

GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E DRENAGEM URBANA NO
MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DE MERITI: ANÁLISE ESPACIAL DO EFEITO DA
IMPLEMENTAÇÃO DE MICRORESERVATÓRIOS EM LOTES SOBRE AS
INUNDAÇÕES.

Marcelo Jaques Martins

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

Aprovada por:

Prof. Flávio Cesar Borba Mascarenhas, D.Sc.

Prof. Paulo Canedo de Magalhães, Ph.D.

Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc.

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

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO DE 2004

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

MARTINS, MARCELO JAQUES

Gerenciamento de Recursos
Hídricos e Drenagem Urbana no
Município de São João de Meriti: Análise
Espacial do Efeito da Implementação de
Microreservatórios em Lotes sobre as
Inundações [Rio de Janeiro] 2004.

IX, 136 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,
M.Sc., Engenharia Civil, 2004)

Tese - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE.

1. Drenagem Urbana,
2. Gerenciamento de Recursos Hídricos,
3. Enchentes Urbanas,
4. Microreservatórios em Lotes,
5. Modelação Matemática.

I. COPPE/UFRJ II. Título (série).

À minha esposa Ursulla.

Te amo.

Agradecimentos

A Deus, pela minha existência e por me abençoar a cada instante.

À minha esposa Ursulla meu reconhecimento pelo incentivo, companheirismo, apoio e compreensão. Quando ingressei no curso, era minha namorada. Mais tarde, minha noiva. Hoje, minha esposa. Sem sua ajuda não teria conseguido.

Aos meus pais Paulo e Regina, por todos os ensinamentos e valores a mim passados, e por me estimularem em todos os momentos.

Aos meus irmãos Mariane e Marcos, meus grandes amigos.

A todos os meus familiares e amigos, pelo incentivo e compreensão.

Ao Roberto, grande amigo e irmão, que tem imensa contribuição neste trabalho, desde o início e em todas as etapas. Em todos os momentos, trocando idéias, opiniões, ajudando nas simulações, na obtenção dos dados, visitas ao campo. Em fim, tudo.

Um agradecimento especial ao professor Paulo Canedo, por ser o principal motivador do trabalho, desde a concepção, durante a disciplina Simulação Hidrológica, e também com contribuições e orientação, além de todos ensinamentos passados.

Ao professor Marcelo Miguez, principal orientador do trabalho, agradeço por toda ajuda e orientação e também pela possibilidade de utilizar o Modelo de Células.

Outra pessoa importante, que não posso esquecer, é o amigo Rodrigo Campos. Quantas vezes eu e o Roberto testamos a paciência dele. Nos ajudou até nos primeiros rabiscos sobre os mapas, para a divisão de células. Sem mais esse orientador, ainda mais no início dos trabalhos, ia ser bem mais difícil. Para dar continuidade à ajuda que o Rodrigo deu, tivemos o Carlos, outro a quem temos que agradecer muito.

Ao professor Flávio Mascarenhas, além de orientador, sempre calmo e compreensivo, agradeço pela paciência nos momentos de dificuldades e pela orientação nos momentos decisivos.

A todas as pessoas da Prefeitura de São João de Meriti, principalmente a subsecretária de obras, Gilda Samuel, pela colaboração na obtenção de dados e em inspeções de campo.

Ao amigo Reynaldo, sempre presente.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo apoio financeiro fornecido durante este curso de mestrado.

A Eletrobrás, que na pessoa da Arlete Rodarte Neves, gerente da Divisão de Recursos Hídricos e Inventário, possibilitou e incentivou a continuidade deste trabalho após o meu ingresso na empresa.

Ao professor José Paulo, coordenador da Área de Recursos Hídricos, pela oportunidade de ingressar no curso e por sempre estar ao lado dos alunos dando todo apoio e incentivo, além de ensinamentos e contribuições.

A todos os amigos do LHC e da secretaria da COPPE, especialmente Raul, Franklin, Marli, Jairo, Rita e Beth.

Aos amigos do curso de mestrado, turma de 2001, pela ótima convivência, ajuda e ensinamentos mútuos: Pedro Ivo, Cid, Rafael, Karen, Fernanda, Renata, Grace, Lídia, Kátia, Eliane, Nelson, Juliana, Medina, Moema, Andréia, Alexandre.

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

GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E DRENAGEM URBANA NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DE MERITI: ANÁLISE ESPACIAL DO EFEITO DA IMPLEMENTAÇÃO DE MICRORESERVATÓRIOS EM LOTES SOBRE AS INUNDAÇÕES.

Marcelo Jaques Martins

Agosto/2004

Orientador: Flávio Cesar Borba Mascarenhas

Programa: Engenharia Civil

Os estudos de inundações urbanas vêm sofrendo alterações conceituais em todo o mundo. A forma tradicional de abordagem e solução dos problemas, com obras de canalização, somente transferem as enchentes para jusante. A drenagem urbana agora agrega o conceito do desenvolvimento sustentável e, assim, os aspectos sociais e ambientais são considerados justapostos às concepções técnicas. O gerenciamento dos recursos hídricos aponta para necessidade de análise da bacia hidrográfica como um todo, sendo a unidade de estudo e planejamento a ser considerada. As intervenções estruturais são voltadas para práticas de infiltração e controle das vazões na fonte. Os aspectos da qualidade da água do escoamento superficial são analisados simultaneamente às soluções quantitativas, principalmente nos países desenvolvidos.

Este trabalho avalia a implementação de microreservatórios em lotes de forma distribuída no Município de São João de Meriti, apresentando resultados positivos de amortecimento de volume e conseqüente redução dos níveis de água, após avaliação inicial dos locais mais efetivos para esta implementação. Para realizar os estudos, utiliza-se o Modelo de Células da UFRJ como uma ferramenta computacional que pode ser empregada para subsidiar a tomada de decisão no gerenciamento de recursos hídricos, já que possibilita a análise espacial e combinada das intervenções, fundamental para a aplicação eficiente dos recursos disponíveis, principalmente nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

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

WATER RESOURCE MANAGEMENT AND URBAN DRAINAGE IN SÃO JOÃO DE MERITI CITY: SPACIAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE IMPLEMENTATION OF SMALL DETENTION RESERVOIRS OVER FLOODS.

Marcelo Jaques Martins

August/2004

Advisor: Flávio Cesar Borba Mascarenhas

Department: Civil Engineering

The concepts considered in urban flood control measures over the world have been changing. Traditional solutions like channeling only transfer flood problems downstream. Urban drainage nowadays comprehends the concepts of sustainable development, and so, besides technical concepts, social and environmental aspects are also considered. Water resource management solutions require a global watershed analysis, being the study and planning unit. Structural implementations considers infiltration practices as well as on site storm water detention. Run off water quality aspects are analyzed at the same time as quantitative ones, mainly in developed countries.

This work evaluate the implementation of on site small detention reservoirs distributed though São João de Meriti City, that reveal positive results providing mitigation of the amount of water and reduction of water levels, after a preliminary estimation of the most effective places so as to receive implementations. This work looks forward to apply these premises by using a flow cell simulation model from UFRJ as a computation tool that can be used as a water resource management decision tool, which allows the decision makers an spatial analysis of the design practices, which is extremely important to the efficient application of the investments, specially in developing countries, like Brazil.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	ASPECTOS TEÓRICOS DE DRENAGEM URBANA	6
2.1	Introdução.....	6
2.2	Impactos da Urbanização Sobre as Águas de uma Bacia Hidrográfica.....	7
2.2.1	Queda na Qualidade da Água.....	8
2.2.2	Mudança na Recarga dos Aquíferos Subterrâneos	8
2.2.3	Degradação dos Canais.....	9
2.2.4	Aumento da Frequência de Cheias.....	9
2.2.5	Expansão das Áreas Inundáveis.....	10
2.3	Drenagem Urbana Sustentável	10
2.4	Os Microreservatórios em Lotes.....	12
3	ÁREA DE ESTUDO – O MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DE MERITI	15
3.1	Breve Histórico da Origem e Ocupação do Município.....	15
3.2	Aspectos da Urbanização e Crescimento Populacional	18
3.2.1	Crescimento Populacional	18
3.3	Aspectos Atuais de Ocupação Populacional e Drenagem Urbana	20
3.4	Aspectos da Qualidade da Água	22
3.5	Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica.....	24
4	METODOLOGIA ADOTADA	26
4.1	Concepção Geral do Trabalho	26
4.2	Aspectos Locais de Inspeção de Campo.	30
4.3	O Modelo Matemático	34
4.3.1	Histórico do Modelo	34
4.3.2	Descrição do Modelo	35
4.4	Configuração do Modelo	41
4.4.1	Condições Iniciais.	42
4.4.2	Condições de Contorno	42
4.4.3	Chuva de Projeto	43
4.5	Obtenção dos Dados para Modelagem, Calibração e Simulações.	46
4.5.1	Os Microreservatórios em Lotes.	50
4.5.2	Grupos de Células para Simulação dos Microreservatórios em Lotes.	51
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	56
5.1	Metodologia para Análise dos Resultados	56
5.2	Análise dos Resultados com Relação a cada Grupo.	58
5.2.1	Região do GRUPO 1.....	58
5.2.2	Região do GRUPO 2.....	60
5.2.3	Região do GRUPO 3.....	62
5.2.4	Região do GRUPO 4.....	63
5.2.5	Região do GRUPO 5.....	65
5.2.6	Região do GRUPO 6.....	67
5.2.7	Região do GRUPO 7.....	69
5.2.8	Região do GRUPO 8.....	70
5.2.9	Região do GRUPO 9.....	72
5.2.10	Região do GRUPO 10.	73
5.2.11	Região do GRUPO 11.	75
5.2.12	Região do GRUPO 12.	76
5.2.13	Região do GRUPO 13.	78
5.2.14	Região do GRUPO 14.	79
5.2.15	Região do GRUPO 15.	81
5.2.16	Região do GRUPO 16.	82
5.2.17	Região do GRUPO 17.	84
5.2.18	Região do GRUPO 18.	85
5.2.19	Região do GRUPO 19.	87

5.2.20	Região do GRUPO 20.	89
5.2.21	Região do GRUPO 21.	90
5.2.22	Região do GRUPO 22.	92
5.2.23	Região do GRUPO 23.	94
5.2.24	Região do GRUPO 24.	96
5.2.25	Região do GRUPO 25.	97
5.2.26	Região do GRUPO 26.	99
5.2.27	Região do GRUPO 27.	100
5.2.28	Região do GRUPO 28.	102
5.3	Análise Geral dos Resultados.	103
6	ESTUDO DAS COMBINAÇÕES.	107
6.1	Análise dos Resultados para as Combinações nas Áreas Problemáticas. ...	108
6.1.1	Região do Grupo 6.	109
6.1.2	Região do Grupo 8.	110
6.1.3	Região do Grupo 10.	110
6.1.4	Região do Grupo 12.	111
6.1.5	Região do Grupo 15.	112
6.1.6	Região do Grupo 17.	112
6.1.7	Região do Grupo 18.	113
6.1.8	Região do Grupo 20.	114
6.1.9	Região do Grupo 21.	114
6.1.10	Região do Grupo 23.	115
6.1.11	Região do Grupo 24.	116
6.1.12	Região do Grupo 26.	117
6.1.13	Região do Grupo 28.	118
6.1.14	Outras Regiões Afetadas pelas Combinações.	119
6.2	Análise Geral das Combinações.	119
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.	122
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	126
	ANEXO A: MÉTODO DO SOIL CONSERVATION SERVICE.	130

1 INTRODUÇÃO.

Ao longo da história das civilizações, o homem buscou construir as cidades próximas aos rios ou nascentes, de forma a facilitar a captação de água e garantir o suprimento para consumo e outros usos, até porque inicialmente não havia desenvolvimento tecnológico e construtivo suficiente para a realização de grandes obras de adução para o abastecimento.

Essa necessidade de ocupar as áreas de várzea vem trazendo prejuízos à humanidade, haja vista que essas regiões são alvo de cheias naturais, que extravasam a calha menor do rio e ocupam a calha maior, alcançando cotas superiores. Ao longo dos tempos, pelo fato de essas cheias estarem associadas a tempos de recorrência de ordem de grandeza muitas vezes não perceptíveis ao ciclo de vida humana, ou seja, imperceptíveis a algumas gerações, e por não serem normalmente registradas por meio de medições hidrométricas, as regiões por elas alcançadas não foram reconhecidas pelo homem como local natural de escoamento de um rio. O homem desrespeitava a variação natural de vazão em um rio e assim muitas vezes as cidades ocupavam estas regiões baixas, e assim ficava sujeito às cheias de maiores períodos de recorrência.

Exemplos históricos de inundações remetem ao antigo Egito, devido à grande variação no regime hidrológico de vazões do rio Nilo, causando grandes danos materiais e humanos às cidades marginais. Por outro lado, as cheias traziam materiais orgânicos e mantinham a fertilidade das terras marginais ao rio, de forma que obras foram realizadas para o gerenciamento destas águas de forma que não causassem danos e trouxessem prosperidade para a civilização egípcia. Da mesma forma ocorreu na antiga Mesopotâmia, que se localizava entre os rios Tigres e Eufrates e por esse motivo era assolada com freqüentes inundações, ainda piores quando o regime de cheias dos dois rios coincidia.

Mas de uma forma geral, apesar da necessidade de ocupação destas áreas de várzea ao longo dos séculos, a abundância de recursos naturais e espaço terrestre relacionado ao reduzido número de habitantes do planeta e baixa densidade demográfica das cidades fez com que o homem não tivesse a preocupação devida com o correto uso do solo e ocupação habitacional em uma bacia hidrográfica, já que

estes fenômenos hidrológicos não eram freqüentes, como citado anteriormente, e havia plena existência de espaço para construção nas cidades, já que a maior parte da população adotava o modo de vida rural.

Desta forma, esta facilidade de acesso aos recursos e ao espaço físico foi prática até os dias de hoje e aliada à falta de planejamento urbano sob o aspecto hidrológico ou mesmo a ignorância quanto aos fenômenos naturais associados, e ainda à explosão demográfica nos últimos séculos fez com que esses problemas se tornassem mais freqüentes, principalmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento.

Nos últimos séculos, a população mundial tem crescido em grandes proporções, assim como a ocupação do solo. A explosão demográfica mundial e o surgimento de megalópoles e metrópoles, na maioria dos casos sem o devido planejamento urbano e observância dos aspectos hidrológicos das cheias naturais, que limitariam essa ocupação do espaço, fez com que chuvas de menores magnitudes agora causem cheias, em particular nos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, onde a prática de ocupar as áreas marginais é comum. Desta forma, grandes enchentes artificiais periodicamente assolam cidades pelo mundo, apesar de estarem ligadas a eventos chuvosos de baixos tempos de recorrência, o que torna o problema mais freqüente e grave.

Nos países desenvolvidos esses problemas são menos freqüentes, devido à estabilização e até redução no crescimento demográfico e ao planejamento urbano, mas não são inexistentes. Na atualidade, países como os Estados Unidos, Japão e a Alemanha se preocupam com a qualidade da água proveniente do escoamento superficial, e não apenas com a questão das inundações por ele causadas. No Brasil, esta questão ainda não é considerada em profundidade, pelo fato do problema quantitativo ainda ser extremamente grave e de ainda ocorrer lançamento de esgoto bruto nos corpos de água (POMPÊO, 2000).

No Brasil, a urbanização se iniciou principalmente a partir do início do século XX e se intensificou a partir da década de 70, devido ao acelerado crescimento econômico do país. As cidades receberam construções e cresceram sem o adequado planejamento para o uso do solo, a partir do momento que receberam a migração de população do campo. Em poucos anos, a população rural, que era de cerca de 80% do total do país passou a ser pouco superior a 30%. Com a explosão demográfica nas cidades e a falta de políticas governamentais, as margens dos rios passaram cada vez mais a

serem ocupadas, devido à falta de espaço e à especulação imobiliária, e, assim, alterações nos regimes fluviais foram a consequência, em decorrência da diminuição da área molhada das calhas e da alteração da rugosidade dos canais, além das alterações em toda a área da bacia, principalmente a retirada da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo.

O crescimento das cidades aumenta a impermeabilização dos terrenos e assim a capacidade de infiltração é reduzida, de forma que uma precipitação intensa resulta em maiores valores de escoamento superficial. Devido à impermeabilização e ao aumento do escoamento superficial, o pico das cheias é majorado e o tempo de chegada do mesmo é reduzido, assim como o tempo de base. Assim, os hidrogramas têm seus formatos alterados para forma próxima à de um triângulo de altura maior do que a base.

Esse aumento do escoamento superficial relacionado à ocupação de áreas marginais aos rios agrava a cada momento o problema das enchentes urbanas.

Os conceitos usualmente utilizados relacionados com a construção de obras na calha do rio, na maior parte dos casos, normalmente somente transferem o problema da cheia para jusante, pois aceleram o escoamento das águas a partir do trecho das obras, reduzindo o tempo de chegada da cheia, mas torna o mesmo coincidente em pontos a jusante com a chegada de cheias de outras sub-bacias e, desta forma, o resultado acaba sendo um aumento no pico da cheia nestes pontos mais baixos. Além disso, tais intervenções normalmente envolvem custos elevados, além de problemas ambientais devido aos resíduos sólidos e a interligação de condutos pluviais e com os sistemas de esgoto, o que normalmente ocorre no Brasil.

Segundo Genz e Tucci (Genz, Tucci, 1995), o controle de enchentes na fonte, ou seja, a partir dos lotes unitários, deve ser utilizado de forma a reduzir a vazão efluente de determinado lote, tendo como meta a vazão de pré-urbanização, que é a vazão efluente do lote considerando-se a inexistência de construções. Desta forma, seria realizado o amortecimento das águas pluviais em nível de lote, evitando os problemas para os locais a jusante.

Nos últimos anos vêm sendo aplicados e desenvolvidos em todo o mundo, e mais efetivamente nos países desenvolvidos, novos conceitos de gerenciamento das águas do escoamento superficial em meio urbano. Conhecidas como "*best management*

practices” ou BMP, são classificadas como medidas estruturais e não estruturais, e têm como objetivo o amortecimento das cheias a partir da sua fonte e ainda a melhoria da qualidade da água proveniente do escoamento superficial. Essas intervenções têm como base microreservatórios de acumulação, filtros biológicos e químicos e práticas de infiltração e são dispostas de forma espacial e combinada na bacia, de forma a procurar-se através destas medidas se aproximar das vazões de pré-urbanização e ainda obter utilização secundária para as águas do escoamento superficial.

No Brasil, diversos estudos vêm sendo realizados com vistas a analisar a eficiência e aplicabilidade destas estruturas, mas em sua maior parte com o enfoque de amortecimento das cheias. Em países desenvolvidos, como há maior avanço sobre este aspecto, já se observa a preocupação com a qualidade da água e diversas aplicações práticas neste sentido.

Os erros de concepções das obras a serem realizadas se dão pela dificuldade de se estudar e analisar a bacia hidrográfica funcionando como um todo, de forma espacial, devido à limitação dos modelos matemáticos.

Desta forma, devido à necessidade de se ter um instrumento de gerenciamento de forma a indicar as intervenções a serem realizadas de acordo com as diversas regiões de uma bacia hidrográfica, e verificar intervenções que sejam concorrentes, que se anulem ou que se realizadas simultaneamente acarretem danos à rede de drenagem, propôs-se a utilização do Modelo de Células da UFRJ (Miguez, 2001).

Como região de estudo foi selecionada uma área pertencente ao Município de São João de Meriti, correspondente a uma parte da bacia do rio Sarapuí. O local foi escolhido pelas suas características de ser no Estado do Rio de Janeiro o município de maior densidade populacional e com índices sócio-econômicos abaixo da média do país, aliada à peculiar configuração topográfica, com a existência de diversos “morrotes” em forma de “meia laranja”, além de ser uma região constituída de alagados e manguezais até períodos anteriores à urbanização e sofrer influência da maré da Baía da Guanabara. Além disso, o rio Sarapuí foi canalizado a fim de que o escoamento fosse acelerado para a Baía de Guanabara. A grande urbanização ainda é afetada pela construção de “puxadinhos”, ou seja, a construção em áreas não ocupadas dentro de um mesmo lote residencial. Desta forma, ocorre a ocupação de grande parte da área e impermeabilização de praticamente toda a área disponível em um lote residencial. Por todas estas características, as inundações se tornaram

freqüentes e problemáticas, sob os aspectos sócio-econômicos, e desta forma, interessantes para serem objeto de intensos estudos.

A metodologia permite assim verificar intervenções em diversos pontos da bacia e ainda ratificar a utilização do Modelo de Células como instrumento de gerenciamento de recursos hídricos e planejamento de intervenções em drenagem urbana.

2 ASPECTOS TEÓRICOS DE DRENAGEM URBANA

2.1 Introdução.

O processo de urbanização tem profunda influência sobre o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica. Diversos estudos em drenagem urbana vêm sendo realizados em todo o mundo, nas últimas décadas, devido aos crescentes problemas associados à urbanização e aos aspectos da qualidade e quantidade da água das cheias relacionados ao uso do solo e às atividades humanas.

O desenvolvimento altera sensivelmente o ciclo hidrológico local. Ao analisar-se o recorte de um terreno natural e as alterações processadas no mesmo, observa-se que o balanço hídrico do local começa a sofrer mudanças a partir do instante em que se realiza o desmatamento de árvores e vegetação e retirada da camada superficial do solo, procedendo-se à planificação do terreno para iniciar-se uma construção. Árvores, vegetações rasteiras e plantações que interceptam e absorvem a chuva são removidas e depressões naturais que formavam pequenos microreservatórios temporários naturais de cheias são substituídos no processo de compactação do terreno e uniformização da declividade causada pela passagem das chuvas. Desta forma, o local perde a capacidade de retenção do escoamento, assim como a capacidade de infiltração do solo, e a chuva é mais rapidamente convertida em escoamento superficial, agora em uma parcela cada vez maior.

