por este cenário podem ser observados no anexo XVII.

6.1.6 Cenário 3b: Requalificação fluvial parcial – TR=100 anos

Quando se considera uma chuva de tempo de recorrência de 100 anos, os resultados obtidos não são tão satisfatórios quanto os do cenário 3a. Se por um lado os alagamentos nas planícies são baixos, por outro os níveis d'água nas faixas marginais de proteção alcançaram níveis altos.

A tabela 6.6 apresenta os valores dos alagamentos máximos atingidos nas faixas marginais de proteção e nas planícies situadas dentro do perímetro urbano de Resende no cenário 3b.

Tabela 6.6: Alagamentos máximos em Resende - Cenário 3b

CENÁRIO 3: REQUALIFICAÇÃO PARCIAL - TR = 100 anos								
FMP margem esquerda	10101	10201	10301	10401	10501	10601	10701	10801
	0,45	0,46	0,42	0,79	0,73	0,74	0,75	0,61
FMP margem direita	10102	10202	10302	10402	10502	10602	10702	10802
	0,46	0,25	0,24	0,40	0,33	0,34	0,33	0,14
Planície margem esquerda	10103	10203	10303	10403	10503	10603	10703	10803
	0,38	0,09	0,22	0,28	0,23	0,25	0,25	0,11
Planície margem direita	10104	10204	10304	10404	10504	10604	10704	10804
	0,04	0,03	0,03	0,08	0,02	0,02	0,02	0,01

A mancha de alagamento e os hidrogramas gerados por este cenário podem ser observados no anexo XVIII.

6.2 Análise dos resultados

A seguir serão apresentados os cotogramas de algumas das células de faixa marginal de proteção, referentes aos cenários a) TR=25 anos.

Para as faixas marginais de proteção foi adotado um valor de referência igual a 15 cm acima da cota de fundo da célula de cada planície. Alagamentos abaixo deste valor podem ser considerados aceitáveis por não causarem tantos transtornos.

No caso das células de planície urbanizada o valor de referência considerado foi de 5 cm, por se tratarem de grandes áreas que não estão muito próximas à calha do rio.