A situação piora após as construções. Telhados, áreas de estacionamento, ruas pavimentadas e outras superfícies impermeáveis não permitem mais a infiltração da chuva para o subsolo. Desta forma, a maior parte do volume da chuva é convertida em escoamento superficial. Esse processo é ilustrado pela Figura 2.1. O coeficiente de escoamento superficial cresce diretamente proporcional ao percentual de impermeabilização da bacia (SCHUELER, 1987).

O incremento no escoamento superficial acaba se tornando de uma magnitude tal que o sistema de drenagem natural não é capaz de suportar. Em conseqüência, o sistema de drenagem natural é freqüentemente redimensionado e substituído para coletar rapidamente o escoamento superficial e passá-lo adiante. Para isso, tradicionalmente são utilizados canais ou valas de concreto a céu aberto associadas a galerias ou tubulações de drenagem, além da retificação e/ou canalização dos próprios rios. Desta

forma, o *runoff* é descarregado para jusante em rios, lagos, microreservatórios ou estuários. Estas soluções, quando aplicadas a bacias intermediárias, em que as águas não são descarregadas diretamente em regiões costeiras, acabam por transferir o problema das cheias para jusante, e desta forma já não vem sendo práticas indicadas na maioria dos casos.

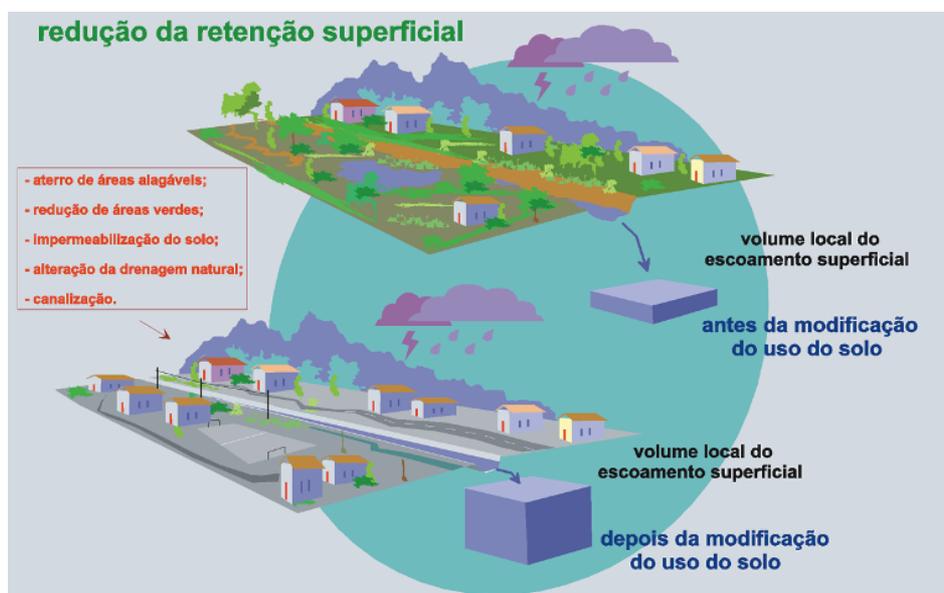


Figura 2.1 – Alterações no Balanço Hídrico (SEMADS, 2001).

Além dos problemas causados pela ocupação e impermeabilização dos terrenos, há como agravante a ocupação de regiões ribeirinhas e muitas vezes da calha maior do rio, área de inundações naturais. Como as águas de um rio somente ocupam estas áreas com frequências mais baixas, em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos estas áreas são encaradas falsamente como seguras e ocupadas por populações de baixa renda. Estas alterações na calha natural do rio acabam por causar redução da capacidade de vazão, pois, além das construções, há depósito de materiais diversos no leito do rio e despejo de esgoto clandestino e de resíduos sólidos.

2.2 Impactos da Urbanização Sobre as Águas de uma Bacia Hidrográfica

Um estudo do Departamento de Meio Ambiente do Estado de Maryland, nos Estados Unidos (MDE, 1998), descreve os principais aspectos hidrológicos afetados pelas alterações no balanço hídrico causadas pelas transformações em uma bacia hidrográfica, conforme resumido nos itens a seguir. A partir da alteração no balanço hídrico, os principais impactos causados pela urbanização são: a queda na qualidade

da água; a diminuição da recarga nos aquíferos subterrâneos e da qualidade da água do subsolo; degradação dos rios e canais, e conseqüentes alterações nas seções transversais, devido à erosão causada pelas crescentes vazões; crescimento do número de enchentes e transbordamentos; crescimento das áreas de inundação, etc.

2.2.1 Queda na Qualidade da Água.

As superfícies impermeáveis sofrem o acúmulo de partículas diversas da atmosfera, devido ao atrito dos pneus de veículos com o pavimento ou provenientes de áreas vizinhas, transportados pelos ventos; além de resíduos sólidos provenientes da ação inadequada do homem, devido à falta de conhecimento e educação ambiental.

Estes poluentes são lavados, em geral durante a primeira meia hora de uma chuva intensa, e assim carregados através da água para os rios, lagos e reservatórios. Os poluentes mais comuns são:

- nutrientes, como o fósforo e o nitrogênio, que causam a eutrofização dos diversos corpos de água;
- sólidos em suspensão, que são sedimentos depositados nas superfícies impermeáveis, provenientes de erosão das margens dos rios e ainda de locais em obra. Os sedimentos também transportam outros poluentes, além de causarem o assoreamento dos corpos d'água;
- matéria orgânica, que se levada pelas águas das chuvas pode causar problemas para os corpos de água pois diminuem os níveis de oxigênio dissolvido após sua decomposição, implicando em impacto adverso sobre o ecossistema aquático;
- bactérias, já que os níveis permissíveis de atividade bacteriana no escoamento superficial de chuvas são freqüentemente excedidos, quando comparados aos valores máximos de padrões definidos para o uso da água para o fim recreativo.

2.2.2 Mudança na Recarga dos Aquíferos Subterrâneos

A infiltração lenta da água da chuva através do solo é essencial para recarregar os aquíferos subterrâneos. A quantidade da água da chuva que infiltra dependerá de variáveis como inclinação dos taludes, tipo de solo e vegetação.

Os aquíferos subterrâneos são importantes para o ciclo hidrológico, à medida que, nas épocas de estiagem as vazões de base do rio são mantidas pelos mesmos, evitando

que estes sequem. Devido à impermeabilização de áreas da bacia, a recarga é dificultada, diminuindo assim a vazão de base disponível em períodos de estiagem.

Atividades urbanas e usos da água de aquíferos também podem afetar a qualidade da água destes, se o escoamento superficial não for tratado adequadamente antes de infiltrar. Neste caso ocorreria a poluição ou até contaminação do aquífero. Algumas atividades são conhecidas por produzirem alta quantidade de metais e substâncias químicas tóxicas. Poluentes solúveis, como cloretos, nitratos, sólidos dissolvidos e alguns hidrocarbonetos podem migrar para o subsolo e contaminá-lo.

2.2.3 Degradação dos Canais

O escoamento superficial das cheias produz grande impacto sobre a geometria da calha do rio. Após as alterações provocadas pela urbanização, a frequência e a magnitude das vazões de cheias crescem sensivelmente. Conseqüentemente, os canais e rios urbanos passam a sofrer extravasamentos mais freqüentes a cada ano, com relação aos que ocorriam no período anterior ao desenvolvimento. Assim, o fundo do rio e as margens são expostos a vazões mais atuantes em termos de erosão com maior frequência e durante períodos maiores. Por outro lado, nos períodos de estiagem, há o assoreamento causado pela deposição do material sólido em suspensão nos rios e canais.

Os resultados são alterações nas dimensões da calha do rio e a degradação dos ecossistemas.

As alterações físicas no rio associadas a baixas vazões de base e alta carga de poluentes carregados pelas cheias têm um grande impacto negativo na comunidade aquática, resultando em graves problemas ambientais, como perda de espécies, queda na qualidade da água e degradação do ecossistema aquático.

2.2.4 Aumento da Frequência de Cheias

Eventos de cheias que excedam a capacidade do canal ou do rio transbordam para áreas adjacentes, chamadas de áreas inundáveis. Tais eventos são chamados de enchentes e podem prejudicar propriedades e as estruturas de drenagem de jusante.

Enquanto algumas cheias são inevitáveis e até desejáveis, sob o ponto de vista ambiental, com o processo de urbanização crescente, precipitações de 2 a 10 anos de

recorrência e que não produziriam aumento excessivos nos níveis de água, agora já podem causar grandes inundações. Em Maryland, (MDE, 1998), os critérios adotados para os estudos atuais têm a tentativa de manter os picos de vazões de pré-dimensionamento para os tempos de recorrência de 2 e 10 anos, mantendo os valores nos níveis de água. Nestes estudos observou-se que a cheia de 2 anos é a máxima que os canais naturais suportam sem que haja transbordamento para fora das margens. Devido a este fato, a maior parte dos canais e valas de drenagem é dimensionada para a cheia de 10 anos de recorrência.

2.2.5 Expansão das Áreas Inundáveis.

As áreas que margeiam os rios e canais são conhecidas como áreas de inundação, ou áreas inundáveis. As cheias que alcançam estas regiões podem ser altamente destrutivas e prejudiciais para propriedades e vidas humanas. As áreas de inundação, que devem ser mantidas desocupadas, são utilizadas para atenuar estes danos e armazenar estas cheias.

Estes reservatórios de cheias naturais são ecossistemas muito importantes, englobando florestas, vegetação ciliar e animais selvagens. Conseqüentemente, são áreas que normalmente recebem proteção por meio de legislação ambiental de forma a restringir ou mesmo proibir novas construções, para evitar desastres e conservar os ecossistemas. O problema é que a falta de fiscalização, a especulação imobiliária e os problemas sócio-econômicos fazem com que estas áreas sejam ocupadas, como ocorre no próprio Município de São João de Meriti.

A expansão das áreas inundáveis ocorre após o desenvolvimento urbano, que aumenta o pico das cheias para todos os tempos de recorrência. Assim, para um tempo de recorrência de 100 anos, por exemplo, que antes poderia causar problemas de inundação, na situação alterada estes problemas serão agravados, pois para uma mesma chuva a vazão produzida será maior e o nível da água alcançado também. Assim, propriedades e estruturas que não eram objetivos de análise para o estudo agora podem estar em risco. Soma-se à isso, a degradação do meio ambiente.

2.3 Drenagem Urbana Sustentável

Os sistemas de drenagem pluvial foram concebidos de forma a se obter um rápido escoamento das águas precipitadas para jusante. Esta técnica tradicional se tornou problemática a partir da crescente taxa de impermeabilização dos solos e aumento da

população urbana, já que as dimensões destes sistemas não são suficientes para acompanhar as taxas de crescimento do escoamento superficial, fazendo com que as projeções realizadas para o dimensionamento das estruturas sejam em geral ultrapassadas antes da vida útil da obra.

A partir da falta de capacidade do sistema natural, as soluções técnicas tradicionalmente utilizadas são a canalização de rios e valas, que aceleram o escoamento a partir da sub-bacia considerada. Por não se considerar o funcionamento da bacia como um todo, ou seja, não se analisar o impacto desta alteração nos trechos de jusante, acaba-se por tornar o tempo de concentração das águas da bacia de montante coincidente com o de outras adjacentes e num mesmo trecho de jusante, de forma que a inundação agora ocorrerá em sub-bacias de cotas inferiores. Além de não serem efetivas por não considerarem a bacia como um sistema único de escoamento, têm custo elevado.

Segundo POMPEO, 2000, a falência das soluções técnicas em drenagem urbana está evidenciada pelos problemas ambientais, fazendo-se necessário analisar-se o problema das cheias urbanas incorporando-se a dinâmica social e o planejamento multissetorial.

Desta forma, os conceitos atuais que vêm sendo estudados e aplicados são os de controle da inundação na fonte, ou seja, em cada lote individual de terreno. Os conceitos com vistas ao desenvolvimento da drenagem urbana sustentável são de que a vazão efluente do lote na época do pré-desenvolvimento deve ser agora mantida, através de tecnologias sustentáveis, conhecidas por *best management practises* (BMP) e por meio de gestão integrada das águas. Segundo GELDOF et al, 1994, com o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, os benefícios para a infiltração são maiores do que ao considerar-se as modificações e os diferentes aspectos existentes individualmente.

As estruturas mais estudadas vêm sendo as que utilizam práticas de infiltração e o amortecimento das cheias. No Japão, FUJITA (1994 e 1997) obteve resultados importantes da aplicação de estruturas de infiltração como pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração em ruas. Ainda no Japão, foi estudada a utilização de concreto permeável em tubulações de drenagem pluvial (WATANABE 1995, WADA et al. 1997).

A aplicação de microreservatórios em lotes foi estudada por NICHOLAS (1995) e O'LOUGHLIN (1995), em Sydney, aliada ao reuso da água reservada. No Brasil, estudo experimental de CANEDO (2003) mostrou a implementação do reservatório em um jardim, com possibilidade do reuso da água.

MILOGRANA e CAPMANA (2001) avaliaram a aplicação em área teste da cidade de Goiânia, comparando a eficiência de microreservatórios em praças e microreservatórios em lotes. Os resultados mostraram eficiência para ambas aplicações, com vantagens para a aplicação em praças, que apresentaram além de redução no pico, um retardo no tempo de base.

CAMPOS (2001) estudou diversas estruturas de controle e para a aplicação de microreservatórios em lotes a mesma somente mostrou-se adequada em regiões de cotas intermediárias da bacia do canal do Mangue.

TASSI (2002) estudou a aplicação de microreservatórios em lotes sobre uma bacia hipotética, efetuando o dimensionamento de microreservatórios para diversas combinações de tempos de recorrência e vazões de descarga do lote, chegando a interessantes resultados de amortecimento.

Os estudos atuais apontam para a utilização das boas práticas de gerenciamento (*BMP*) em todo o mundo. Ressalta-se a necessidade de avaliar a bacia em estudo como um todo e desta forma o Modelo de Células, conforme será explicitado no Capítulo 4, foi selecionado de forma a avaliar-se a aplicação dos microreservatórios em lotes em região do Município de São João de Meriti.

2.4 Os Microreservatórios em Lotes

Os microreservatórios em lotes são classificados como medidas estruturais de controle das inundações na fonte, e podem ser aplicadas de forma distribuída ou espacial, de forma a terem impacto sobre a macro drenagem de uma bacia hidrográfica, através do armazenamento e conseqüente amortecimento das cheias.

Observa-se que o armazenamento da água pode ser seguido de reuso para irrigação, infiltração e outros usos não nobres do recurso.

O princípio da utilização do reservatório em lote, sendo classificado como uma BMP, é o de possibilitar que a vazão efluente do lote para determinado evento chuvoso seja próxima à existente para o período anterior à ocupação da área, compensando a impermeabilização de um terreno, e assim possibilitando melhor funcionamento da rede de macro-drenagem.

Algumas considerações sobre o uso de microreservatórios em lotes foram realizadas por O' Loughlin et al. (1995), a partir de estudo em Sydney, Austrália, no qual analisou o uso de dispositivos de retenção em lotes residenciais para vários tipos de construções.

Segundo este estudo, os microreservatórios restauram parcialmente o armazenamento natural perdido e não transferem o impacto de sua aplicação para jusante, resolvendo os problemas na origem e de forma justa, já que o proprietário ou o modificador do lote terá o ônus e responsabilidade de manter as condições pré-existentes.

Por outro lado, no mesmo estudo foi verificado que há carência de critérios de projeto e estudos de sua aplicação e dificuldades em termos de manutenção, que fica a cargo dos proprietários.

Outras conclusões importantes do estudo, em termos técnicos, foram a dificuldade de tratamento da qualidade da água nos microreservatórios e ainda a ineficiência para a aplicação em locais baixos da bacia, onde verificou-se que a implementação das estruturas podem aumentar os níveis de água a jusante devido ao retardo dos hidrogramas.

Os microreservatórios em lotes foram adotados para análise no presente trabalho de acordo com os conceitos abaixo:

- possibilidade de aplicação de forma distribuída na bacia,
- baixo custo de implementação, apesar de ficar a cargo do proprietário do lote, pois admite-se que os órgãos governamentais possam dar facilidades diversas para o incentivo a adoção da medida,
- existência de área disponível nos lotes dentro do Município de São João de Meriti,
- dificuldade de investimentos por parte da prefeitura local,

- maior facilidade de implementação com relação às demais BMPs.

Apesar destes itens há complicadores para a implementação, como a clandestinidade e ocupações irregulares, deficiência na existência de microdrenagem, ligação das águas pluviais à rede de esgoto e canais, e falta de consciência ambiental e dos problemas das cheias por parte das comunidades locais.

3 ÁREA DE ESTUDO – O MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DE MERITI

3.1 Breve Histórico da Origem e Ocupação do Município

A descrição poética feita pelo historiador Gênesis Tôrres (TORRES, 2004) da paisagem da região original do atual Município de São João de Meriti, anteriormente à colonização, época do descobrimento do Brasil, permite se ter idéia das transformações urbanísticas realizadas pelo homem sobre a condição natural da região em estudo:

“.....Junto às margens do salgado, límpidas águas doces desaguavam, levando consigo a seiva da terra e fazendo multiplicar as matas galerias. No encontro com a baía a vegetação exuberante era sutilmente substituída por ricos manguezais. A vida era um constante pulsar, renovação permanente era a palavra de ordem. Seus montes arredondados, talhados no processo de erosão durante milhões de anos, perdiam-se na imensidão da natureza, marcando a existência de ricos vales, origem das infinitas fontes da vida. De frente para o banhado e na foz do grande rio, nascia em 1647 São João Batista de Trairaponga, uma tosca capela, porém, com status de freguesia. Trairaponga nasceu grande, pois edificou primeiramente em suas terras a cruz de Cristo. De uma ermida contemplando a baía, a voz das cantorias gregorianas faziam coro com o canto dos pássaros da terra. Tudo era encanto.....”

A Figura 3.1, a seguir, reproduz uma pintura do artista plástico José Luiz e representa a região na qual hoje existem os bairros do Vilar dos Teles, Jardim Botânico e Jardim Íris.



Figura 3.1 – Quadro do Artista Plástico José Luiz. Período Imperial.

A região era coberta por florestas de Mata Atlântica, além de pântanos e manguezais, sendo habitadas por centenas de aldeias indígenas, da tribo tupi-guarani.

Segundo TORRES (Torres, 2004), os primeiros documentos com referências sobre propriedades de terra na região que hoje constitui o município de São João de Meriti são da época das sesmarias, primeiro período da colonização da coroa portuguesa sobre o Brasil. As primeiras transferências de terras foram realizadas na metade do século XVI, ano de 1566.

Com as doações de terras por parte da coroa chegaram os primeiros colonizadores, e assim, as primeiras modificações no uso do solo. No início, práticas agrícolas utilizando-se de mão de obra escrava predominaram na região, principalmente o cultivo de cana de açúcar, e de seu sub produto, a aguardente. Para subsistência, os escravos cultivavam grãos diversos, como milho, arroz, feijão, e ainda raízes como a mandioca. Desta forma, havia um comércio incipiente entre os produtores locais e moradores.

O primeiro povoado local (Torres, 2004), teve a denominação de São João Batista de Trairaponga, com a construção da primeira igreja da região, dedicada a São João Batista, em 1645, na região que atualmente pertence ao município de Duque de Caxias, bairro Parque Lafaiete.

No século XVIII, o interesse dos colonizadores passou a ser a extração de ouro de Minas Gerais, e assim a região viraria passagem obrigatória até o escoamento do precioso metal para os navios. Mais tarde o interesse pela região aumentaria novamente, durante o ciclo do café. A população começaria a aumentar, com a transformação das sesmarias em vilas e diversas fazendas.

Até esta época o rio Meriti escoava totalmente desobstruído e pelo mesmo fluía a produção agrícola local.

Os núcleos populacionais eram construídos sob a influência de igrejas, e desta forma, em 1747, em local próximo ao rio Meriti, foi construída nova igreja, e o povoado passou a ser chamado de Freguesia de São João Batista de Meriti. Em 1833, a Freguesia de São João de Meriti passou a ser distrito do Município recém-criado Iguassú, atual Nova Iguaçu.

O desmatamento se intensificou na época da construção das estradas de ferro, que tinham como combustível o carvão vegetal. A primeira a ser inaugurada foi a estrada

de ferro “*The Rio de Janeiro Northern Railway*”, em 23 de abril de 1886, o que trouxe alterações na dinâmica sócio-econômica. A linha fazia a ligação do Rio de Janeiro à Estação de Meriti, atual Duque de Caxias. O desmatamento sem controle iniciou o processo de assoreamento dos rios e desaparecimento das matas ciliares. Muitos rios e igarapés afluentes ao rio Meriti passaram por alteração nos seus regimes de vazão devido a estas mudanças. Da mesma forma, a navegabilidade de alguns rios foi comprometida. A saúde pública também foi afetada, já que se deu início o surgimento das primeiras epidemias de febres palustres e cólera mórbus, que dizimaram grande parte da população.

Durante o século XIX e primeira metade do século XX, as condições sócio-econômicas eram inadequadas, e com o fim da escravidão e a escassez de mão-de-obra as grandes fazendas começam a ser divididas em várias pequenas propriedades e assim inicia-se o cultivo de frutas e hortigranjeiros para o abastecimento do Rio de Janeiro.