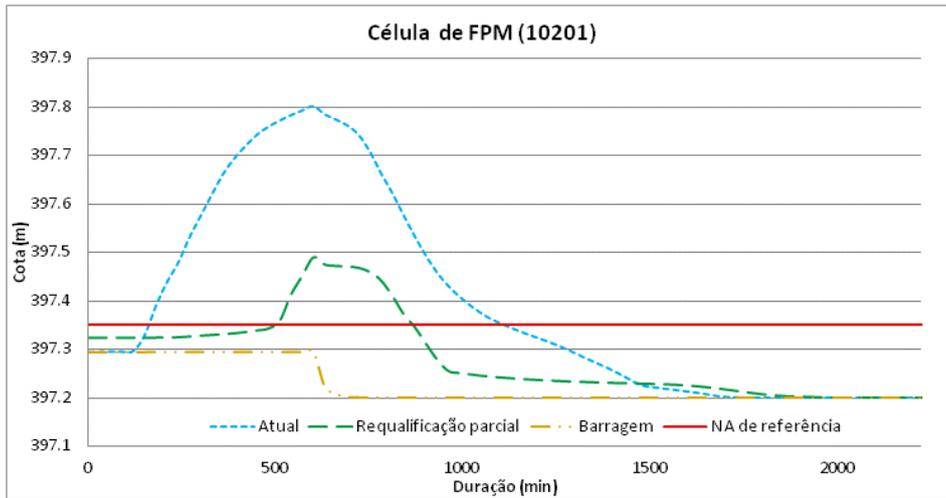


Figura 6.1: Cotagrama da célula 10201 (margem esquerda) TR= 25 anos

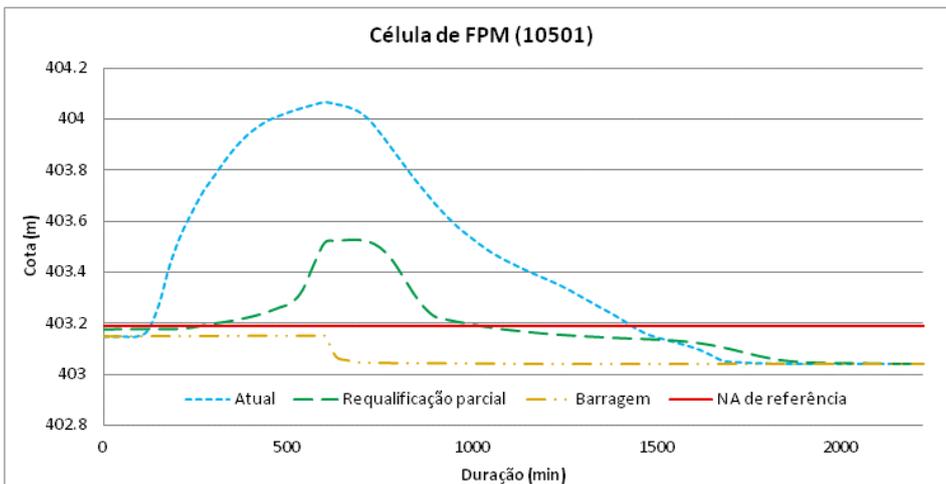


Figura 6.2: Cotagrama da célula 10501 (margem esquerda) TR= 25 anos

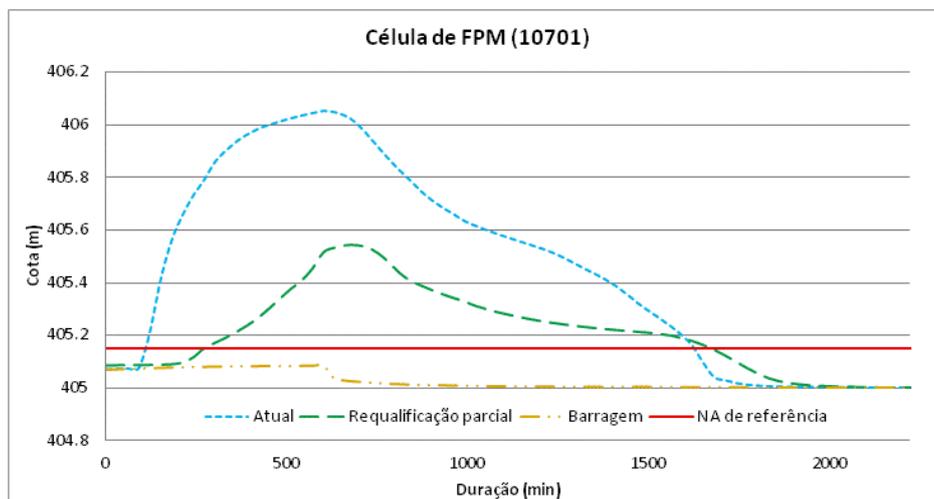


Figura 6.3: Cotagrama da célula 10701 (margem esquerda) TR= 25 anos

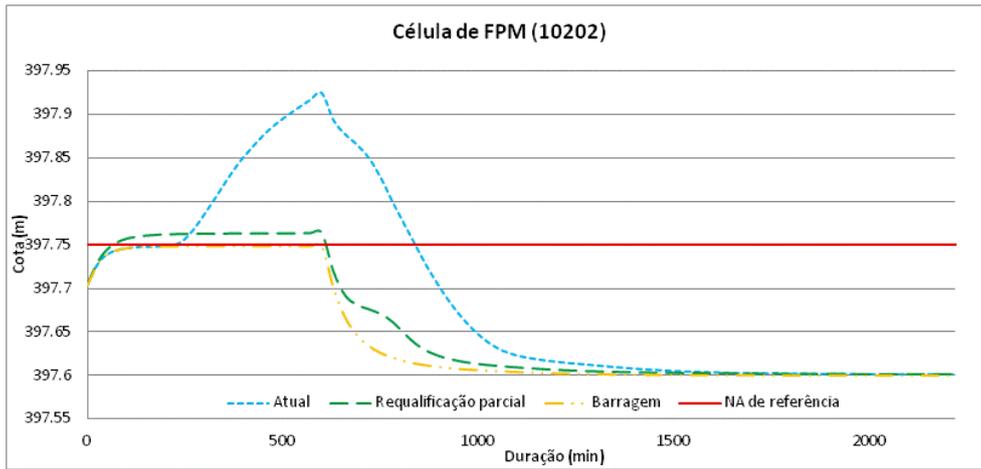


Figura 6.4: Cotagrama da célula 10202 (margem direita) TR= 25 anos

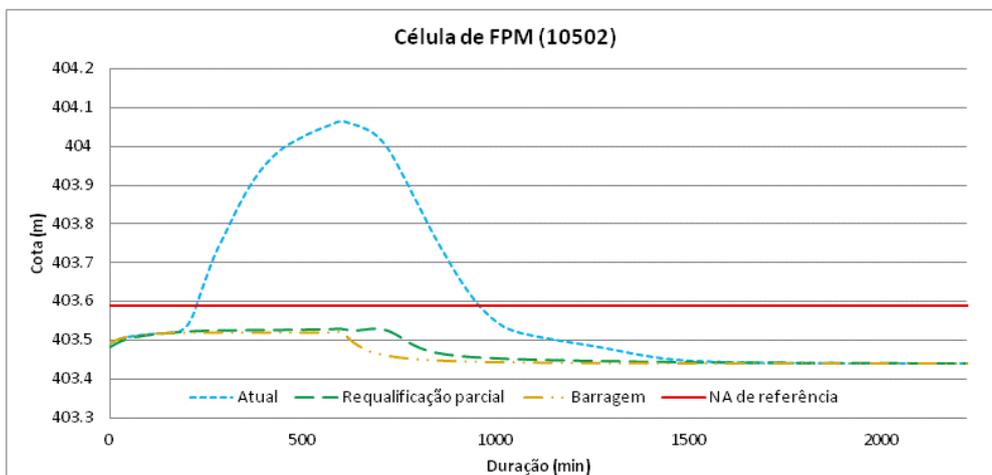


Figura 6.5: Cotagrama da célula 10502 (margem direita) TR= 25 anos

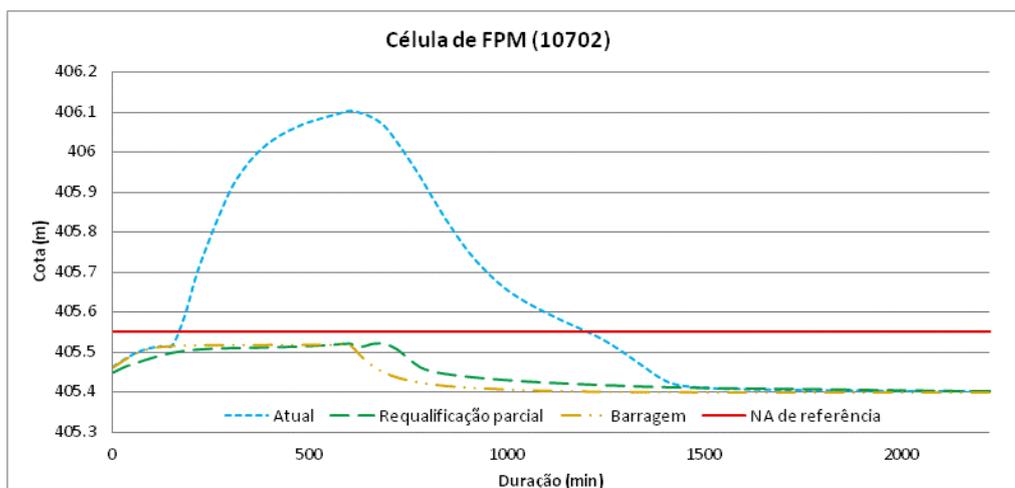


Figura 6.6: Cotagrama da célula 10702 (margem direita) TR= 25 anos

Analisando os cotagramas das faixas marginais de proteção, observa-se que os níveis atingidos no Cenário 2: Barragem de contenção de cheias nunca ultrapassam o NA de referência. Já no cenário 3: Requalificação fluvial parcial, os níveis d'água ultrapassam o NA de referência durante alguns intervalos de tempo. Contudo, o período em que o nível d'água ultrapassa o valor de referência é sempre muito menor do que o do cenário atual.

O mesmo comportamento descrito acima foi observado nas outras células de faixa marginal de proteção, contudo, foram selecionadas apenas três células em cada margem para representar esta situação.

Os cotagramas apresentados a seguir são referentes à uma célula de planície representativa.

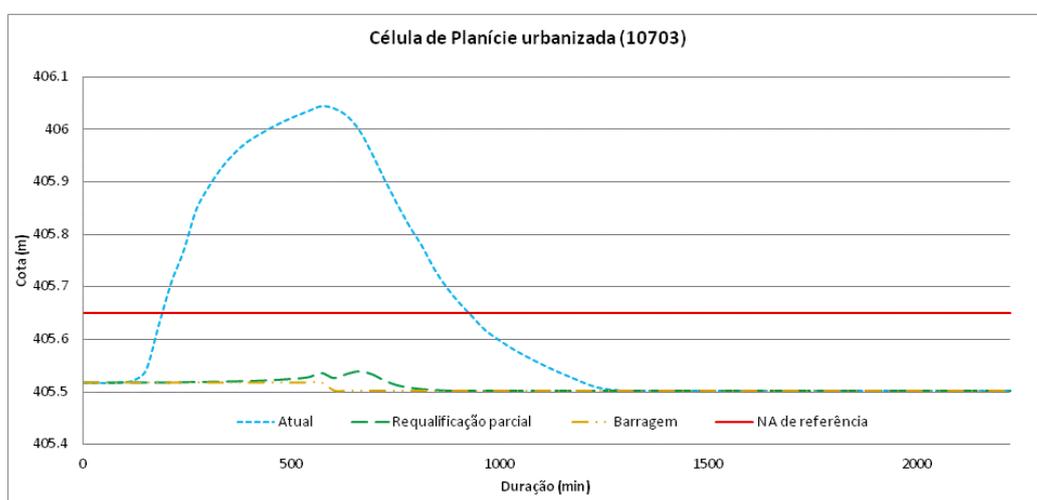


Figura 6.7: Cotograma da célula 10703 (margem esquerda) TR= 25 anos

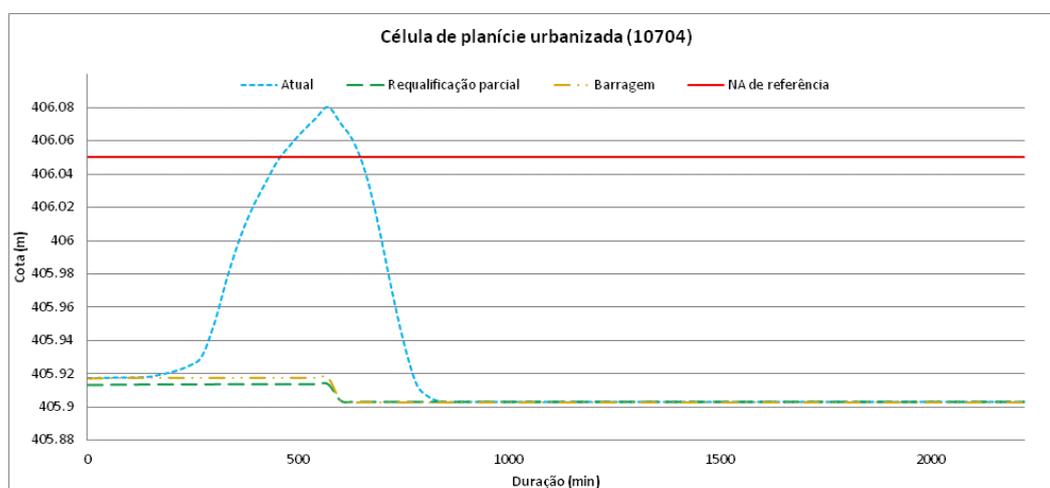


Figura 6.8: Cotograma da célula 10704 (margem direita) TR= 25 anos

Os gráficos a seguir representam os cotagramas de algumas das células de faixa marginal de proteção, referentes aos cenários b) TR=100 anos.