Neste século a cidade do Rio de Janeiro já tinha grande importância no cenário nacional, como capital econômica e cultural do País, e desta forma passava por processo de constante valorização do solo e especulação imobiliária, devido ao grande contingente populacional que agora habitava a cidade. Isso levou um grande número de pessoas a migrarem para São João de Meriti, região de menor valor imobiliário.

Na segunda metade do Século XX o Brasil intensifica sua industrialização e o setor agropecuário sofre um processo de mecanização. Em poucos anos o percentual de habitantes das cidades, que era de cerca de 30% do total da população no início do século, passa para cerca de 70%. Com o êxodo rural, as principais cidades brasileiras sofrem grandes explosões demográficas e a população passa a acomodar-se entre as cidades periféricas. No Estado do Rio de Janeiro, a Baixada Fluminense foi representativa neste processo, principalmente, a esta época, o já Município de São João de Meriti, criado em 1947 após emancipar-se de Duque de Caxias. As grandes fazendas provenientes das sesmarias e que já haviam sido fracionadas em sítios e chácaras passam a ser subdivididas em loteamentos, além de iniciarem-se as ocupações irregulares e grilagens.

O município foi fundado inicialmente com três distritos, e atualmente conta com quatro: Centro, São Mateus, Coelho da Rocha e o mais novo, Parque Araruama.

3.2 Aspectos da Urbanização e Crescimento Populacional

A ocupação populacional de São João de Meriti, como de qualquer cidade, está ligada aos fatores de atração de atividade econômica. Por outro lado, durante o período imperial, a igreja tinha influência sobre a população e sobre o poder administrativo, de forma que a fundação de novas igrejas alterava a dinâmica da população e causava migrações dentro de uma mesma cidade, já que as vilas eram formadas em torno das igrejas.

A construção de estradas de rodagem, como a Via Dutra, e as estradas de ferro, foram influentes sobre o movimento e fixação populacional em São João de Meriti.

Outros fatores preponderantes foram os da natureza do relevo e do regime hidrológico dos rios.

A zona oeste, região de melhores condições topográficas, recebeu a construção das principais vias de acesso, e desta forma os ramais ferroviários e a Via Dutra foram importantes para atrair o crescimento populacional para esta área.

Já a Zona Leste, de relevo mais acidentado, desenvolveu mais lentamente, de forma que passou a receber um maior contingente populacional após a abertura de vias de ligação com municípios vizinhos.

As áreas situadas às margens dos rios Pavuna e Sarapuí, por serem sujeitas a inundações naturais periódicas, foram as últimas a serem ocupadas. Nestas regiões ocorrem atualmente as maiores inundações por conta de habitações irregulares em áreas de inundação natural, algumas sendo área de proteção ambiental, além da faixa de proteção das margens dos rios.

3.2.1 Crescimento Populacional

No final do século XVIII a região contava com cerca de 200 habitações. Na metade do século XIX, a população era de quase 2.000 habitantes, crescendo para 8.255 na contagem do ano de 1920. A indicativa do Censo de 2000 do IBGE é de quase meio milhão de habitantes.

Ao analisar-se a curva de crescimento populacional mostrada a seguir, produzida com base na Tabela 2.1, percebe-se o grande incremento no número de habitantes que o município teve neste último século, em especial entre o início da década de 40 e o final da década de 80.

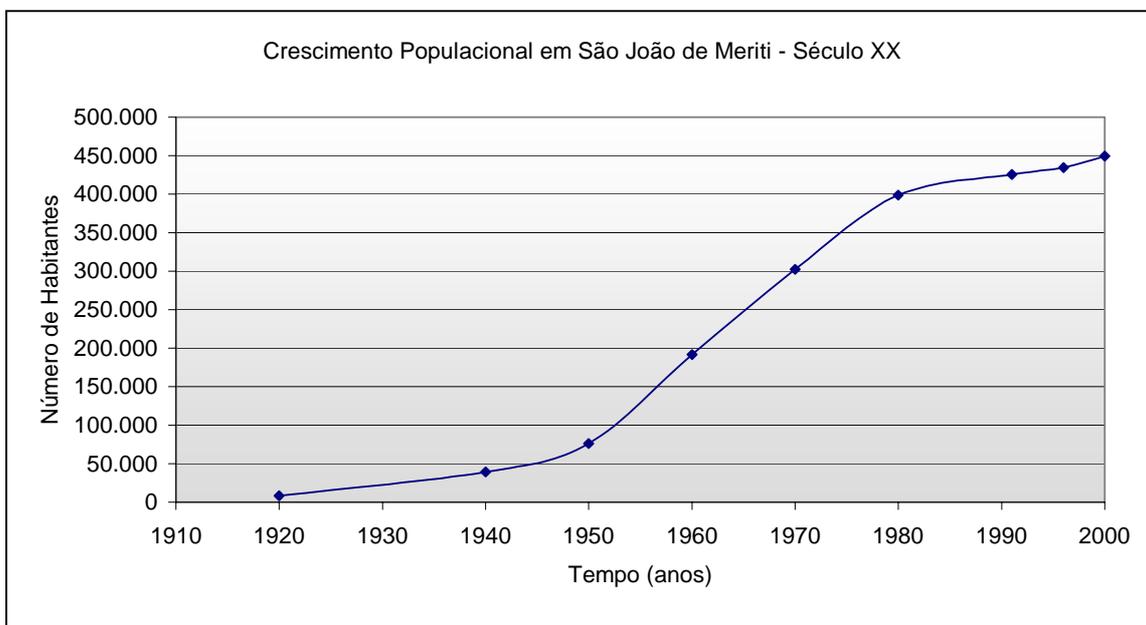


Figura 3.2 - Curva de Crescimento Populacional em São João de Meriti – Século XX.

Tabela 3.1 – Números do Crescimento Populacional – Fonte: IBGE.

ANO	Número de Habitantes	Percentual de Aumento da População entre os anos consecutivos	Percentual de aumento com relação ao ano de 1920
1920	8.255	-	-
1940	39.569	379	379
1950	76.462	93	826
1960	191.734	151	2.223
1970	302.394	58	3.563
1980	398.826	32	4.731
1991	425.772	6,8	5.058
1996	434.323	2,0	5.161
2000	449.562	3,5	5.346

Entre os anos de 1940 e 2000 o crescimento da população atingiu o percentual de 1.036 %. Por outro lado, observa-se que a taxa de crescimento vem se reduzindo consideravelmente, já que entre os anos de 1980 e 1991 foi de 6,76 % e entre os anos de 1991 e 2000 foi de 5,6%, muito inferiores às taxas das décadas anteriores. Desta forma, explica-se o crescimento das décadas iniciais do século passado a partir do grande fluxo migratório para dentro do município, e não a partir do crescimento natural

ou vegetativo da população. Esse crescimento se deu pelo processo de êxodo da população rural para as grandes cidades do Brasil, de forma que a população excedente não encontrava habitação dentro dos limites das mesmas e passava a ocupar as suas zonas periféricas. E foi ainda mais intenso para a cidade de São João de Meriti. Esse processo tem se reduzido nas últimas décadas e assim a taxa de crescimento da população se aproxima da taxa de crescimento vegetativo normal.

3.3 Aspectos Atuais de Ocupação Populacional e Drenagem Urbana

Segundo o último Censo Demográfico realizado pelo IBGE (Ano de 2000), São João de Meriti é considerada atualmente uma cidade com ocupação totalmente urbana. Mas o processo de urbanização descontrolado e sem planejamento transformou São João de Meriti, originalmente área de manguezais e grandes fazendas, em grande concentração de loteamentos densamente ocupados e na maioria dos casos com o uso do solo inadequado e irregular. Ao conhecer-se o Município, percebe-se a convivência de realidades distintas muito próximas uma da outra: em uma mesma rua, pode-se encontrar residências de classe média a alta e outras em estado precário de conservação e manutenção, sem infra-estrutura adequada de habitação.

A grande densidade demográfica e a falta de planejamento habitacional trouxeram como conseqüência a ocupação quase total de um lote residencial, pela construção de várias habitações tanto horizontalmente quanto verticalmente, conhecidos popularmente como “puxadinhos”.

Desta forma, a conseqüência é a alta taxa de impermeabilização do terreno de um determinado lote. Essa situação é crítica nas áreas mais baixas, que são as menos valorizadas economicamente e na maioria das vezes onde não são permitidas construções, por serem áreas de calha maior dos rios e desta forma de cheias naturais. Nestas áreas se concentra a população mais pobre e a taxa de construção de um terreno atinge o limite.

Essa ocupação se fez por meio da impermeabilização dos solos, derrubada de vegetação natural, destruição das matas ciliares, e causou aumento no transporte de sedimentos na bacia a partir de processos de erosão e deposição de sedimentos nos rios, canais e valas, e por conseqüência redução na capacidade de vazão dos mesmos e aumento do escoamento superficial, além de diminuição da qualidade da

água das cheias, devido ao carreamento de resíduos sólidos pelo escoamento superficial.

Esses processos ocorreram também nas áreas a montante do Município de São João de Meriti, em sub-bacias contribuintes.

Outro fator agravante é o relevo acidentado, representado pelos vários “morrotes” em forma de “meia laranja”. Isso faz com que as sub-bacias tenham curtos tempos de concentração para uma chuva e altos picos de cheias, pois muitas sub bacias têm a forma alongada, são vales compridos espremidos entre dois morros. Sob o ponto de vista de formação geológica, os vales eram regiões alagadiças e de manguezais, locais de inundações naturais.

A ocupação de regiões de inundações naturais dos rios Sarapuí, Pavuna e Meriti trouxe o agravamento destes fatores naturais quanto à propensão da região para inundações e desta forma o conseqüente aumento da freqüência de ocorrência de enchentes, que agora acontecem na ocasião de eventos pluviométricos de baixos tempos de recorrência, ou seja, o que antes seria um evento chuvoso freqüente de baixa intensidade e duração média a longa e não causaria prejuízos por estar confinado nas galerias pluviais e nas calhas dos rios e canais, agora já atinge níveis mais altos já que as galerias muitas vezes obstruídas por resíduos sólidos já não são mais capazes de escoar a nova vazão produzida pela impermeabilização dos solos e os rios e canais estão assoreados e tem sua seção molhada ocupada por habitações. Assim, os problemas sócio-econômicos ligados às perdas diversas são agravados.

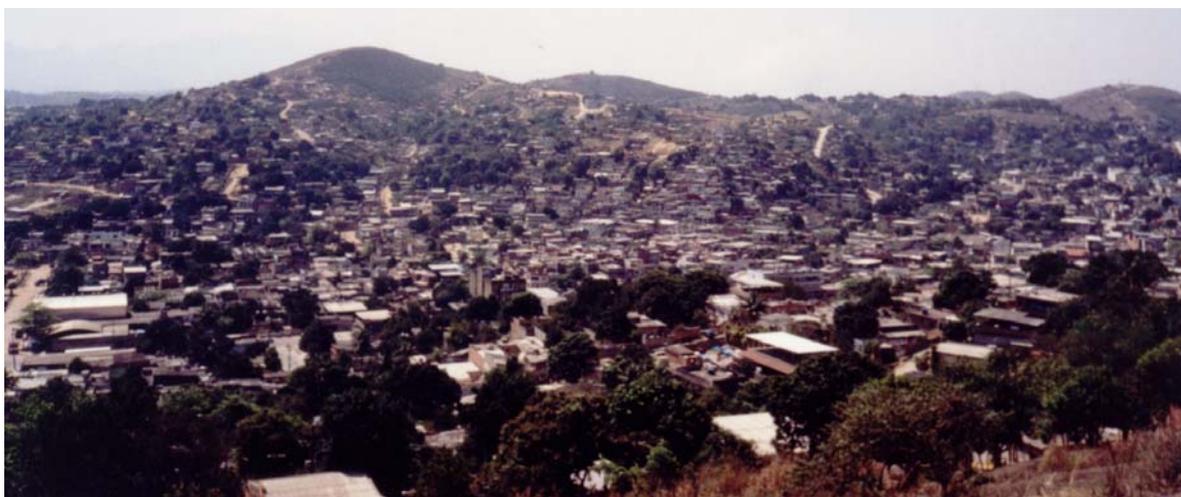


Figura 3.3 – Vista Geral do Município de São João de Meriti. Observa-se grande densidade e ocupação e uso do solo.

Esse problema se agravou ao longo dos últimos anos em São João de Meriti já que o grande contingente populacional recebido pela região e não previsto pelas autoridades governamentais fez com que as dimensões das estruturas de captação de águas pluviais, quando existentes, não tenham a capacidade de vazão necessária para esta situação criada pela ocupação.

Por outro lado, as intervenções convencionais para controle de enchentes normalmente adotadas como solução técnica, não consideram o funcionamento hidrológico da bacia hidrográfica como um todo, e assim, normalmente aceleram o escoamento do local implantado para jusante, o que normalmente apenas transfere o problema de inundações para os pontos a jusante das obras realizadas.

A prefeitura realizou a canalização do rio Sarapuí, que agora deságua no rio Iguaçú, e este deságua na Baía da Guanabara. Mas devido aos problemas acima citados, o funcionamento do sistema de drenagem não é adequado e as águas das cheias não chegam de forma adequada ao rio Sarapuí, pois são retidas em pontos de inundação no Município.

Outro ponto importante é a ocupação continuada e progressiva da área de inundação prevista pela Prefeitura Municipal através de legislação, conhecida por reservatório pulmão. Ao realizar-se reconhecimento técnico desta área percebe-se que grande parte já foi ocupada e uma outra continua recebendo construções de residências, o que evidencia a falta de política habitacional e planejamento urbano também nos dias atuais por parte das esferas administrativas constituídas.

Segundo dados da Fundação CIDE, o déficit habitacional de domicílios com infraestrutura adequada é de cerca de 50%.

Desta forma, considera-se o Município em estudo com características peculiares e de interesse para o desenvolvimento do trabalho em questão.

3.4 Aspectos da Qualidade da Água

O aspecto da qualidade da água sofre grande influência da situação inadequada dos resíduos sólidos. Primeiramente, o desmatamento dos morros e a conseqüente erosão deixam o solo sem proteção contra o impacto das chuvas, e assim o material granular

mais fino é carregado pelas águas das cheias, afetando a qualidade das águas dos diversos canais, rios e valas do município. Além disso, os resíduos sólidos produzidos pelas habitações não são totalmente coletados e desta forma grande parte acaba sendo levada pelas enxurradas para dentro dos corpos de águas. Observa-se aí falta de sincronia dos órgãos de coleta de resíduos sólidos, que não atendem a determinados pontos da região, por motivos diversos, e ainda, falta de conscientização e educação ambiental por parte da população, não incentivada pelos órgãos competentes da sociedade.

Outro ponto importante que influencia na qualidade das águas dos corpos locais é a existência de diversas indústrias têxteis existentes no município, atividade altamente poluidora quando não tem seus efluentes químicos detidos e tratados de forma adequada antes de despejados nos rios. Além disso, atividades de construção também são grandes poluidoras na região, já que restos de material de construção muitas vezes são despejados irregularmente em áreas próximas às margens dos rios, de forma que acabam sendo trazidas para dentro do leito de escoamento por ocasião de uma enchente.

A poluição por meio de material orgânico é a preponderante, já que os esgotos domésticos são normalmente ligados diretamente aos rios ou valas, sem tratamento algum.

A poluição é resultante da ocupação do solo, que apresenta 65,8% de taxa de urbanização. Além desse uso, pode-se encontrar na área da bacia 18,3% de pastagens, 8,3% de solo exposto, 3,1% de matas, 1,4% de alagadiços e 0,4% de manguezais.

Dados da FEEMA referentes ao rio Meriti podem ser considerados como representativos para os demais rios da região. Os dados de qualidade de água já levantados pela FEEMA revelaram uma situação crítica para o rio São João de Menti, bem como para os demais contribuintes da Baía de Guanabara situados na costa oeste, nordeste e leste da bacia. De acordo com este diagnóstico, o rio Meriti não atende aos padrões estabelecidos pela resolução 20/86 do CONAMA para rios de Classe 2, em que o mesmo está enquadrado. Esta classificação prevê, entre outros itens, a proteção das comunidades aquáticas.

Por outro lado, a classificação da FEEMA órgão estadual, de acordo com a DZ-1 06 (Diretriz de Classificação dos Corpos Receptores da Bacia da Baía de Guanabara segundo os Usos Benéficos), coloca o rio São João do Meriti com os atributos de Estética e Diluição de despejos (Manual do Meio Ambiente — FEEMA 1979), que da mesma forma não são atendidos.

3.5 Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica

Atualmente, o rio Sarapuí pertence à bacia do rio Iguaçu, após processo de retificação de seu leito ocorrido no início do século XX, após o qual passou a desaguar a montante da foz do rio Iguaçu. Os rios apresentavam-se sinuosos antes deste procedimento.

A bacia do rio Iguaçu-Sarapuí apresenta uma área de drenagem de 726 km², dos quais 168 km² representam a sub-bacia do Sarapuí, e abriga todo o Município de Belford Roxo e parte dos Municípios do Rio de Janeiro, Nilópolis, São João de Meriti, Nova Iguaçu e Duque de Caxias, inseridos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Limita-se ao norte com a bacia do rio Paraíba do Sul, ao sul com a bacia dos rios Pavuna e Meriti, a leste com a bacia dos rios Saracuruna e Inhomirim/Estrela e a oeste com a bacia do rio Guandu e outros afluentes da baía de Sepetiba.

O rio Iguaçu tem suas nascentes na Serra do Tinguá, a uma altitude de cerca de 1.000 m. Desenvolve seu curso no sentido sudeste, com uma extensão total de cerca de 43 km, desaguardo na Baía da Guanabara. Seus principais afluentes são os rios: Tinguá, Pati e Capivari pela margem esquerda e Botas e Sarapuí pela direita.

A fisiografia da bacia Iguaçu-Sarapuí é caracterizada principalmente por duas unidades de relevo: a Serra do Mar e a Baixada Fluminense, com um forte desnível de cerca de 1.600 metros, do ponto mais alto da serra (o pico do Tinguá) até a planície. Os rios descem as serras em regime torrencial, com forte poder erosivo, alcançando a planície, onde perdem velocidade e extravasam de seus leitos em grandes alagados.

A cobertura vegetal da bacia ainda remanescente ocorre predominantemente ao norte e nordeste, na serra do Tinguá, e na serra de Mendanha. Na serra do Tinguá localiza-se a Reserva Biológica do Tinguá, onde um expressivo trecho de Mata Atlântica encontra-se bem preservado. A área florestada ocupa cerca de 20% da bacia, na parte

central da bacia, onde se distribui um relevo de “morrotes meia-laranjas” e áreas de várzeas.

Apesar de sua topografia acidentada, o ponto culminante do Município é o Morro da Carioca, no bairro Vilar dos Teles, com apenas 163 m de altitude. A altitude média do município é de 7,1 m.

Normalmente, o ambiente acidentado de São João de Menti é constituído por incisões profundas, onde suas superfícies encontram-se bastante descaracterizadas por terem sido submetidas a vários processos de escavações de materiais argilosos para utilização em obras de construções civis. Após as escavações, as feições originais das colinas, embora aparentemente mantidas, apresentaram imensas cicatrizes e sulcos em acelerado processo de erosão em suas superfícies.

4 METODOLOGIA ADOTADA

4.1 Concepção Geral do Trabalho

A baixada fluminense tem formação hidrogeológica caracterizada por relevo acidentado, constituído de “morrotes”, planícies e regiões de manguezais e pântanos naturais, áreas de alagamento natural. A região tem vales abertos assim como a seção transversal dos rios, e desta forma, as inundações de suas áreas de várzea, ou seja, fora de suas calhas menores, são freqüentes e de acordo com o regime hidrológico natural.

O processo de urbanização no Brasil, intensificado nas primeiras décadas do século XX, foi realizado sem o planejamento devido e não procurou observar e interagir com o meio ambiente, de forma que as questões relacionadas ao desmatamento desordenado para ocupação do espaço não respeitaram, além dos diversos aspectos ambientais, o regime natural dos rios. Como conseqüência, a prática de ocupar as regiões de cabeceiras dos vales e as margens dos rios alterou o ciclo hidrológico de forma intensa e o homem agora sofre o resultado de suas próprias ações sobre a natureza.

Na região da baixada fluminense, esta ação antrópica se fez presente de forma intensa. Por ser região de periferia do Rio de Janeiro e desta forma de valor imobiliário inferior, recebeu a população de baixo poder econômico, que, sem opção de habitação por parte dos administradores públicos, ocupou intensamente a região. Em grande parte da área dos municípios da baixada fluminense a taxa de ocupação urbana é praticamente máxima e faz uso também de áreas de encostas e marginais.

Estas características são particularmente observadas na região de São João de Meriti: grande densidade populacional, baixos índices sócio-econômicos e relevo acidentado acompanhado de planícies de baixas cotas, próximas às do nível do mar. Além disso, existem os problemas históricos de deficiência de infra-estrutura, principalmente em termos de saneamento geral e habitação, causando ocupação irregular de áreas de encosta e das regiões de várzea, e despejo de esgoto sem tratamento em valas e rios. Apresenta inundações freqüentes para eventos de baixo tempo de recorrência, devido aos problemas de ocupação irregular, desmatamento, queimadas, erosão, impermeabilização do solo, intenso processo de carreamento de resíduos sólidos de

todas as classes granulométricas, que causam deficiência no funcionamento da rede de drenagem pluvial.

De forma a avaliar espacialmente os aspectos quantitativos das inundações locais foi selecionado o Modelo de Células da COPPE/UFRJ, elaborado por Miguez e Mascarenhas (Miguez, 2001).

O modelo possibilita análise espacial das inundações e de simulação das intervenções na bacia estudada, de maneira a se obter a configuração ótima para a aplicação de recursos e ações com o objetivo de mitigar as inundações.

As intervenções avaliadas neste trabalho são os microreservatórios em lotes, adotando-se os conceitos modernos da drenagem urbana, de controle das inundações em sua origem por meio de medidas estruturais implementadas de forma distribuída na bacia. Estas intervenções serão avaliadas em termos de sua implementação em diferentes regiões da área em estudo, verificando-se assim a adequação ou não dos efeitos resultantes da aplicação desta estrutura em sua própria área e ainda nas demais áreas, para depois se avaliar a implementação combinada das intervenções nos locais de melhores resultados, de forma a se ter uma indicativa da solução otimizada para aplicação dos recursos e das obras.

Para estudo de caso, foi selecionada área do Município de São João de Meriti e do Município de Duque de Caxias (Figura 4.1), que pertence à bacia do rio Sarapuí, em sua margem direita, por ser a que apresenta os maiores problemas de inundação, conforme pode ser verificado pela Figura 4.2, que representa as manchas de inundação cadastradas pela Prefeitura local.

A base cartográfica utilizada foi obtida junto à Fundação CIDE e compreende cartas restituídas para a escala 1:10.000 a partir de levantamento aerofotogramétrico executado no ano de 1996, estando representadas nesta escala as ruas, os lotes e diversos tipos de ocupação e construções, assim como os canais de drenagem e os rios. São representadas curvas de nível de 5 em 5 metros e diversos pontos cotados.

4.2 Aspectos Locais de Inspeção de Campo.

De forma a obter subsídios para a simulação matemática e sensibilidade quanto aos parâmetros hidráulicos a serem adotados para a entrada de dados do modelo, foram realizadas inspeções técnicas diversas aos locais da área em estudo.

Alguns aspectos importantes são observados pelas fotos a seguir, como a grande quantidade de resíduos sólidos ocupando o interior de valas e dos canais de drenagem (Figura 4.8). Além disso, pode-se observar a construção de residências em locais propensos a inundações periódicas (Figura 4.7), próximas às valas (Figura 4.8), além do assoreamento de rios e canais (Figuras 4.5 e 4.9).

De forma que o extravasamento do rio Sarapuí não atinja regiões marginais, foi construído o canal auxiliar do Sarapuí e o Dique longitudinal, isolando o canal do rio (Figura 4.3). Para a passagem das águas do canal auxiliar ao rio Sarapuí foram colocadas comportas (Figura 4.4), de forma não permitir o refluxo das águas para a região de armazenamento. Esta região, conhecida por reservatório pulmão, foi projetada de forma a ter capacidade para guardar esse volume, para que, após a descida do nível de água do rio Sarapuí, este volume seja transferido sem ocorrer o extravasamento.

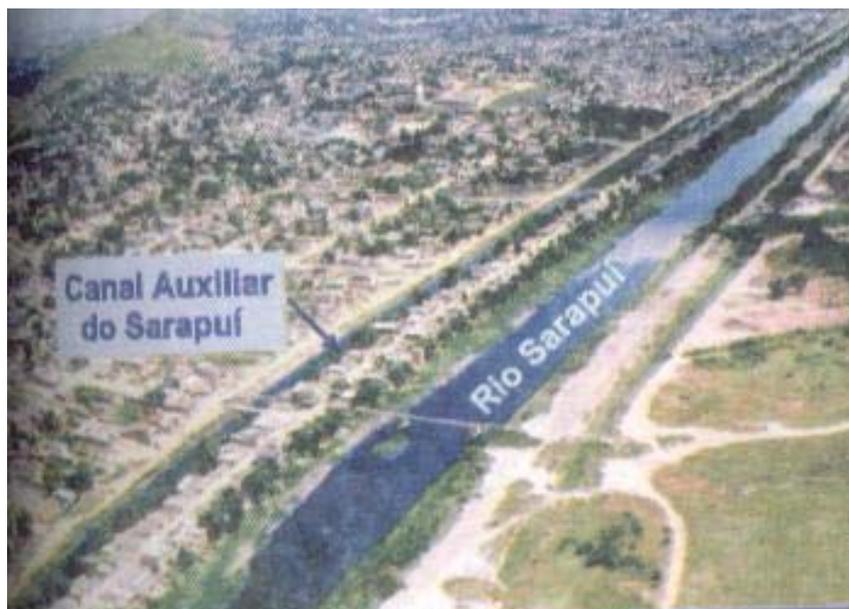


Figura 4.3 - Vista Aérea do Rio Sarapuí, Canal Auxiliar e Dique.

Conforme se pode observar nas fotos a seguir, a área do reservatório pulmão vem sendo ocupada irregularmente, assim como o dique, que ainda tem seu material retirado para ser utilizado como material de construção, por parte da população local. Além disso, as comportas se encontram danificadas e sem a manutenção necessária ao funcionamento do sistema. Observa-se, no entanto que estão em andamento trabalhos que envolvem o Governo do Estado e a Prefeitura local de forma a manter o funcionamento adequado destas estruturas.



Figura 4.4 – Detalhe da Situação das Comportas Flap.



Figura 4.5 – Eutrofização no Canal Auxiliar, indicativo da situação crítica da qualidade da água e da baixa velocidade de escoamento no curso de água e reflexo dos problemas ambientais relacionados ao uso do solo.



Figura 4.6 – Ocupação das Encostas. Desmatamento, erosão e despejo de resíduos sólidos.



Figura 4.7 – Construções em andamento em área do reservatório pulmão.



Figura 4.8 – Situação de uma das valas de drenagem, com resíduos sólidos.



Figura 4.9 – Grande Quantidade de resíduos sólidos no interior do canal auxiliar e, ao fundo, construção irregular.

Assim, estes detalhes fornecem subsídios de forma a se obter da modelagem resultados condizentes com a situação real de funcionamento do sistema de drenagem do Município. Os parâmetros hidráulicos e hidrológicos apresentados nos próximos itens a seguir refletem estes aspectos.

4.3 O Modelo Matemático

O Modelo de Células foi selecionado devido ao fato de ser uma ferramenta capaz de representar o escoamento em locais fora da calha do rio, como ruas, calçadas e lotes residenciais, e assim simular o escoamento da forma mais próxima da real. Este fator de considerar a diversidade do escoamento é fundamental quando lida-se com uma área totalmente urbanizada, como é a cidade em questão.

Outro fator importante é a capacidade de modelagem em um espaço bidimensional em planta. Entre duas células de escoamento, as equações são utilizadas sob forma unidimensional, mas o arranjo topológico permite que seja simulada a situação bidimensional.

A seguir apresenta-se um breve histórico de utilização do modelo de células e da descrição matemática e hidráulica.

4.3.1 Histórico do Modelo

A concepção do modelo de células de escoamento, inicialmente, foi utilizada na representação de grandes planícies rurais alagáveis. Este conceito de modelação teve origem nos trabalhos de Zanobetti, Lorgeré, Preissman e Cunge (Zanobetti e Lorgeré, 1968; Zanobetti, Lorgeré, Preissman e Cunge, 1970), que desenvolveram, para uma aplicação junto ao Delta do rio Mekong, Vietnã, uma modelação bidimensional, não em relação às equações de escoamento não permanente em águas rasas, mas sim em relação à situação física da planície, onde canais e células de armazenamento formam uma rede bidimensional no plano horizontal. A mesma metodologia foi aplicada na tese de Mestrado defendida por Miguez (1994), em estudo sobre o Pantanal Mato-Grossense.

Em seguida, Miguez e Mascarenhas (1999) adaptaram o modelo para a utilização em bacia urbana, alterando e adicionando tipos de ligações de acordo com os novos tipos de escoamento existentes, procurando torná-lo confiável e capaz de representar a realidade do escoamento neste ambiente.

A primeira grande aplicação em termos de bacia urbana foi realizada para a cidade de Joinville (SC) e a mais recente foi a utilização do modelo no Projeto Bacia do Canal do

Mangue, desenvolvido pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em convênio com a Prefeitura do Rio de Janeiro através da Fundação Rio-Águas.

Na tese de mestrado de Campos (2001) foi realizada modificação para implementação de equação que representa a interferência dos resíduos sólidos no escoamento, na Bacia do Canal do Mangue.

O modelo vem sendo utilizado como ferramenta matemática de modelação em diversos trabalhos e pesquisas no âmbito do Laboratório de Hidráulica Computacional da COPPE.

Informações adicionais a respeito do desenvolvimento do modelo matemático original, para aplicações em meios rurais, até o modelo em sua versão atual, para uso em áreas urbanas, podem ser obtidas mais detalhadamente na Tese de Doutorado de Miguez (2001), onde, inclusive, podem ser encontradas as aplicações de cada versão do modelo até então. A seguir, apresenta-se descrição sucinta sobre o modelo matemático em sua versão atual.

4.3.2 Descrição do Modelo

O Modelo de Células adota as seguintes hipóteses quando se considera uma bacia urbana:

- A natureza pode ser representada por compartimentos homogêneos, interligados, chamados células de escoamento. A cidade e sua rede de drenagem são subdivididas em células, formando uma rede de escoamento bi-dimensional, com possibilidade de escoamento em várias direções nas zonas de inundação, a partir de relações unidimensionais de troca;
- Na célula, o perfil da superfície livre é considerado horizontal, a área desta superfície depende da elevação do nível d'água no interior da mesma e o volume de água contido em cada célula está diretamente relacionado com o nível d'água no centro da mesma, ou seja, $V_i = V(Z_i)$, mais especificamente, $V_i = A_{si} \times (Z_i - Z_{0i})$, onde Z_{0i} é a cota do fundo da célula;
- Cada célula comunica-se com células vizinhas, que são arranjadas em um esquema topológico, constituído por grupos formais, onde uma célula de um dado grupo só

pode se comunicar com células deste mesmo grupo, ou dos grupos imediatamente posterior ou anterior;

- O escoamento entre células pode ser calculado através de leis hidráulicas conhecidas, como, por exemplo, a equação dinâmica de Saint-Venant, nas formulações completa ou simplificada, a equação de escoamento sobre vertedouros, livres ou afogados, a equação de escoamento através de orifícios, equações de escoamento através de bueiros, entre outras várias, sendo, neste estudo, considerados os efeitos de inércia no escoamento que ocorre nos cursos d'água principais;

- A vazão entre duas células adjacentes, em qualquer tempo, é apenas função dos níveis d'água no centro dessas células, ou seja, $Q_{i,k} = Q(Z_i, Z_k)$;

- As seções transversais de escoamento são tomadas como seções retangulares equivalentes, simples ou compostas;

- O escoamento pode ocorrer simultaneamente em duas camadas, uma superficial e outra subterrânea, em galeria, podendo haver comunicação entre as células de superfície e de galeria. Nas galerias, o escoamento é considerado inicialmente à superfície livre, mas pode vir a sofrer afogamento, passando a ser considerado sob pressão.

As células podem representar a natureza isoladamente ou em conjuntos, formando estruturas mais complexas. Um conjunto resumido de tipos de células pode eventualmente já fornecer grande capacidade de representação, ao se pensar em suas possíveis associações. Porém, a definição do conjunto de tipos de ligação, que são representativas de leis hidráulicas que traduzem determinados escoamentos, pode fazer grande diferença na tentativa de reproduzir a multiplicidade dos padrões de escoamento de um cenário urbano. A atividade de modelação topográfica e hidráulica deve então contar com um conjunto pré-definido de tipos de célula e tipos possíveis de ligações entre células. A Figura 4.10 mostra, esquematicamente, os de tipos de células existentes em uma situação típica da paisagem urbana, bem como as funções assumidas por estas células.

Conjunto tipo de células pré-definido:

- de rio, ou canal, por onde se desenvolve o escoamento principal da drenagem à céu aberto;
- de galeria, subterrânea, complementando a rede de drenagem;
- de planície, para a representação de escoamentos a superfície livre em planícies alagáveis, bem como áreas de armazenamento, ligadas umas às outras por ruas, englobando também áreas de encosta, para recepção e transporte da água precipitada nas encostas para dentro do modelo, áreas de vertimento de água de um rio para ruas vizinhas e vice-versa e áreas de transposição de margens, quando é preciso integrar as ruas marginais a um rio e que se comunicam através de uma ponte;
- de reservatório, simulando o armazenamento d'água em um reservatório temporário de armazenamento, dispendo de uma curva cota x área superficial, a partir da qual, conhecendo-se a variação de profundidades, pode-se também conhecer a variação de volume armazenado. A célula tipo-reservatório cumpre o papel de amortecimento de uma vazão afluente.

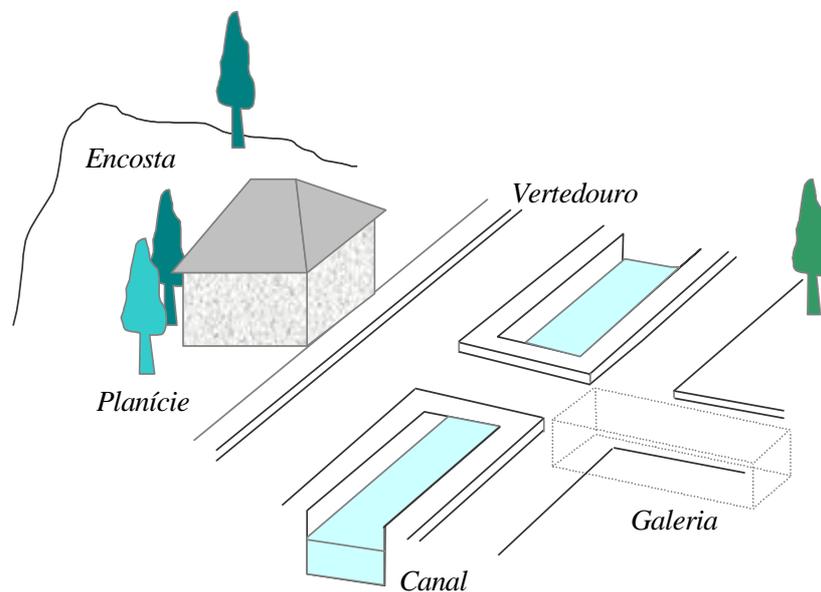


Figura 4.10: Tipos de célula.

4.3.2.1 Modelagem Matemática

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

$$A_{S_i} \frac{dZ_i}{dt} = P_i + \sum_k Q_{i,k} \quad (4.1)$$

Onde:

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

De forma a possibilitar a modelagem matemática é assumida a definição de um padrão de urbanização, que considera o comportamento médio de áreas urbanizadas, que pode ser aplicado a qualquer célula de planície. Este padrão considera três níveis distintos, cujas áreas de abrangência devem ser determinados para a região em estudo por uma amostragem representativa de células:

- nível das ruas, tomado como o fundo das células, considerado ocupando um dado percentual da área de armazenagem da célula, abrangendo apenas a área das próprias ruas;
- nível das calçadas, considerado cerca 0,15 m acima do nível das ruas, e englobando também áreas de praças, parques, jardins, quintais, estacionamentos, entre outras, que não correspondam a edificações, considerado ocupando outro percentual da área de armazenagem da célula;
- nível das edificações, tomado 0,30 m acima do nível das calçadas, supondo a existência de dois degraus entre a calçada e a edificação, considerado ocupando o percentual restante da área de armazenagem da célula, que complementa os percentuais adotados nos dois primeiros níveis citados acima.

Estes níveis estão associados à diferentes seções retangulares, as quais formarão uma seção composta.

A formulação numérica do modelo proposto inicia-se com o processo de discretização da equação diferencial que, originalmente contínua, passa a ser considerada em termos de incrementos finitos. Considerando que o tempo a que se refere um termo da equação será designado por um índice superior, que representará o número de intervalos de tempo decorridos, convencionou-se que o índice superior n indicará o intervalo de tempo $n \Delta t$. Na discretização temporal, o índice n estará referenciado ao intervalo de tempo de cálculo anterior ao atual, significando que a variável já é conhecida; o índice $n+1$, por sua vez, fará referência ao intervalo de tempo futuro, $(n+1) \Delta t$ quando se procura o valor incógnito da variável.

Discretizando a equação (4.1) e analisando esta discretização termo a termo, tem-se a seguinte discussão:

$$A_{s_i} \frac{\Delta Z_i}{\Delta t} = P_i + \sum_k Q_{i,k}, \quad (4.2)$$

No primeiro membro da equação, ΔZ_i é a variável que se deseja conhecer e, portanto, considerada no tempo $n+1$. Conhecendo o valor de ΔZ_i^{n+1} , automaticamente obtém-se o valor de Z_i^{n+1} , uma vez que $Z_i^{n+1} = Z_i^n + \Delta Z_i^{n+1}$. A área superficial do espelho d'água dentro de uma célula, A_s , é considerada como função do nível Z_i^n , de acordo com o escalonamento do nível de fundo da célula como função do uso do solo. Esta consideração corresponde a uma aproximação de 1ª ordem.

P_i é considerado um dado de entrada, correspondente à vazão que entra na célula i em consequência da chuva ocorrida entre os intervalos de tempo $n \Delta t$ e $(n+1) \Delta t$. Por ser um valor conhecido, P_i receberá o índice superior n .

Em $\sum_k Q_{i,k}$, a vazão $Q_{i,k}$ pode ser escrita de três formas diferentes:

- considerando a vazão $Q_{i,k}$ no tempo $n \Delta t$, ou seja, considerando que a vazão não varia no intervalo de tempo Δt , tem-se uma formulação explícita, uma vez que pode-

se explicitar o valor de Z_i^{n+1} em função dos outros termos, que são todos conhecidos; entretanto, este esquema tem o valor de Δt limitado por condições de estabilidade numérica;

- considerando $Q_{i,k}$ no tempo $(n+1)\Delta t$, tem-se um esquema totalmente implícito, sendo a computação incondicionalmente estável, sob o ponto de vista formalmente numérico;

- considerando $Q_{i,k}$ em um tempo ξ , intermediário entre $n\Delta t$ e $(n+1)\Delta t$, tem-se também um esquema implícito, ponderado no tempo.

A aplicação do modelo de células para bacias urbanas, de forma geral, trabalha com intervalos de tempo bastante reduzidos, a fim de acompanhar as rápidas variações do próprio movimento de cheias. Em vários casos de aplicações anteriores do modelo, além de um intervalo de tempo pequeno, ainda foi necessário subdividir este intervalo, computacionalmente, interpolando linearmente as grandezas envolvidas na solução do problema, para estas subdivisões, a fim de evitar oscilações de cálculo que não caracterizam instabilidade numérica, mas possivelmente problema de convergência, pois correspondem à formulação implícita. Algumas vezes as oscilações instabilizavam a própria computação. Desta forma, optou-se pelo desenvolvimento também da modelação por um esquema explícito.

Neste esquema, a solução numérica passa a prescindir de qualquer método iterativo de solução e recai na explicitação direta, a partir da equação da continuidade, do incremento de nível d'água incógnito para cada célula a cada intervalo de tempo. O esquema explícito requer um intervalo de tempo de cálculo menor, o que faz aumentar o número de subdivisões de cada intervalo. Entretanto, como a solução é direta, sem recorrer à solução de sistemas, mesmo aumentando o número de subdivisões, o esquema explícito pode se tornar computacionalmente mais rápido.

Desta forma, a versão do modelo matemático utilizada neste trabalho apresenta esquema explícito.

As relações que definem as vazões entre as células podem ser encontradas em Miguez (Miguez, 2001) e Campos (Campos, 2001), além de outros detalhes do Modelo de Células.

4.4 Configuração do Modelo

A calibração dos parâmetros hidráulicos utilizados foi feita com base em visitas ao campo realizadas durante a execução do trabalho e ainda com base nas informações obtidas de planta da Prefeitura de São João de Meriti com o cadastro das áreas sujeitas à inundações, apresentadas na Figura 4.2.

Considera-se que este procedimento é condizente com o objetivo principal deste trabalho, que é o de propor metodologia para avaliar a implementação de microreservatórios em lotes, tendo-se como estudo de caso o Município de São João de Meriti e para isso utilizar o Modelo de Células como ferramenta de gerenciamento de recursos hídricos.

Ressalta-se que este procedimento se fez necessário devido à ausência de monitoramento hidrometeorológico na área em estudo e desta forma, em termos de projeto de engenharia, os resultados não devem ser utilizados sem antes proceder à verificação da calibração através de medições de vazão em alguns pontos da bacia por ao menos um período hidrológico completo, de forma a obter-se uma curva-chave, além de levantamento de seções transversais e instalação de um posto pluviométrico, dentre outros aspectos necessários. Estes procedimentos são interessantes de forma a compararem-se os níveis e vazões de saída do modelo aos dados de campo e assim obter-se melhor calibração, para um evento pluviométrico medido. Observa-se que neste trabalho, utiliza-se um evento de chuva real, para o qual não existem as correspondentes medições de vazões e níveis nas calhas.

A Tabela 4.1 a seguir apresenta os valores finais utilizados para as simulações, após diversas tentativas no processo de calibração.

Tabela 4.1 – Parâmetros da Calibração Hidráulica.

Parâmetro	Valor Adotado
Coeficiente de Manning do rio Sarapuí	0,04
Coeficiente de Manning das valas	0,04
Coeficiente de Manning das galerias principais	0,05
Coeficiente de Manning da micro-drenagem	0,05
Coeficiente de Manning das ruas e ligações de planície	0,07
Coeficiente de vertimento frontal	0,10
Coeficiente de vertimento lateral	0,013
Coeficiente de orifício	0,6 a 0,7
Coeficiente de run-off	0,52 a 0,77

4.4.1 Condições Iniciais.

Os níveis de água iniciais foram considerados como zero para as células de planícies. Para as galerias, valas, canais de drenagem e reservatório pulmão foram considerados tirantes de água inicial, procurando-se reproduzir a vazão de base.