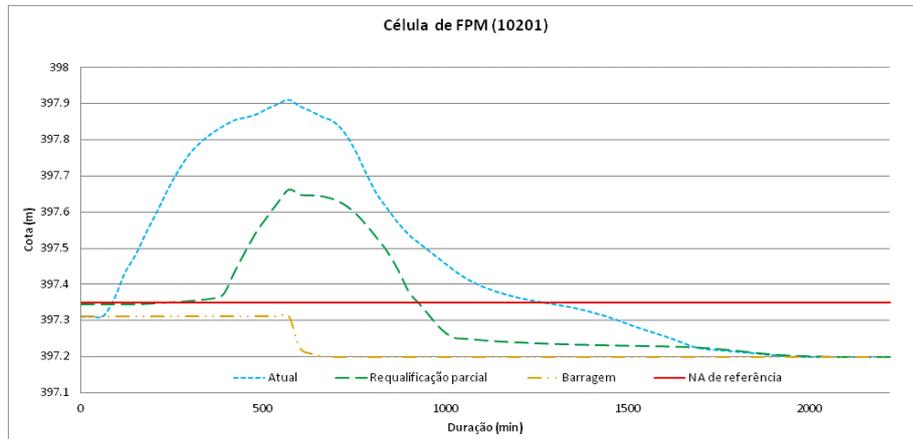


Figura 6.9: Cotograma da célula 10201 (margem esquerda) TR= 100 anos

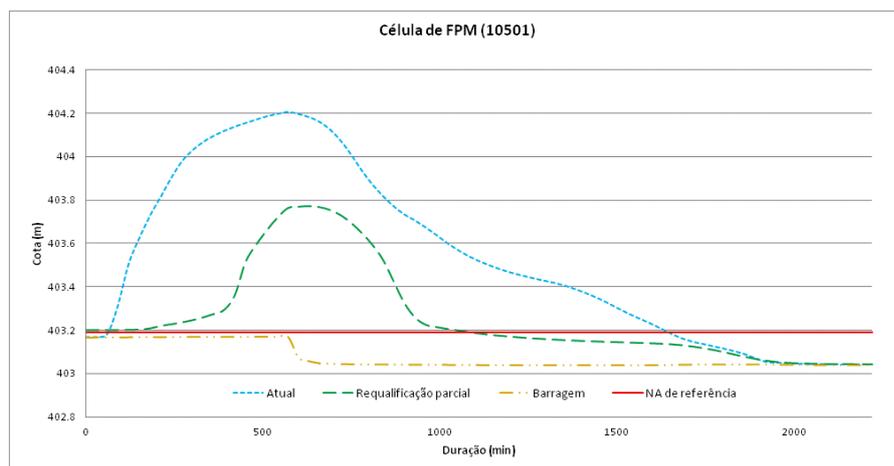


Figura 6.10: Cotograma da célula 10501 (margem esquerda) TR= 100 anos

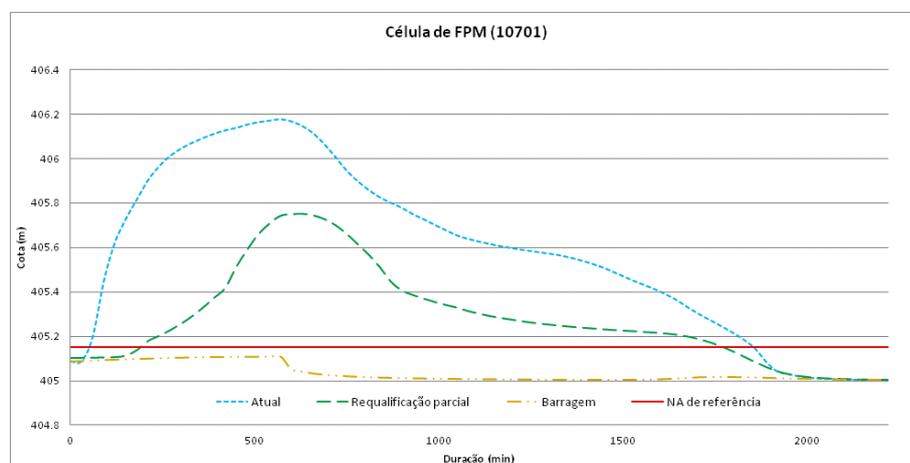


Figura 6.11: Cotograma da célula 10701 (margem esquerda) TR= 100 anos

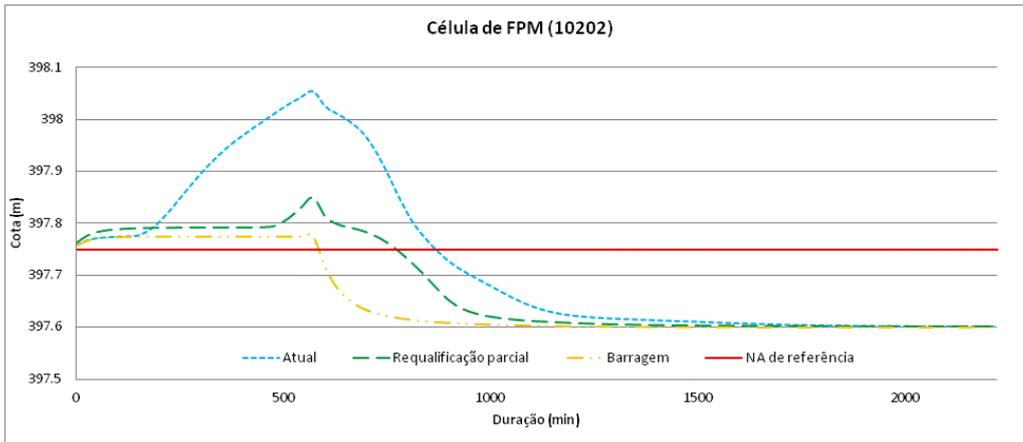


Figura 6.12: Cotagrama da célula 10202 (margem direita) TR= 100 anos

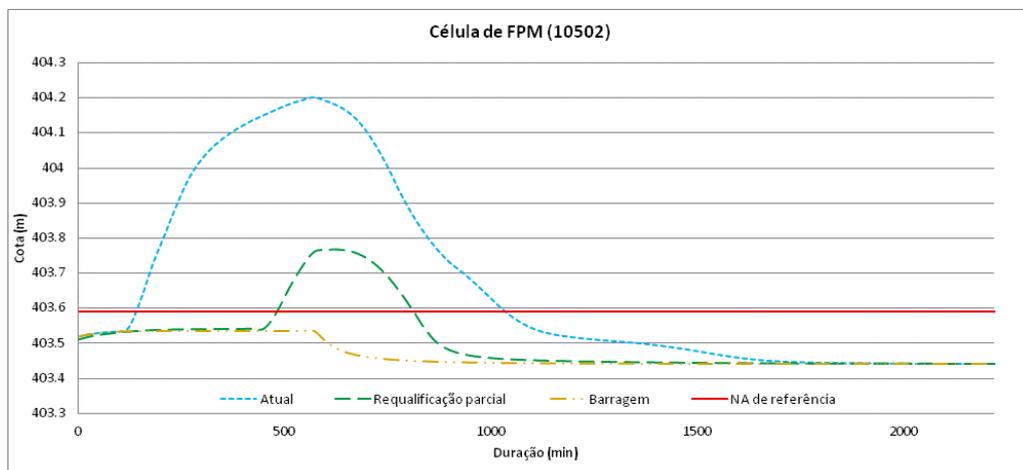


Figura 6.13: Cotagrama da célula 10502 (margem direita) TR= 100 anos

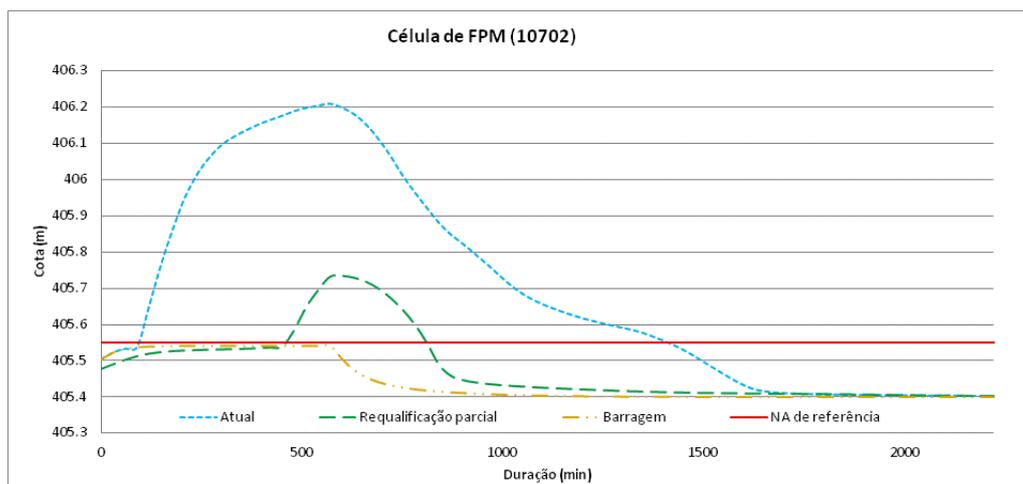


Figura 6.14: Cotagrama da célula 10702 (margem direita) TR= 100 anos

Assim como observado nos cenários correspondentes ao TR=25 anos, aqui os níveis atingidos na requalificação ultrapassam o NA de referência, a duração dos alagamentos, porém, é maior neste caso. Além disso, os níveis máximos atingidos são maiores.