4.4.2 Condições de Contorno

A área modelada neste estudo não é definida conceitualmente como uma bacia hidrográfica, já que é um “recorte” sobre a bacia do rio Sarapuí, de forma a trabalhar-se apenas com os dados cartográficos da região de interesse direto para os estudos e assim simplificar e reduzir o trabalho de divisão de células, extração de dados e arquivos de entrada, o que inviabilizaria o mesmo.

Faz-se necessário, portanto que as condições existentes para o trecho de montante do recorte sejam trazidas para os pontos de fronteira da modelagem, de forma a se poder enxergar de forma apropriada e próxima da realidade este “recorte” adotado como área de estudo.

Para as valas e canais, esta condição se refere às suas vazões de base no momento em que se inicia a simulação.

A jusante do rio Sarapuí foi inserida a condição de maré na Baía de Guanabara. A condição de contorno da maré foi obtida com base no relatório HICON de novembro de 1998 (item 4.2 Estudo dos níveis d'água a jusante das comportas). Este estudo determinava valores médios para as oscilações máximas e mínimas da maré. No relatório, utilizava-se como condição de contorno uma senóide considerando a média das preamares na cota + 0,75 m e a média das baixa-mares na cota - 0,25 m.

Com as cartas na escala 1:10.000 foram retirados os dados necessários para gerar as condições de contorno utilizadas na modelagem da região. No total foram inseridas vinte condições de contorno, sendo treze geradas a partir do Método do *Soil Conservation Service*, e seus respectivos hidrogramas de vazões de projetos para o tempo de recorrência de 20 anos. Os procedimentos envolvidos neste cálculo são mostrados no Anexo A.

Tabela 4.2 – Dados para geração das condições de contorno a partir do Método do *Soil Conservation Service*.

Canal	L (Km)	L (m)	H1	H2	Dh (m)	Tc (h)	Tc (min)	A (Km ²)
Prata	15,0	15.000,00	0,6	155,0	154,4	3,10	185,97	9,80
Dona Eugênia	22,0	22.000,00	1,5	550,0	548,5	2,96	177,67	16,80
Peri-Peri	4,0	4.000,00	3,0	22,0	19,0	1,51	90,52	2,50
V. Distinção	5,0	5.000,00	0,0	30,0	30,0	1,64	98,25	2,40
V. Redentor	2,4	2.400,00	0,0	12,0	12,0	1,00	59,89	1,10
V. Alex Magno	2,0	2.000,00	-0,4	12,0	12,4	0,80	47,98	0,40
V. São Bento	5,2	5.200,00	-0,6	22,0	22,6	1,91	114,58	1,30
V. Sta. Tereza	4,4	4.400,00	-1,2	24,0	25,2	1,51	90,66	2,20
V. S.E. Furnas	2,2	2.200,00	-1,3	15,0	16,3	0,80	48,11	1,10
V. Gaspar Ventura	7,0	7.000,00	-1,8	30,0	31,8	2,36	141,78	5,50
V. Kennedy G. Freire	5,8	5.800,00	-2,0	10,0	12,0	2,77	165,95	2,90
Cont 66	0,8	815,00	2,0	10,0	8,0	0,34	20,11	0,54
Cont 83	0,7	675,00	7,2	15,0	7,8	0,27	16,33	0,33

Sendo:

L : comprimento do rio,

H1: cota mínima da sub-bacia,

H2: cota máxima da sub-bacia,

Dh: variação da cota na sub-bacia,

Tc: tempo de concentração,

A: área da sub-bacia.

A condição de contorno do efeito do reservatório de amortecimento do Gerecinó foi inserida de acordo com o relatório 0308-RE-0410_HS-003/0 da Hidroconsult (Hidroconsult, 1991), que indica a vazão máxima efluente do reservatório para um tempo de recorrência de 20 anos como sendo de 33,7 m³/d.

4.4.3 Chuva de Projeto

Para a obtenção das chuvas de projeto foi adotado o estudo de chuvas intensas na bacia do rio Iguaçu/Sarapuí, realizado pelo laboratório de Hidrologia da COPPE /

UFRJ, Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí, de novembro de 1994. Foram utilizados neste estudo os postos pluviográficos de Nova Iguaçu e de Xerém, e os postos pluviométricos de Bangu e de São Bento.

As Tabelas 4.3 e 4.4 apresentam as chuvas intensas de Bangu e de São Bento para tempos de duração de 1 h a 15 h e tempos de recorrência de 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Tabela 4.3 (Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu/Sarapuí, Laboratório de Hidrologia, COPPE/UFRJ)

Estação pluviométrica de Bangu
Precipitações máximas para diversas durações

Duração (horas)	Tempo de Recorrência (anos)				
	5	10	20	50	100
1	64,2	73,0	80,6	93,4	101,7
2	78,5	90,5	101,3	117,6	128,8
3	86,9	100,7	113,3	131,7	144,6
4	92,9	107,9	121,9	141,7	155,8
5	97,5	113,6	128,5	149,5	164,5
6	101,3	118,1	134,0	155,8	171,6
7	104,5	122,0	138,5	161,2	177,6
8	107,2	125,4	142,5	165,9	182,8
9	109,7	128,4	146,0	170,0	187,4
10	111,8	131,0	149,2	173,6	191,5
11	113,8	133,4	152,0	176,9	195,2
12	115,6	135,6	154,6	180,0	198,6
13	117,3	137,6	157,0	182,8	201,7
14	118,8	139,5	159,2	185,3	204,6
15	120,2	141,2	161,2	187,7	207,3
24 horas	129,9	153,1	175,3	204,0	225,6

Tabela 4.4 (Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu/Sarapuí, Laboratório de Hidrologia, COPPE/UFRJ)

Estação pluviométrica de São Bento
Precipitações máximas para diversas durações

Duração (horas)	Tempo de Recorrência (anos)				
	5	10	20	50	100
1	65,7	74,4	81,9	94,7	102,9
2	80,4	92,2	102,9	119,2	130,3
3	89,0	102,6	115,2	133,5	146,3
4	95,1	110,0	123,9	143,6	157,6
5	99,8	115,7	130,6	151,5	166,4
6	103,6	120,4	136,1	157,9	173,6
7	106,9	124,4	140,8	163,4	179,7
8	109,7	127,8	144,8	168,1	185,0
9	112,2	130,8	148,4	172,2	189,6
10	114,5	133,5	151,6	175,9	193,8
11	116,5	136,0	154,5	179,3	197,5
12	118,3	138,2	157,1	182,4	200,9
13	120,0	140,3	159,5	185,2	204,1
14	121,6	142,2	161,8	187,8	207,0
15	123,1	144,0	163,8	190,3	209,8
24 horas	132,9	156,0	178,1	206,8	228,2

As equações de chuvas intensas de Nova Iguaçu e de Xerém foram estabelecidas associando-se a intensidade da chuva à sua duração, para cada tempo de recorrência. Foram ajustadas equações do tipo:

$$i = \frac{A}{(t + t_0)^b}$$

Onde:

i – intensidade, em mm/h

t – duração da precipitação, em min.

A, t_0 e b – parâmetros ajustados para cada tempo de recorrência.

As tabelas 4.5 e 4.6 apresentam os parâmetros das equações de chuvas intensas de Nova Iguaçu e de Xerém para os tempos de recorrência de 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Tabela 4.5 (fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu/Sarapuí, Laboratório de Hidrologia, COPPE/UFRJ)

Equação de chuvas intensas
Estação pluviográfica de Nova Iguaçu

Parâmetros	Tempo de Recorrência (anos)				
	5	10	20	50	100
A	1257	1348	1422	1521	1605
b	0,7633	0,7544	0,7488	0,7347	0,7299
t_0	6	6	6	6	6

Tabela 4.6 (fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu/Sarapuí, Laboratório de Hidrologia, COPPE/UFRJ)

Equação de chuvas intensas
Estação pluviográfica de Xerém

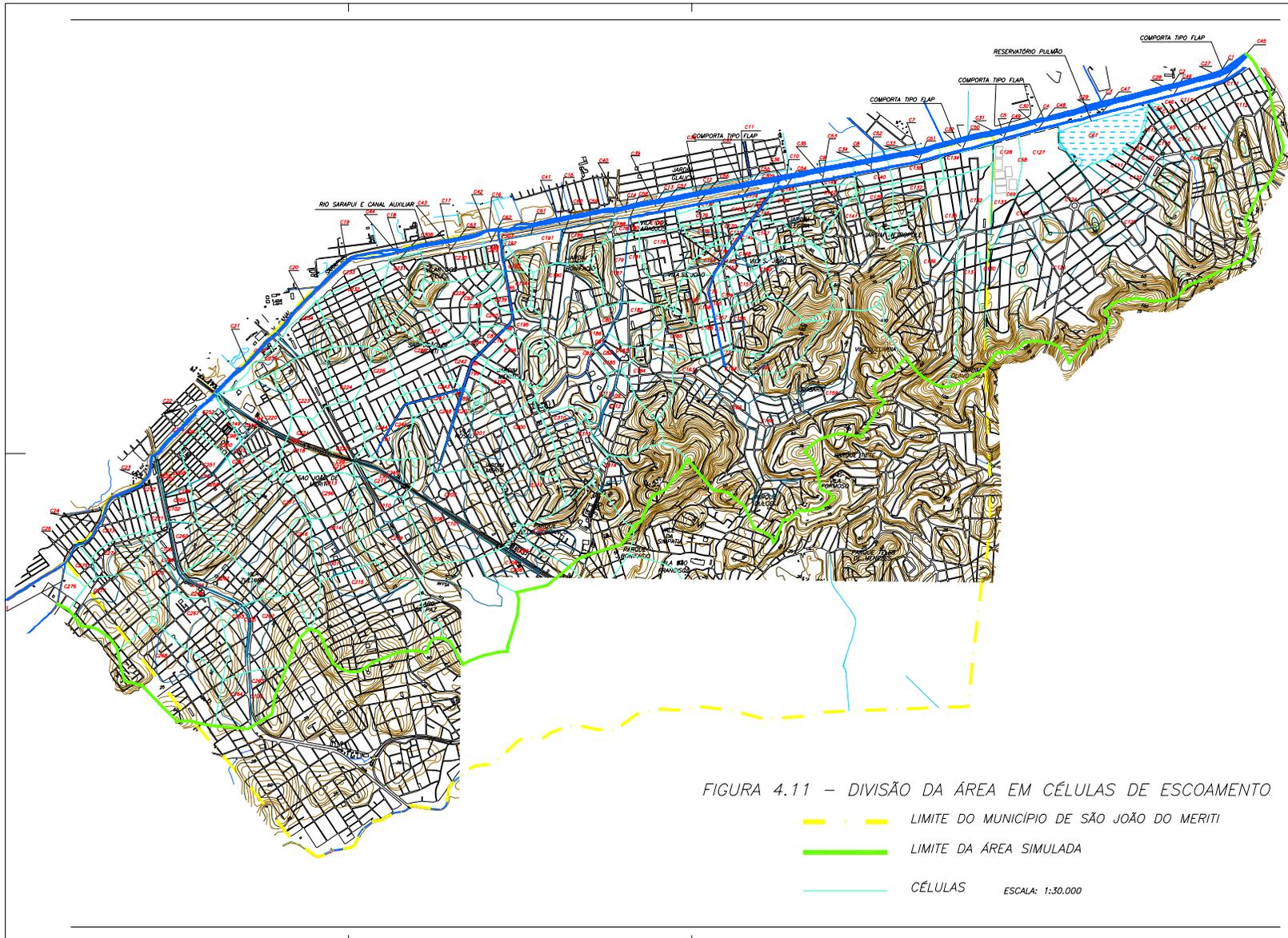
Parâmetros	Tempo de Recorrência (anos)				
	5	10	20	50	100
A	1059	1047	1043	1058	1078
b	0,6754	0,6464	0,6232	0,6006	0,5873
t_0	14	14	14	14	14

A distribuição espacial para ponderação das chuvas dos postos foi feita com o emprego das curvas de redução ponto-área desenvolvidas pela SERLA/SONDOTÉCNICA, “Procedimentos para Reavaliação das Vazões e Linhas d’água para os Projetos de Macrodrenagem das Bacias” (SERLA/SONDOTÉCNICA, 1991), a partir do estudo dos temporais ocorridos no Rio de Janeiro em 1966 e 1967.

4.5 Obtenção dos Dados para Modelagem, Calibração e Simulações.

A primeira fase do trabalho se constituiu na divisão da área em estudo em células de escoamento. A célula será a unidade de informações de um determinado local ou área da bacia. Para uma célula são fornecidos ao modelo diversos parâmetros topográficos e hidráulicos de forma a possibilitar os cálculos dos parâmetros hidráulicos necessários à avaliação do problema. A divisão em células é realizada tendo-se como objetivo discretizar as particularidades de cada local, ou seja, uma região será dividida em um maior número de células ou em células de menores áreas de acordo com o interesse que se terá de avaliar os resultados das simulações nestes locais. Os locais que não são considerados problemáticos quanto à ocorrência de inundações ou que tem suas características bem definidas podem ser representados por células maiores ou menor número de células. Obviamente, estas possibilidades estão limitadas a escala das cartas topográficas e cadastrais existentes e disponíveis para o estudo. Quanto maior a escala, maior a possibilidade de discretização dos locais. Para o Modelo de Células aplicado a áreas urbanas é indicado trabalhar-se com cartas nas escalas de 1:10.000 a 1:2.000, devido às informações necessárias a serem obtidas.

Assim, de posse da base cartográfica obtida da Fundação CIDE foi executada a divisão da área em células de escoamento e procedeu-se à extração dos dados necessários a entrada de dados para a simulação utilizando-se o Modelo de Células (Figura 4.11).



Após a montagem de todos os arquivos de entrada necessários foram realizadas diversas simulações para a Situação Atual da bacia, de forma a obter-se os resultados mais próximos possíveis aos das informações existentes na Figura 4.2, que mostra os locais mais sujeitos a alagamentos na região. Ressalta-se que para o trecho correspondente ao Município de Duque de Caxias, estas informações não estiveram disponíveis. Desta forma, a calibração considerou esta área como sendo de inundações freqüentes, por ser correspondente ao reservatório pulmão. Como descrito anteriormente, esta calibração se deu de forma qualitativa.

Observa-se que para a rede de microdrenagem, não cadastrada ou inexistente em alguns trechos, foi adotada a hipótese de existência de tubulações de microdrenagem de 40 cm de diâmetro, de forma a possibilitar a avaliação da aplicação dos microreservatórios em lotes.

Após considerar-se satisfatória a calibração e obter-se a situação atual de inundações da área estudada, que pode ser observada na Figura 4.12, iniciou-se a extração dos dados e montagem dos arquivos de entrada para a simulação dos microreservatórios em lotes.

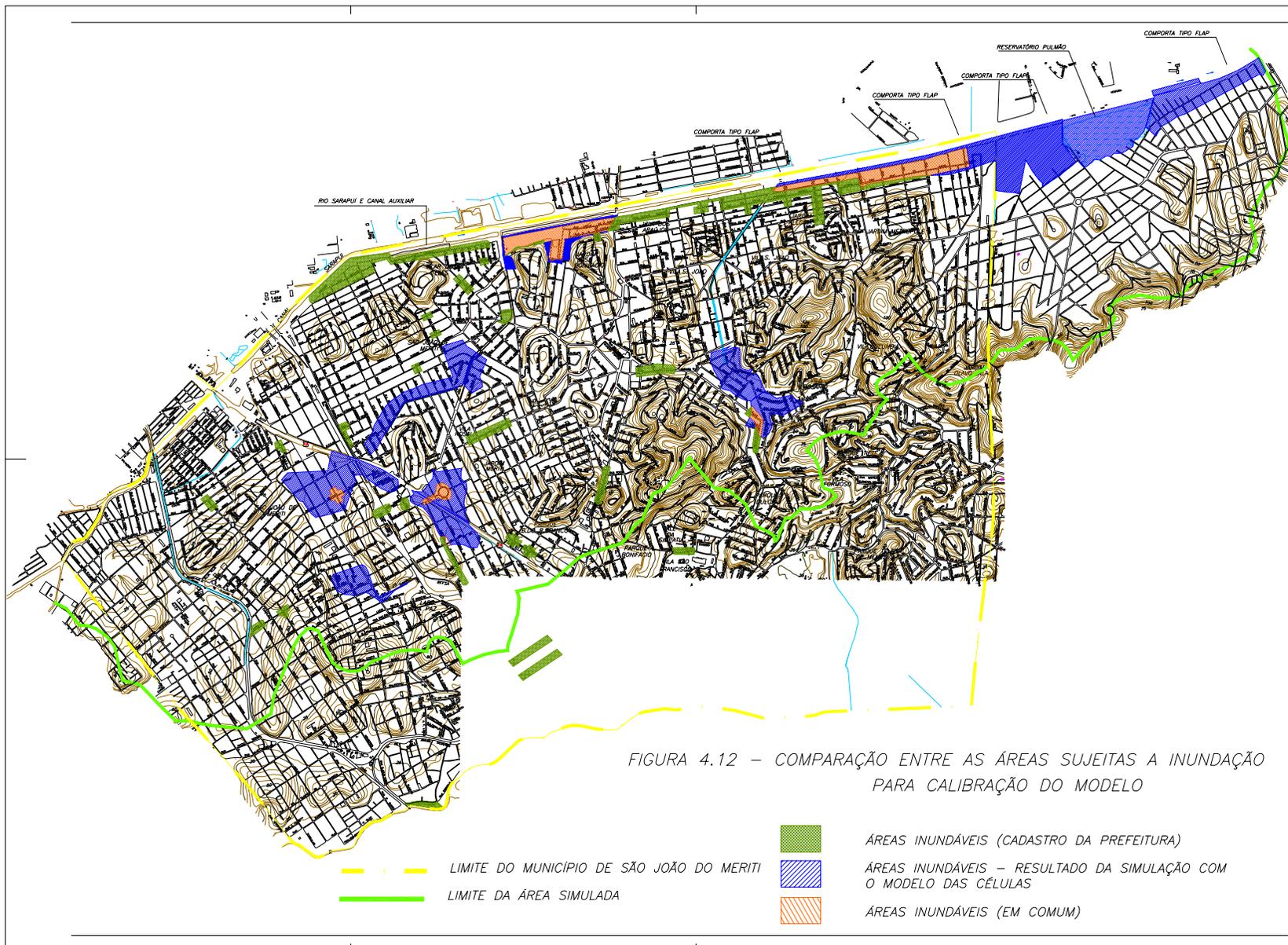


FIGURA 4.12 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÃO PARA CALIBRAÇÃO DO MODELO

4.5.1 Os Microreservatórios em Lotes.

Na modelação para a implementação dos microreservatórios em lotes, cada célula de planície modelada passa a se subdividir em duas: uma delas representa as áreas de ruas, estacionamentos e calçadas e a outra representa a área dos lotes, que servirá para contribuição ao reservatório, com uma curva cota x área, que representa o próprio reservatório de acumulação. Quando o reservatório tem seu volume esgotado inicia o vertimento para as calçadas e ruas.

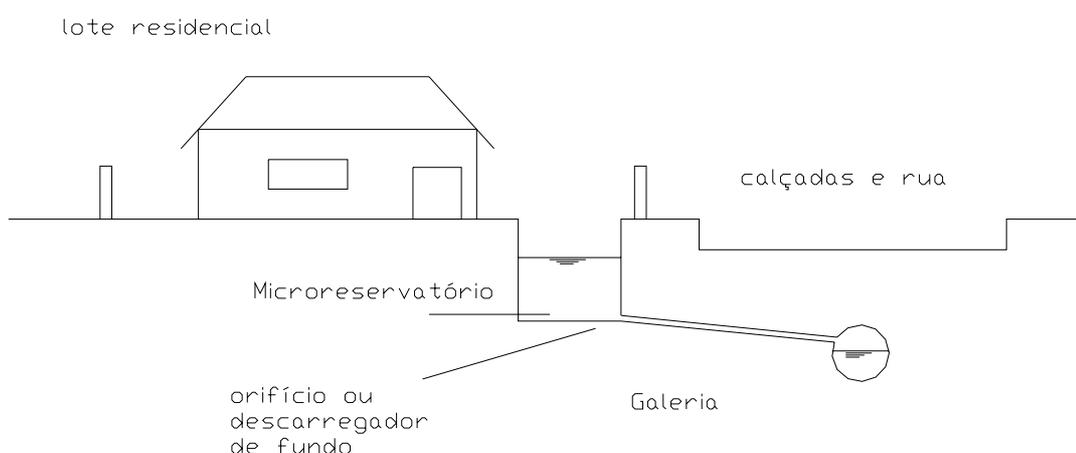


Figura 4.13 – Desenho esquemático da configuração dos microreservatórios em lotes.

Para este estudo foram adotados microreservatórios cúbicos de volume igual a 1 m^3 e saída para a rede de microdrenagem por meio de orifício de 1 polegada, de forma a padronizar a aplicação nos diversos pontos da bacia e poder-se comparar os resultados de forma coerente e uniforme.

Os lotes foram considerados com tamanho padronizado de 450 m^2 ($15 \text{ m} \times 30 \text{ m}$) e uma célula teve sua área dividida estimativamente em 50% para lotes e 50% para ruas, calçadas, parques, terrenos vazios e estacionamentos. Considera-se que esta aproximação está apropriada tomando por base a observação dos mapas disponíveis, as visitas locais e o fato de que não foram discriminadas células específicas para áreas elevadas de morros ou trechos mais baixos de beira de rios.

O objetivo da aplicação é o de amortecimento de vazões ao nível de lote de forma a obter-se reduções nos níveis de água nos diversos pontos da bacia.