A barragem de contenção de cheias continua com valores satisfatórios, sem ultrapassar o NA de referência na maioria das células.

Os cotogramas apresentados a seguir são referentes à uma célula de planície representativa.

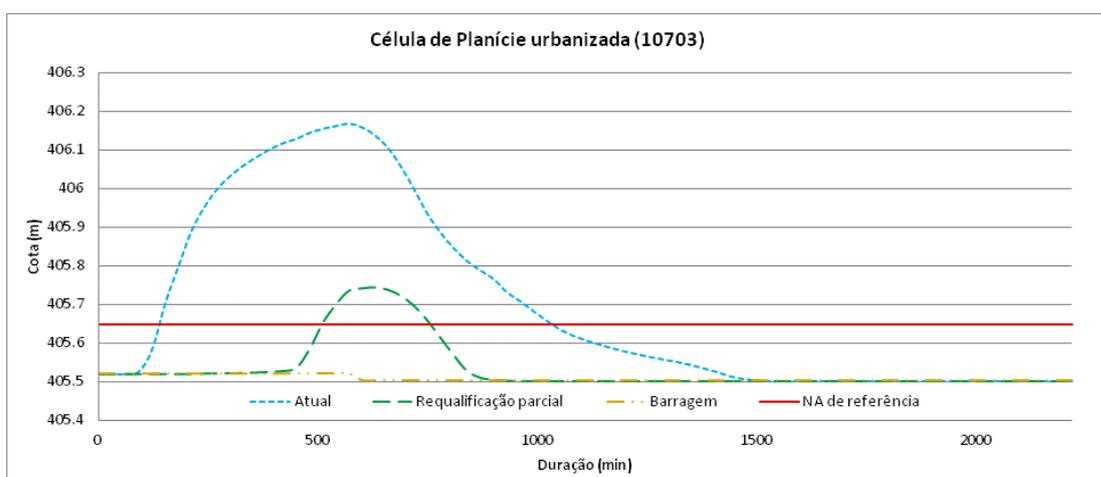


Figura 6.15: Cotograma da célula 10703 (margem esquerda) TR= 100 anos

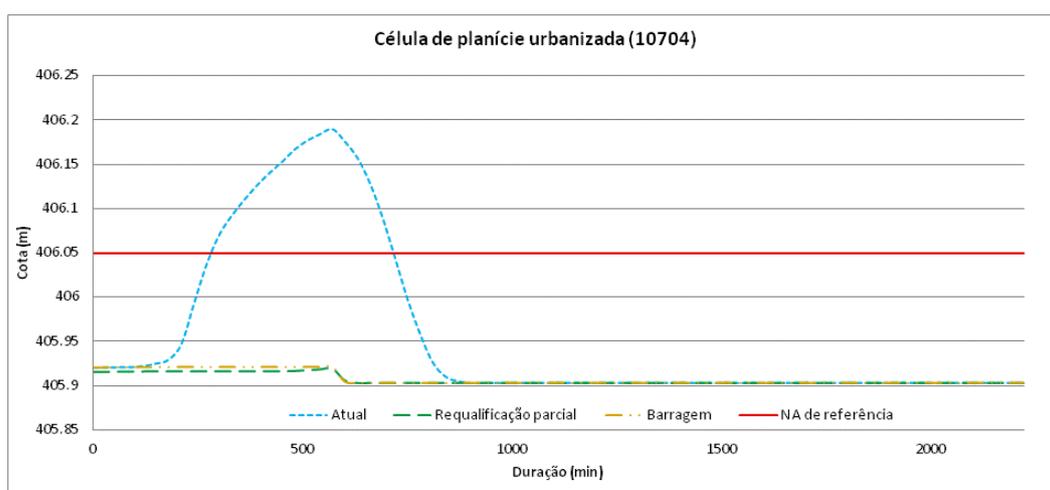


Figura 6.16: Cotograma da célula 10704 (margem direita) TR= 100 anos

No caso das planície urbanizadas, para o tempo de recorrência igual a 100 anos os alagamentos resultantes das medidas propostas são consideravelmente menores do que os observados na situação atual.

A barragem continua apresentando resultados satisfatórios. Já a requalificação fluvial se mostra menos eficiente. Apesar de os níveis d'água serem inferiores aos níveis do cenário atual, observa-se um alagamento maior nas células da margem esquerda. No caso específico da célula 10703 (planície urbanizada – margem esquerda) nota-se que, durante quatro horas, o nível d'água ultrapassa o NA de referência. Contudo, a duração deste alagamento é muito inferior àquela observada no cenário atual, que chega a 14 horas. Este comportamento se repete na maioria das células de planície urbanizada da margem esquerda contidas dentro da cidade de Resende. Tal fenômeno pode ser explicado pelas cotas de fundo dessas células, que são inferiores às da margem direita.

Analisando os hidrogramas do rio Sesmaria (anexos XIII, XIV, XV, XVI, XVII e XVIII) observa-se que o cenário da requalificação fluvial amortece a cheia, o que justifica a pequena duração dos alagamentos gerados por estes cenários.

7 Conclusões

A análise comparativa entre a eficiência das medidas propostas aponta que do ponto de vista hidráulico a barragem de controle de cheias é mais eficiente do que a requalificação parcial, por gerar alagamentos menores de uma maneira geral.

Contudo, é imprescindível ressaltar que a escolha de uma barragem de controle de cheias como medida de mitigação implica em várias conseqüências ambientais e sociais negativas para a bacia, tais como o alagamento de uma grande área e a realocação das famílias que residem nas imediações do reservatório proposto. Além disso, qualquer barragem necessita manutenções periódicas, o que sugere gastos durante toda a sua vida útil. Em oposição a isso, a requalificação fluvial parcial utiliza técnicas sustentáveis cujos impactos na bacia são positivos não só para o meio ambiente, como também para a vida das populações ribeirinhas.

Além de induzir uma falsa sensação de segurança nas populações que vivem nas cercanias dos rios, a utilização de barragens de controle de cheias como medida de mitigação para enchentes não é uma alternativa que atua na raiz do problema, e sim uma medida paliativa. O risco associado à ocorrência de eventos pluviométricos, que superem a chuva para a qual uma barragem é projetada, é muito grande, e as conseqüências de uma situação como esta podem ser muito mais desastrosas do que os estragos causados pelas enchentes em rios que não possuem barragens para controle de cheias.

Uma das principais conclusões que esta análise permite é que a ocupação das faixas marginais de proteção têm conseqüências graves para as cidades. A preservação da mata ciliar na faixa marginal de proteção deve ser garantida, para assegurar o espaço necessário às mudanças na morfologia fluvial. É preciso tratar os rios como corpos dinâmicos, que precisam de espaço para suportar a grande variabilidade do regime fluvial. Os rios confinados perdem a capacidade de meandramento, fazendo com que os sedimentos sejam depositados em trechos de velocidades mais baixas, podendo gerar estrangulamentos artificiais e mudanças na profundidade do rio. Estes fatores diminuem a capacidade de escoamento dos canais retificados, aumentando a probabilidade de extravasamento dos rios na ocasião de chuvas. Além disso, a deposição de sedimentos nos canais retificados gera uma

necessidade de dragagens constantes, o que torna o custo de manutenção dos rios muito alto.

A definição das dimensões das faixas marginais de proteção é outro ponto que merece destaque. Os trinta metros estabelecidos pelo Código Florestal vigente não se mostraram suficientes para manter os alagamentos em níveis baixos. A definição do comprimento ideal, contudo, varia de acordo com o rio e a configuração da bacia, e é um tema que merece mais estudo.

Torna-se evidente também, a necessidade de se regulamentar e fiscalizar o uso que se faz do solo. É preciso evitar a ocorrência de grandes áreas impermeabilizadas nos centros urbanos, incentivando a construção de parques fluviais, praças, e a preservação de áreas verdes. Nas áreas rurais o ideal é evitar grandes extensões de monoculturas, intercalando os tipos de cultivo e preservando as vegetação nativa nos topos dos morros.

Levando-se em consideração todos os aspectos aqui abordados, a sugestão que se mostra mais razoável é aquela que propõe uma composição de medidas tradicionais e alternativas. As medidas tradicionais normalmente traduzidas em soluções estruturais possuem um caráter mais imediatista, enquanto as medidas alternativas como, por exemplo, a requalificação fluvial, são de extrema importância no sentido de estabelecer harmonia no ambiente urbano.

8 Recomendações

-Análise de viabilidade econômica das duas medidas propostas, como forma de influenciar a comparação entre elas.

-Estudo da dinâmica de sedimentos na bacia do rio Sesmaria. Analisando a implantação da requalificação fluvial, com o intuito de observar a variação do aporte de sedimentos para os rios, o que poderia diminuir os assoreamentos dos corpos d'água, influenciando os alagamentos em Resende.

-Estudo da implementação da requalificação fluvial na faixa marginal de proteção dentro das planícies urbanizadas de Resende, propondo desapropriações.

-Análise do comprimento da faixa marginal de proteção. Comparação entre o comprimento sugerido na lei, e um comprimento que poderia ser considerado ideal, ou definição de uma metodologia para a determinação do comprimento ideal para cada rio.

9 Bibliografia

ABREU. Marcelo Bueno de. Análise Espaço-temporal da Cobertura e Uso da Terra no Estado do Rio de Janeiro de 1994 até 2007. Rio de Janeiro. Julho de 2010.

BALSAN, Rosane. Impactos Decorrentes da Modernização da Agricultura Brasileira. Revista de geografia agrária, v. 1, n. 2, p. 123-151. Agosto de 2006.

BRIGHETTI, Giogio. Obras Fluviais. Departamento de Hidráulica, Escola Politécnica – USP. São Paulo.

CHOW. V.T. Open-channel hydraulics. International Student Edition Copyright 1973. 21st printing 1985.