Como a aplicação está relacionada ao tamanho do lote e conseqüentemente ao tamanho da célula, na análise dos resultados deverá ser observada a diferença no impacto da aplicação em diversos grupos pelos fatores topográficos, hidrológicos e ainda pela área da célula considerada naquela simulação, já que as células maiores terão mais microreservatórios e assim a tendência seria de que para as mesmas condições ocorresse um maior amortecimento. Isso não será regra devido as diferentes condições de escoamento e topografia em cada uma dela, assim, os diversos fatores deverão ser analisados minuciosamente.

4.5.2 Grupos de Células para Simulação dos Microreservatórios em Lotes.

Para a avaliação da aplicação dos microreservatórios em lotes, com o objetivo de se realizar uma análise espacial da intervenção, definiu-se por considerar as células modeladas em conjuntos ou grupos de células, de acordo com as configurações topográficas e do escoamento hidráulico de cada área da região simulada. Esta opção permitiu reduzir o número de simulações, que seria muito exagerado em uma análise individual por célula, e desta forma focar as análises em termos de observação de resultados.

Este grupo de células não existe como exigência formal em termos de modelagem matemática, sendo apenas uma forma de selecionar-se células de uma região que tenham um mesmo padrão de escoamento ou topografia similar, de forma a implementar os microreservatórios em lotes simultaneamente em suas áreas e assim obter conclusões quanto aos efeitos integrados que terão sobre as demais regiões da bacia. A utilização desta metodologia se deve também pelo fato de as células de escoamento serem de reduzidas dimensões, não gerando impacto significativo na rede de macrodrenagem. Assim, estes agrupamentos não se definem como requisitos dentro da modelação matemática ou entrada de dados, sendo apenas uma abstração para efeitos de raciocínio e análise dos resultados das implementações simultâneas em um conjunto de células de características similares.

Assim, para efeitos de entrada de dados no modelo, serão modificadas as células que compreendem determinado grupo. A Figura 4.14 mostra um recorte da área em questão com a divisão em células realizada para a entrada de dados no modelo e através da qual foi simulada a situação atual da bacia, sem intervenções. Estas células foram assim definidas como um grupo, de forma a avaliar-se o efeito da

implementação dos microreservatórios em lotes nesta área. Na Figura 4. 15 ilustra-se o este agrupamento.

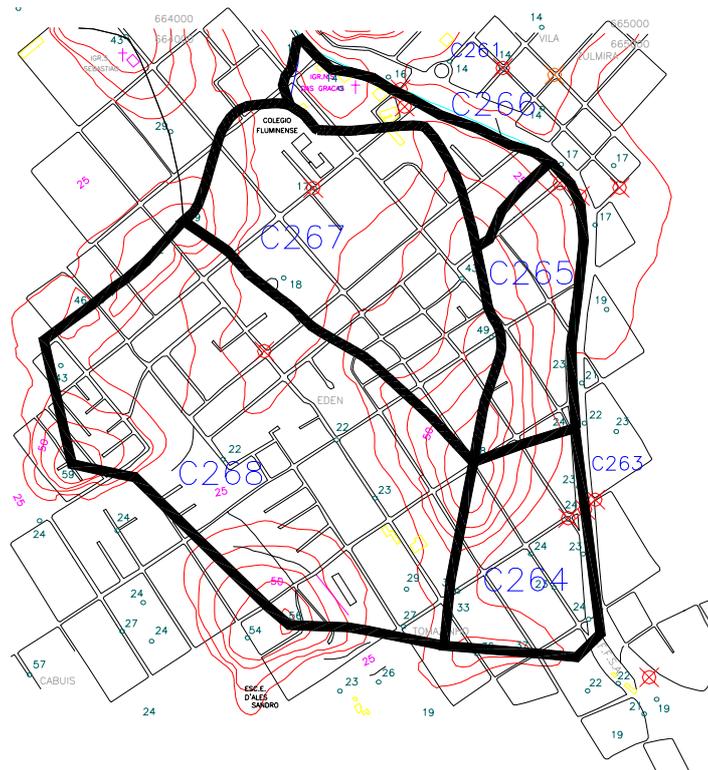


Figura 4.14 – Recorte extraído da área simulada mostrando a divisão em células.

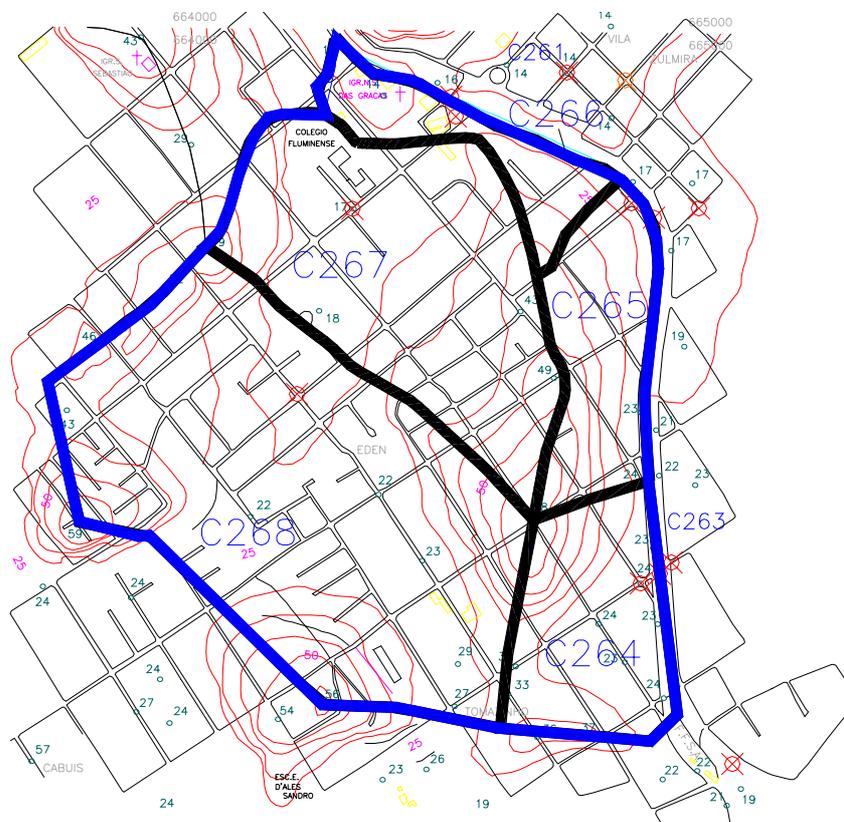


Figura 4.15 – Em azul, ilustração de um conjunto ou grupo de células.

Assim, as 468 células foram agrupadas em 28 áreas, chamadas simplesmente de grupos, ou grupos de células. Nas Figuras 4.16 e 4.17, pode-se observar os 28 grupos estudados. Procurou-se definir um grupo de células a partir de um conjunto de células com o mesmo padrão de escoamento e de topografia, pois a partir destes vários padrões espera-se identificar os mais interessantes para a aplicação dos microreservatórios em lotes.

Para cada um dos 28 grupos foi realizada a simulação para a implementação de microreservatórios em lotes em sua área. As condições iniciais e condições de contorno não foram alteradas com relação à simulação da situação atual da área em estudo.

No Capítulo 5 tem-se a análise dos resultados obtidos.

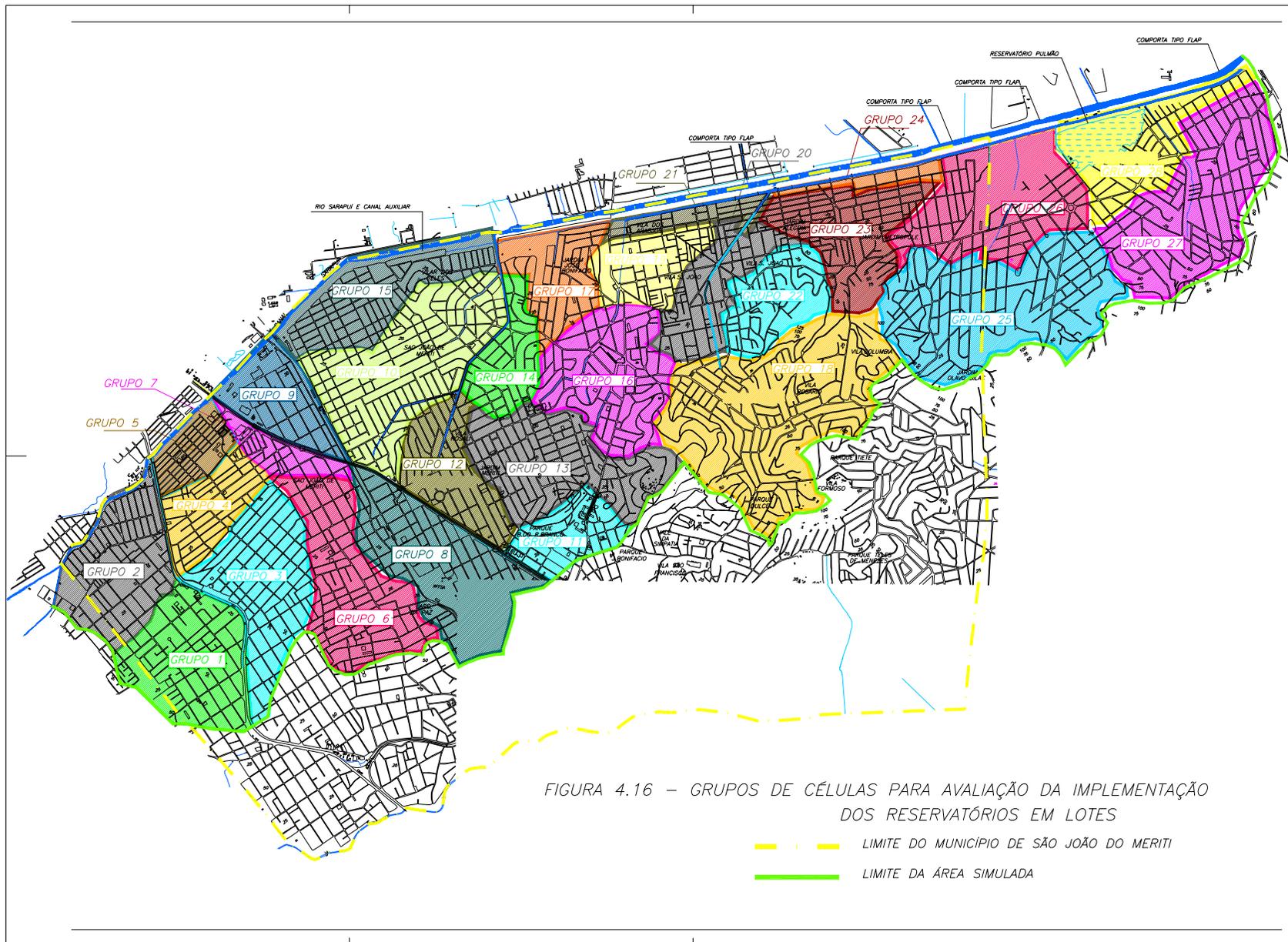
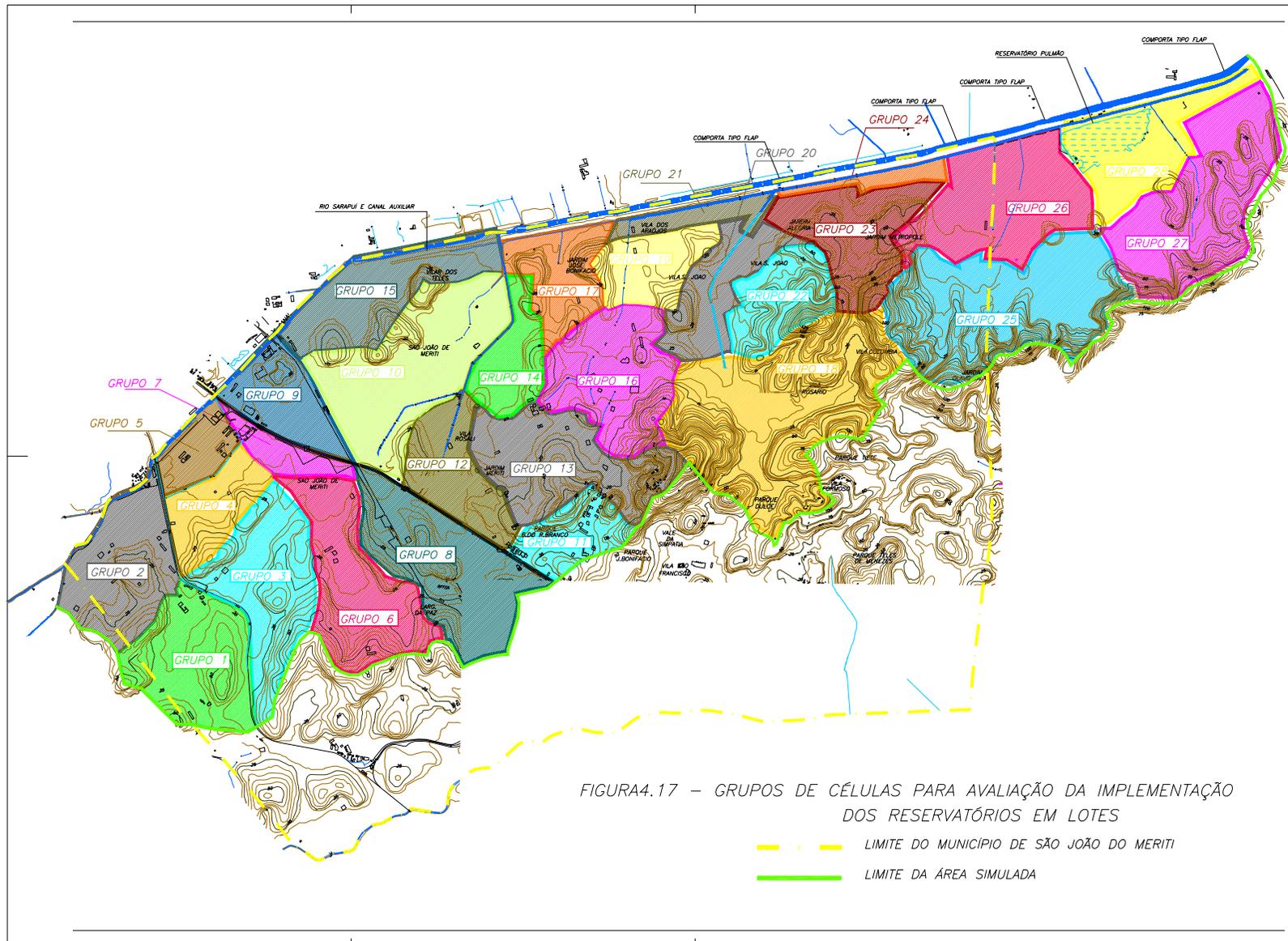


FIGURA 4.16 – GRUPOS DE CÉLULAS PARA AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS EM LOTES

- LIMITE DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO MERITI
- LIMITE DA ÁREA SIMULADA



5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Metodologia para Análise dos Resultados

Neste capítulo os resultados obtidos nas simulações realizadas são analisados em termos locais e em termos espaciais.

Em uma primeira etapa, a análise é feita com relação a cada grupo de células separadamente, verificando-se os aspectos da influência da implementação dos microreservatórios em lote em cada um dos grupos nos níveis de água de cada um dos demais grupos e ainda a influência da implementação sobre o próprio grupo em questão.

Em uma segunda parte, os resultados gerais serão computados e agora analisados de forma espacial, com o objetivo de verificar os locais mais interessantes com vistas a possível utilização de microreservatórios em lotes dentro da área do Município de São João de Meriti avaliada de maneira a se ter um resultado potencializado.

As análises realizadas são subsidiadas por gráficos, desenhos e arquivos de saída do modelo, conforme descrito abaixo:

- Os desenhos apresentados anteriormente, nas Figuras 4.1, Figura 4.12, Figura 4.16 e Figura 4.17;
- Figuras com “recortes” da base topográfica utilizada com o detalhe da região vizinha a cada grupo, de forma a observar-se a configuração topográfica e a tendência de escoamento entre as células;
- Gráficos apresentando os cotogramas resultantes das simulações para cada um dos grupos com relação ao grupo em análise;
- Níveis de água de saída para as diversas células de planície, galerias e rios;
- A Matriz de Influência, apresentada na Tabela 5.1, na qual observa-se a influência entre os grupos para alteração nos percentuais de tirante de água máximo de forma a identificar a influência da implementação de microreservatórios em lotes na área de determinado grupo com relação aos demais grupos. Em uma linha tem-se o efeito que a simulação para os microreservatórios em lotes do grupo apresentado naquela linha gera sobre todos os outros grupos colocados nas colunas.

Tabela 5.1 - Matriz de Influência da simulação de cada grupo na redução percentual dos Tirantes Máximos nos demais grupos.

Cenário Simulado	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20	G21	G22	G23	G24	G25	G26	G27	G28
G1	50,44	10,70	9,65	4,82	4,27	2,15	1,86	0	1,52	0,55	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0,18	0	0,06
G2	0	19,56	0	7,23	2,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0,18	0	0,00
G3	0	0	55,21	3,37	2,85	11,96	8,97	0	7,36	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0,27	0	0,06
G4	0	0	0	39,76	38,18	0	0,17	0	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0,36	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0,27	0	0,19
G5	0	0	0	0	31,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,79	0	0,27	0	0,13
G6	0	0	2,32	0	0,28	61,81	42,47	0	40,69	22,05	0	0	0	0,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,52	0	0,36	0	0,06
G7	0	0	0,19	0	0,57	5,52	49,07	0	46,75	24,41	0	0	0	1,31	0	0	0,36	0	0	0	0	0	0	0,52	0	0,18	0	0,06
G8	0	0	0,19	0	0	5,21	38,07	69,3	33,33	26,69	0,25	76,79	0	3,11	0	0	0,30	0	0	0	0	0	0	0,61	0	0,09	0	0,06
G9	0	0	0	0	0,57	1,69	4,91	0	47,84	24,49	0	0	0	2,27	0,39	0	0,30	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0,18	0	0,06
G10	0	0	0	0	0	-0,15	0,85	0	6,28	77,56	0	0,67	0	54,72	0	0	1,86	0	0	0	0	0	0	0,79	0	0,64	0	0,25
G11	0	0	0	0	0	0	0	5,61	0	0	43,64	8,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G12	0	0	0	0	0	0	0,17	-4,69	0	0,16	0	58,43	0,45	2,99	0	0	0,66	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0,09	0	0,06
G13	0	0	0	0	0	0	0,34	0,11	0,22	0,71	0	-2,00	47,07	12,78	0	15,40	0,90	0	3,55	0	0	0	0	0,87	0	0,45	0	0,19
G14	0	0	0	0	0	0	0,68	0	0,65	2,83	0	0,50	0	59,50	0	0	2,15	0	0	0	0	0	0	0,35	0	0,18	0	0,13
G15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	30,31	0	0,60	0	0	0	0	0	0	0,87	0	0,55	0	0,25
G16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32,55	0,06	0	13,78	0	0	0	0	0,96	0	0,55	0	0,44
G17	0	0	0	0	0	0	0,17	0	0	0,39	0	0	0	4,30	0	0	76,54	0	0	0	0	0	0	2,54	0	2,36	0	1,65
G18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	60,58	-0,42	6,09	0,47	0	0	4,29	0	3,27	0	1,65
G19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,12	0	0	-0,06	0	52,82	0,0	1,87	0	0	0,96	0	0,45	0	0,32
G20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,06	0	-0,21	30,75	6,54	0,35	0,57	0,35	0	-0,36	0	0,19
G21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	21,50	0	-0,29	0,79	0	0,91	0	0,13
G22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	8,03	0,47	21,20	0	0,35	0	0,09	0	0
G23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	-0,28	0	0	23,28	2,01	0	0,73	0	0,25
G24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	-1,04	0	0	0	-1,44	49,17	0	35,00	0	13,24
G25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0,61	34,11	0,18	0	0,38
G26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	-0,42	0	0	0	0	22,31	0,58	62,2	0	23,38
G27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0,17	0	0	19,25	-0,13
G28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,06	0	0	0	0	0	0	13,65	0	20,82	0	16,98



reduções abaixo de 5% sobre os tirantes entre grupos
 reduções acima de 5% sobre os tirantes entre grupos



aumento dos tirantes em um grupo
 redução sobre os tirantes do próprio grupo

5.2 Análise dos Resultados com Relação a cada Grupo.

5.2.1 Região do GRUPO 1.

O grupo 1 está localizado a montante na área simulada e caracteriza-se por células de encosta. Seus limites de montante são também linhas de cumeada da área em estudo, de forma que não recebe contribuição de outras áreas de drenagem e somente contribui para os pontos a jusante de sua localização, conforme se observa na Figura 5.3.

5.2.1.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 1.

Para a implementação de microreservatórios em lotes nos demais grupos estudados não há alterações nos resultados do cotograma do grupo 1, como pode ser observado pela Tabela 5.1, resultado explicado pelo fato de representar área de montante da bacia.

5.2.1.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 1.