COELHO NETTO. A.L. (2003): “Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): Bases para um Modelo de Formação e Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural.” Rev. Bras. Geomorfologia. Ano 4(2): 118-167.

DANTAS. M.E. (1995): “Controles naturais e antropogênicos na sedimentação fluvial, espacialmente não uniforme, na bacia do rio Bananal (SP/RJ): médio vale do rio Paraíba do Sul.” Dissertação (mestrado) PPGG/IGEO/UFRJ. 142p.

DE MAGALHÃES, LUIZ PAULO CANEDO Modelo Integrado para Simulação de Sistemas Hídricos. Rio de Janeiro, 2005.

DIRETRIZES PARA AS REGRAS DE OPERAÇÃO DE CONTROLE DE CHEIAS - BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL (CICLO 2010-2011). ONS RE 3/181/2010.

ICOLD. 80 ANOS. Barragem para o Desenvolvimento Humano Sustentável. traduzido. Paris. França. 2008.

LEI nº 12.334 de 20 de setembro de 2010; 189º da Independência e 122º da República. Brasília. 2010.

LEI nº 4.771. de 15 de setembro de 1965 (Já alterada pela Lei Federal nº 7803. de 18 de julho de 1989 que revoga as Leis nºs 6.535. de 15 de junho de 1978. 7.511. de 7 de julho de 1986). Brasília. 1986.

MAGALHÃES. L.P.C.; MIGUEZ. M.G.; MASCARENHAS. F.C.B.; MAGALHÃES. P.C.; BASTOS. E.T. ; COLONESE. B.L. Sistema Hidro-Flu para Apoio a Projetos de Drenagem. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 2005. João Pessoa. Anais do XVI SBRH. Porto Alegre: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2005.

MIGUEZ. M. G.. Modelação Matemática de Grandes Planícies de Inundação. através de um Esquema de Células de escoamento. com Aplicação ao Pantanal Mato-Grossense. 1994. Dissertação (Mestrado) - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 1994.

MIGUEZ. M. G.. Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas. 2001. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2001.

Ministère de l'Environnement, Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire. Le Gouvernement Du Grand-Duché de Luxembourg. Bureau d'Etudes Micha Bunusevac. Renaturation des Cours D'Eau et Restauration de Habitats Humides. Novembro. 2007

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistemática 2010/2011. Manual para Apresentação de Propostas. Programa – 1138. Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial.

Modelação de Cheias Urbanas – Manual do Usuário do Modelo de Escoamento de Células de Escoamento. versão 5.0. UFRJ. Rio de Janeiro. 2003.

OLIVEIRA. Ricardo C. N.. Carta do Rio SesmariaSesmaria. Protocolo 130801005657201023 - Ministério da Procuradoria Federal. Resende. 2010.

PIRES, Aline Veról. Simulação da Propagação de Onda Decorrente de Ruptura de Barragem, Considerando a Planície de Inundação Associada a Partir da Utilização de um Modelo Pseudo-Bidimensional / Aline Pires Veról. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

REZENDE, Osvaldo Moura. Avaliação de Medidas de Controle de Inundações em um Plano de Manejo Sustentável de Águas Pluviais aplicado à Baixada Fluminense. Dissertação (Mestrado) - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2010.

ROSGEN, David L., P.H., Ph.D./ Wildland Hydrology, Inc. CROSS-VANE, W-WEIR, and J-HOOK VANE Structures (Updated 2006)/ Description, Design and Application for Stream Stabilization and River Restoration.

ROSMAN. P. C. C.. Apostila Aspectos Morfológicos de Rios e Estabilidade de Canais de Maré – UFRJ. Rio de Janeiro. 2010.

SATO. Anderson Muluto. Respostas geo-hidroecológicas à substituição de pastagens por plantações de eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul: a interface biota-solo-água. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2008.

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável Estado do Rio de Janeiro. Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ. Rios e Córregos, Preservar – Conservar – Renaturalizar. Rio de Janeiro. Abril de 2001.

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável Estado do Rio de Janeiro. Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ. Revitalização de Rios 11 – Orientação Técnica. Rio de Janeiro. Outubro de 2001.

SOUZA. M. M.. Comparação entre Ferramentas de Modelagem Unidimensional e Quasi-Bidimensional. Permanente e Não-Permanente. em Planejamento e Projetos de Engenharia Hidráulica. Dissertação (Mestrado) - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2010.

Zampronio, Gustavo Bezerra Integração de Técnicas para Apoio à Gestão de Sistemas de Drenagem Urbana Aplicada a uma Bacia Hidrográfica no Município do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

ZONENSEIN, JULIANA Índice de Risco de Cheia como Ferramenta de Gestão de Enchentes - Rio de Janeiro, 2007.

Sites:

www.diariodovale.uol.com.br

www.ceivap.org.br

www.therrc.co.uk

<http://nrrss.nbio.gov>

www.epa.gov

www.cdlresende.com.br

www.jornalbeirario.com.br

www.deinfra.sc.gov.br

www.nordeste.tv

www.renovaresende.net

www.noticias.terra.com.br

www.folhafluminense.com

www.riosesmaria.blogspot.com

www.sfwmd.gov

www.pac.dfo-mpo.gc.ca

10 ANEXOS