Ao analisar-se o cotograma da Figura 5.2, observa-se que a implementação de microreservatórios em lotes na área do grupo 1 tem impacto positivo sobre os níveis de água do próprio local, com amortecimento interessante. Na curva amortecida, o novo pico da cheia, apresenta um decréscimo de cerca de 20 cm. Como a região não recebe contribuições de montante, no início do evento, observa-se na curva amortecida que os níveis do trecho inicial já são inferiores aos da situação atual, mostrando assim o funcionamento dos microreservatórios. No trecho de recessão da curva, os níveis de água são superiores aos do Cotograma Original, o que é um resultado típico para funcionamento de reservatórios. Entretanto, como os reservatórios em lotes propostos redirecionam os escoamentos superficiais para as galerias de drenagem e como os gráficos de controle estão sendo apresentados para as ruas, percebe-se que, em determinado tempo, as galerias começam a funcionar sob pressão, os reservatórios esgotam seus volumes e há vertimento de água para as planícies. Ao considerar-se o efeito da implementação dos microreservatórios em lotes no grupo 1 sobre o restante da bacia, observa-se que há influência positiva nos tirantes dos grupos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 17, 24, 26 e 28, conforme Tabela 5.1.

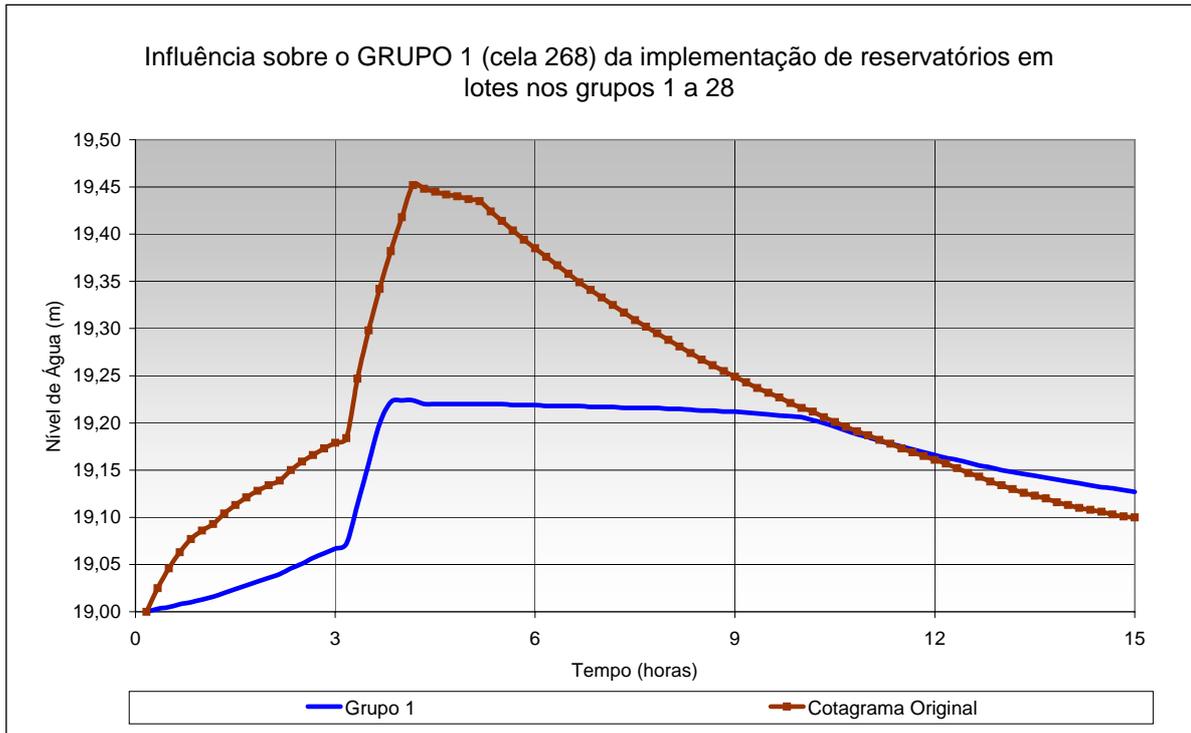


Figura 5.2 – Cotogramas para a célula 268 – GRUPO 1.

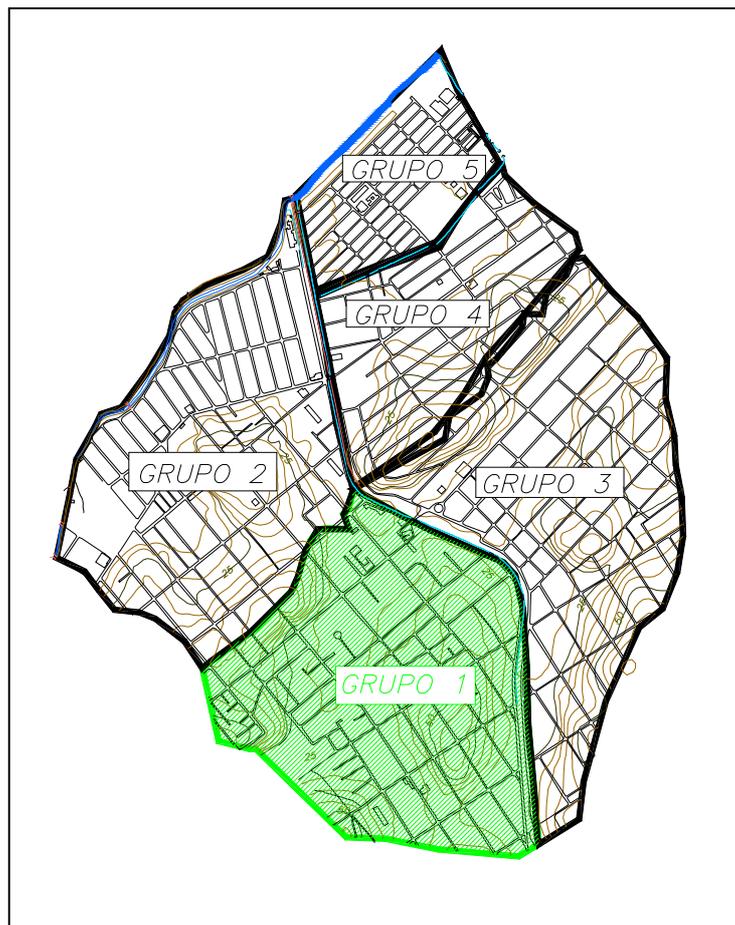


Figura 5.3 – Configuração Topográfica na área vizinha ao Grupo 1.

5.2.2 Região do GRUPO 2.

O grupo 2 está localizado à jusante do grupo 1 e sua área margeia o rio Sarapuí. Compreende áreas altas de morros e pontos mais baixos das margens do rio Sarapuí, como se pode observar na Figura 5.4.

5.2.2.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 2.

A Figura 5.5 mostra que a implementação de microreservatórios em lotes no grupo 1 influencia positivamente nos níveis de água do grupo 2, apresentando um amortecimento e redistribuição dos volumes ao longo do tempo de simulação.

5.2.2.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 2.

Da mesma forma, a implementação de microreservatórios em lotes no grupo 2 provoca amortecimento em sua própria região, apresentando redução do pico do tirante máximo, em percentual de cerca de 20%, conforme se verifica na Tabela 5.1 e Figura 5.5.

A célula tomada como representativa da inundação para o grupo 2 é uma célula de encosta, de forma que a utilização de microreservatórios em lote na mesma somente terá efeito de amortecimento nas áreas de planícies próximas. Em uma célula de encosta, a área de alagamento da mesma é bem inferior à área de contribuição, de forma que os níveis sobem rapidamente, assim como o esgotamento do volume dos reservatórios, e conseqüentemente a capacidade de vazão das galerias associadas não é suficiente e assim os níveis sobem na célula em estudo ocorrendo o extravasamento dos reservatórios, voltando a escoar superficialmente. Desta forma é interessante verificar o funcionamento do sistema em estudo com orifícios de maiores bitolas ou até com microreservatórios de maiores capacidades, para áreas com estas características.

A simulação realizada para o grupo 2 mostrou que a colocação de microreservatórios nos lotes de sua área também influencia positivamente nos níveis máximos dos grupos 4, 5, 24 e 26, conforme Tabela 5.1.

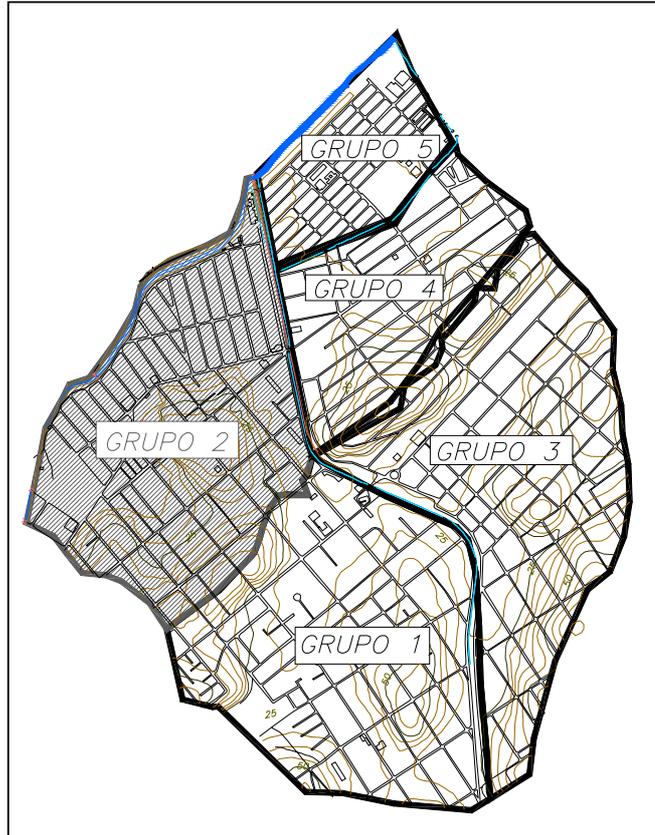


Figura 5.4 – Configuração Topográfica no entorno do Grupo 2.

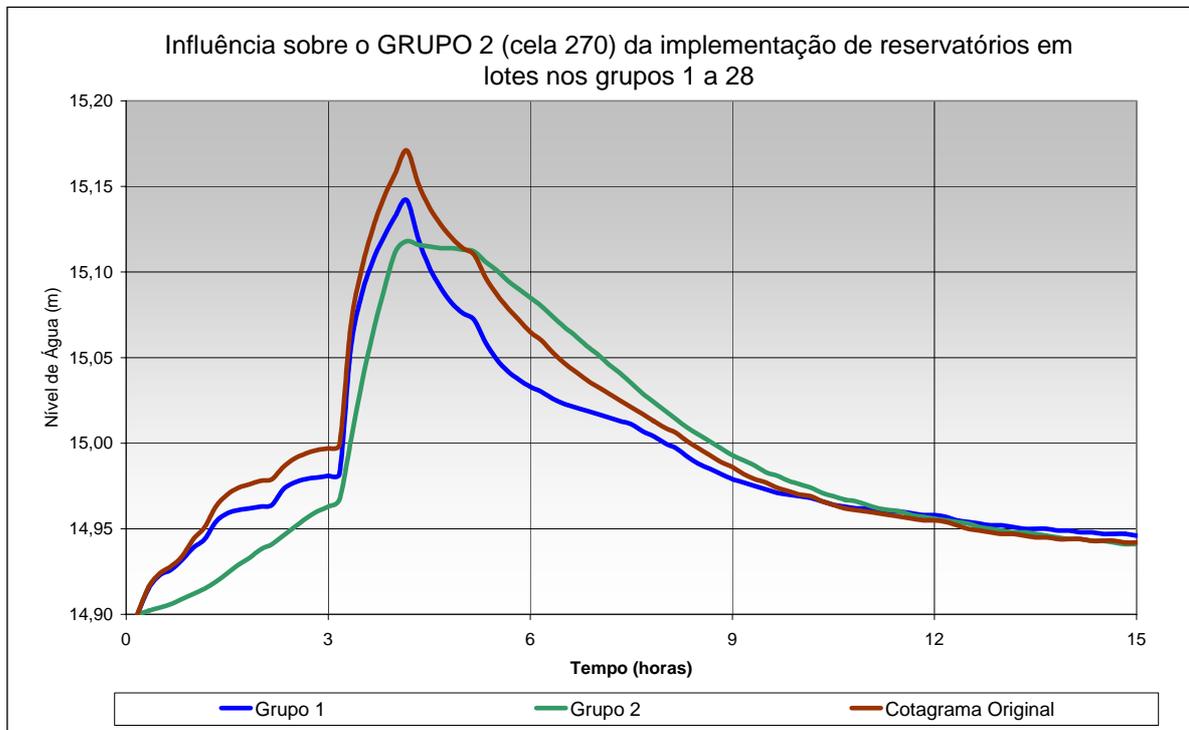


Figura 5.5 – Cotagramas para a célula 270 – GRUPO 2.

5.2.3 Região do GRUPO 3.

A região representada na simulação pelo conjunto de células do grupo 3 tem configuração topográfica de encosta (Figura 5.7).

5.2.3.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 3.

As implementações que produzem efeito sobre o grupo 3 são as realizadas nos grupos 1 e 6, que provocam amortecimentos de 9,65% e 2,32%, respectivamente, conforme se pode observar na Tabela 5.1 e na Figura 5.6.

5.2.3.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 3.

Os resultados obtidos para a simulação dos microreservatórios em lotes para o grupo 3 mostram amortecimento em sua própria área (Figura 5.6). A redução no pico da cheia é de cerca de 30 cm, observando-se que a ocorrência do pico é seguida de lenta descida de nível, próximo à cota de valor de cerca de 10 m. Esta lenta descida se explica pelo fato de a célula representativa ser em trecho baixo local, e desta forma, receber grande contribuição de vazão, ocasionando o afogamento das galerias e conseqüente vertimento dos microreservatórios. A implementação de microreservatórios no grupo 3 produz efeito de amortecimento nos grupos 4, 5, 6, 7, 9 e 10. Para as demais simulações os percentuais são reduzidos (Tabela 5.1)

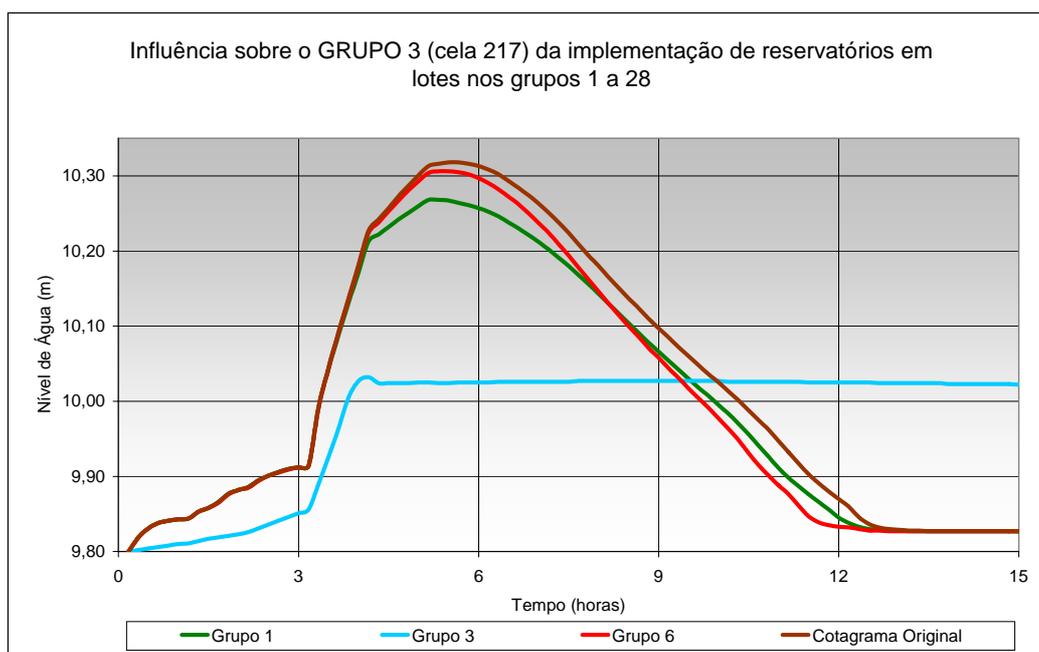


Figura 5.6 – Cotogramas para a célula 217 – GRUPO 3.

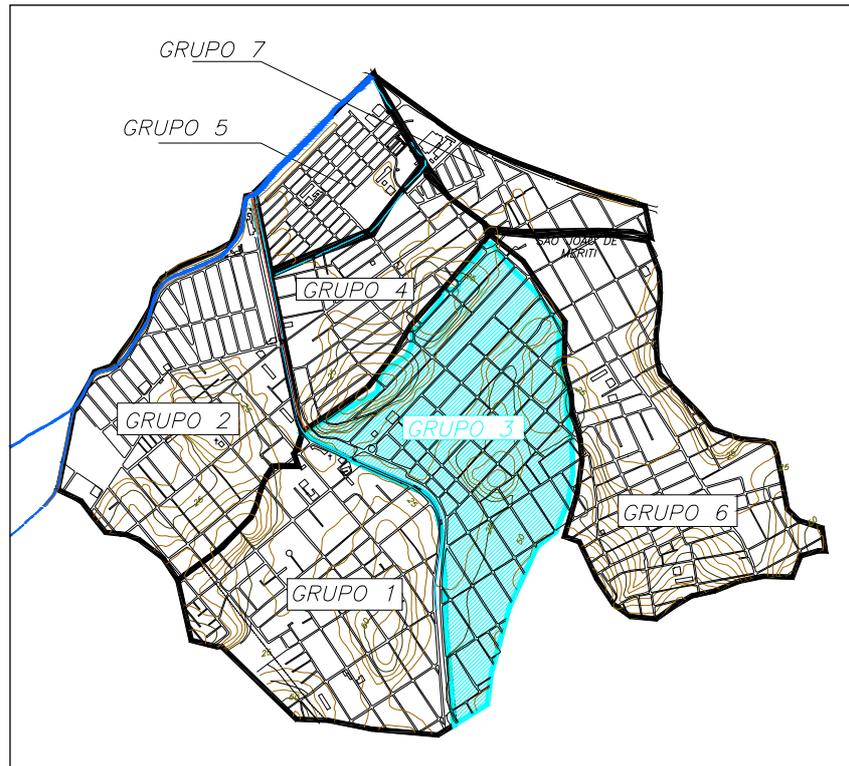


Figura 5.7 – Configuração Topográfica no entorno do Grupo 3.

5.2.4 Região do GRUPO 4.

O grupo 4 se localiza em posição intermediária na topologia, de forma que recebe contribuições de grupos a montante e contribui para grupos a jusante. Cerca de metade de sua área é constituída por “morrotes” e a outra parte por planícies, tendo assim uma configuração topográfica mista (Figura 5.9). Desta forma, observa-se uma concentração de água em suas áreas alagáveis, pois sua configuração topográfica permite uma rápida simulação dos escoamentos superficiais nos pontos mais baixos.

5.2.4.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 4.

A implementação dos microreservatórios em lotes nos grupos 1, 2 e 3 produz cotogramas com reduzido efeito de amortecimento para o grupo 4 (Figura 5.8).

5.2.4.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 4.

Ao analisar-se os resultados das simulações pela observação da Figura 5.8, com a implementação de microreservatórios em lotes no próprio grupo 4, percebe-se o amortecimento do evento, com redução do pico da cheia em cerca de 15 cm,

correspondendo a cerca de 40% com relação a situação original. O tempo de chegada do pico não é alterado.

Pela análise da Tabela 5.1 verifica-se que a implementação de microreservatórios em lotes no grupo 4 reduziria em cerca de 38% o valor do tirante máximo no grupo 5, localizado exatamente a jusante de sua área. Para os grupos 7, 10, 17, 24, 26 e 28 as variações são de percentuais reduzidos.

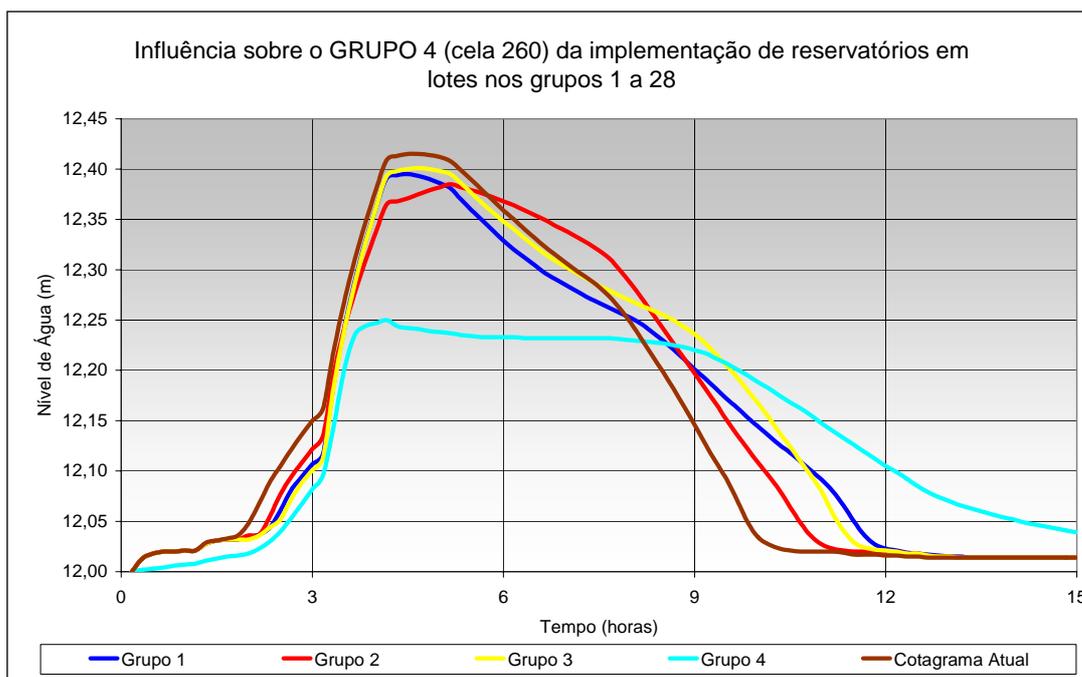


Figura 5.8 – Cotogramas para a célula 260 – GRUPO 4.

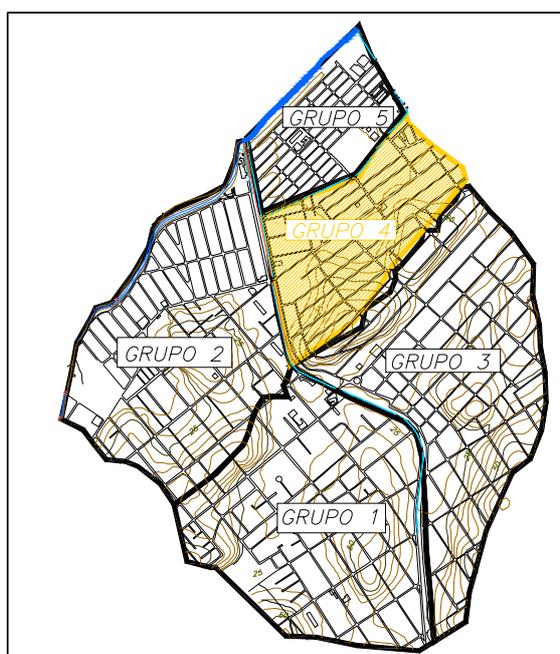


Figura 5.9 – Configuração Topografia no entorno do Grupo 4.

5.2.5 Região do GRUPO 5.

O grupo 5 está localizado em região de cotas baixas e totalmente plana, próximo ao canal auxiliar e rio Sarapuí, conforme Figura 5.10, estando abaixo dos grupos 1, 2, 3 e 4 em termos de configuração topográfica.

5.2.5.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 5.

Ao observar-se a Figura 5.11 com os cotagramas das simulações dos diversos grupos e os efeitos sobre o grupo 5, verifica-se que os níveis de água para o local de controle da região são reduzidos pela implementação de microreservatórios em lote no grupo 4, já que o mesmo é o principal contribuinte em termos de área de drenagem. Pela observação das curvas de cotagramas da Figura 5.11 e Tabela 5.1 percebe-se que o efeito da implementação de microreservatórios em lotes no grupo 4 é superior ao da implementação de microreservatórios em lotes no próprio grupo 5, pelo controle de vazões que afluem à sua área.

Analisando-se a Tabela 5.1, observa-se que a região representada pelo conjunto de células do grupo 5 é influenciada ainda pela colocação de microreservatórios em lotes nos grupos 1, 2 e 3, todos localizados a montante em termos de configuração topográfica. É ainda influenciado positivamente em menores percentuais pelos grupos 6, 7 e 9.

5.2.5.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 5.

Para a simulação realizada para a colocação de microreservatórios em lotes no grupo 5, verifica-se que, pela sua configuração topográfica baixa, as galerias em sua região são afogadas rapidamente e assim os microreservatórios tem seu funcionamento limitado para a opção adotada de estarem colocados 1 metro abaixo da cota do fundo da célula. Outros autores (TASSI, 2002) estudaram a configuração de o reservatório localizar-se a cotas acima do nível do terreno, mas a área de contribuição seria apenas a do telhado. Embora controlando uma área de contribuição menor, esta concepção provavelmente seria mais eficaz em regiões planas e baixas. Neste estudo esta opção não foi considerada por estudar-se a bacia de forma sistêmica espacialmente e não se observar os lotes em nível individual. Desta forma, todas as regiões foram tratadas com a mesma metodologia e concepção de projeto. Apesar

deste fato, o percentual de redução do pico por amortecimento para esta simulação é de cerca de 30%, conforme Figura 5.11.

Além do amortecimento em sua própria área, os resultados da implementação dos microreservatórios no grupo 5 praticamente não interferem nos demais grupos, conforme a matriz da Tabela 5.1, causando pequenas reduções nos níveis dos grupos 24, 26 e 28, trechos de jusante da área da bacia.

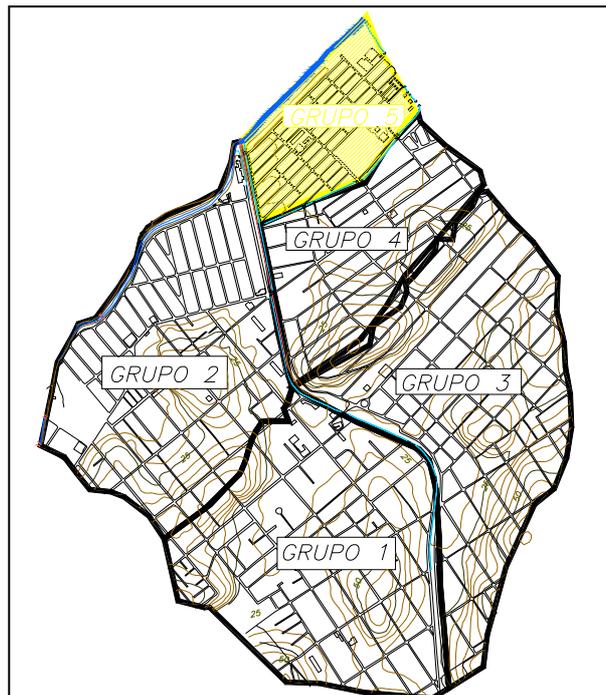


Figura 5.10 – Configuração Topográfica do Grupo 5

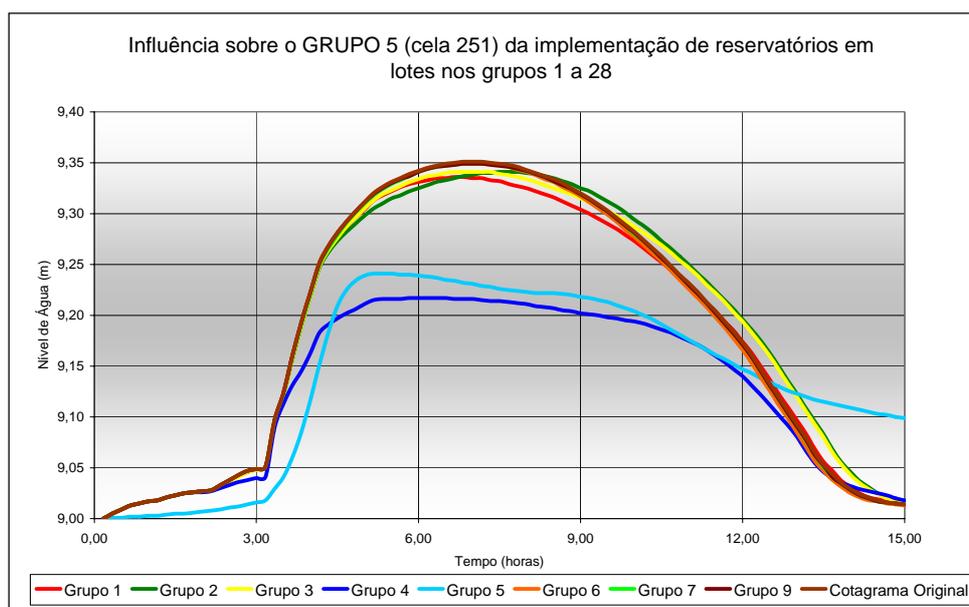


Figura 5.11 – Cotogramas para a célula 251 – GRUPO 5.

5.2.6 Região do GRUPO 6.

O grupo 6 representa região localizada entre “morrotes”, com configuração alongada indo de trechos altos a baixos (Figura 5.12). Sua área limite de montante consiste em linhas de cumeada da área em estudo, e pelas vizinhanças tem contribuições dos grupos 3 e 8, este último apenas contribuindo para o grupo 6, sendo de montante. Contribui diretamente para o grupo 7, localizado a jusante de sua área.

5.2.6.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 6.

A implementação de microreservatórios em lote em cada um dos grupos 1, 3, 7, 8 e 9 são benéficas para a região do grupo 6, conforme os cotagrama da Figura 5.13 e matriz da Tabela 5.1. Para o grupo 1, esta influencia pode ser definida como indireta, já que não há troca de contribuições. Ao implementar-se microreservatórios no grupo 1, há aumento de capacidade das galerias e canais de drenagem de jusante, possibilitando escoamento das águas deste grupo, dentre outros, de forma que há redução das cotas em pequenos percentuais. Este mesmo efeito é obtido pelas simulações para os grupos 7 e 9, a jusante. Os resultados obtidos nos cotagramas dos grupos 3 e 8 são devidos ao amortecimento de volumes em suas áreas, já que são localizados a montante do grupo 6.

5.2.6.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 6.

Com a implementação de microreservatórios em lotes no próprio grupo 6 o resultado é um amortecimento de grande percentual em sua própria área, correspondendo a redução de cerca de 40 cm no pico da cheia, cerca de 62% do mesmo. O patamar obtido de redução do pico é mantido durante o restante do tempo de simulação, devido ao amortecimento em tempo superior ao simulado.

Como grupo de montante, o grupo 6 influencia em grande redução de picos principalmente nos grupos 7, 9 e 10, com percentuais de 42,47%, 40,69% e 22,05%, respectivamente. Produz ainda reduções em pequenos percentuais nos grupos 3, 5, 14, 24, 26 e 28. Estes resultados podem ser observados na Tabela 5.1.

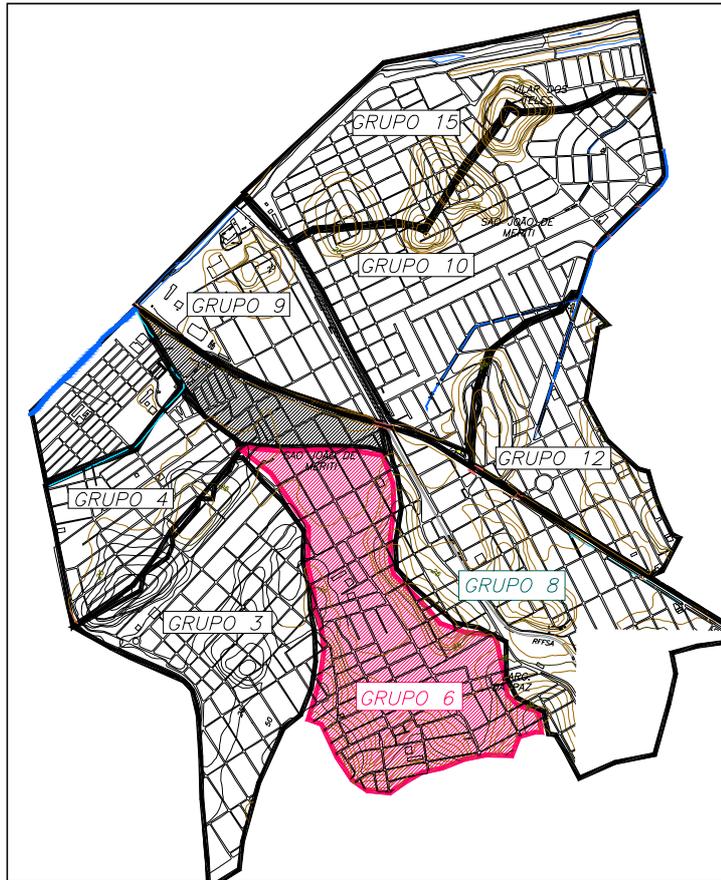


Figura 5.12 – Configuração Topográfica na vizinhança do Grupo 6.

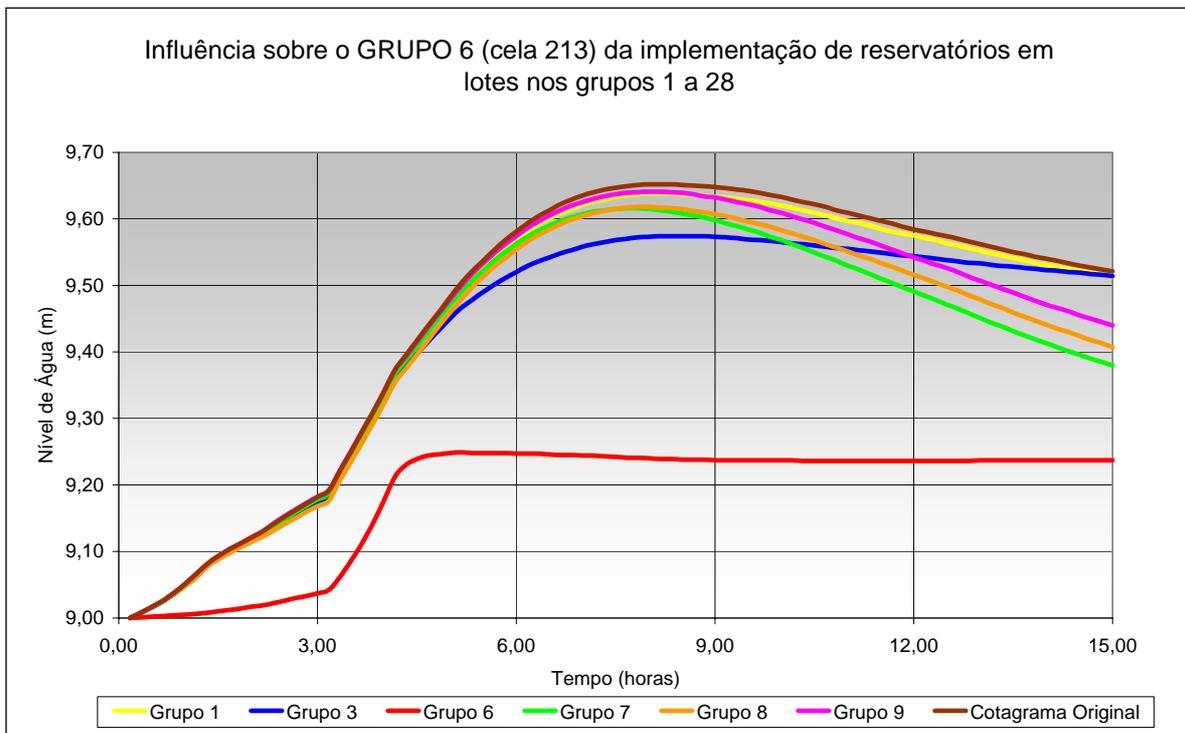


Figura 5.13 – Cotogramas para a célula 213 – GRUPO 6.

5.2.7 Região do GRUPO 7.

O grupo 7 tem topografia plana e área total reduzida, sendo o segundo menor grupo considerando-se este parâmetro (Figura 5.15). Está localizado em trecho baixo e de jusante, próximo ao Canal Auxiliar do Sarapuí.

5.2.7.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 7.

Os principais resultados quanto à redução dos picos para o grupo 7 são os apresentados quanto à aplicação de reservatórios de lotes nos grupos 3, 6, 8 e 9. (Figura 5.14). Percentuais inferiores são obtidos através das simulações para os grupos 1, 4, 10, 12, 13, 14 e 17.

5.2.7.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 7.

Para a simulação realizada, com a implementação de microreservatórios em lotes no grupo 7 verifica-se que há reduções interessantes para os picos dos grupos 6, 7, 9 e 10 (Tabela 5.1). Destas simulações, aquela que representou maiores percentuais de redução do tirante de água máximo foi o próprio grupo 7, no valor de 49% (Tabela 5.1)

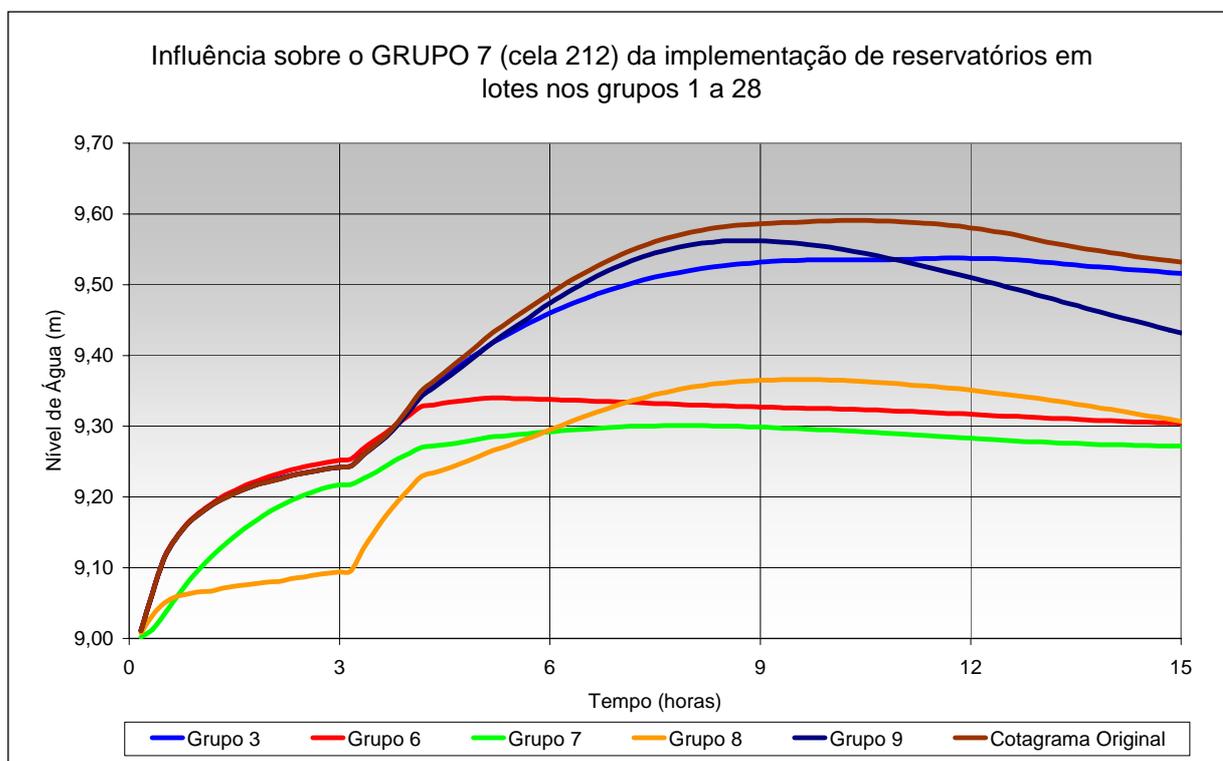


Figura 5.14 – Cotogramas para a célula 212 – GRUPO 7.

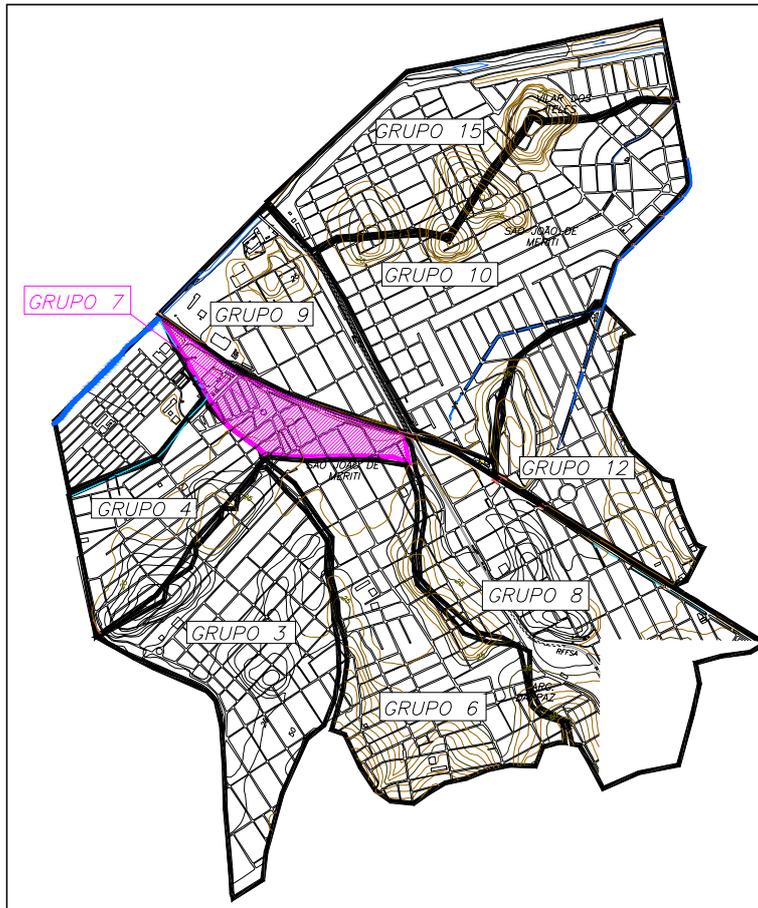


Figura 5.15 – Configuração topográfica para a região do Grupo 7.

5.2.8 Região do GRUPO 8.

A região do grupo 8 caracteriza-se como de montante na área simulada, apresentando cotas altas e relevo em forma de “morrotes” (Figura 5.17).

5.2.8.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 8.

Há leve redução no pico do evento para o grupo 8 ao considerar-se a simulação para o grupo 11, grupo de características semelhantes em termos de topologia. Já para as simulações dos grupos 10 e 14, ambos a jusante do grupo 8, há favorecimento para o escoamento nos tempos finais do cotograma.

Efeito negativo é constatado ao observar-se a simulação para microreservatórios em lotes no grupo 12 com relação ao grupo 8, ocorrendo aumento do pico em cerca de 5%. Explica-se em razão de o grupo 12 ser posicionado imediatamente a jusante do grupo 8, de forma que a colocação dos microreservatórios na área do primeiro causa um retardo ao escoamento local no que se refere a sua chegada às galerias, fazendo

coincidir esta chegada com a afluência de vazões do grupo de montante, não possibilitando o escoamento adequado do fluxo proveniente do grupo 8. Por outro lado, a colocação de microreservatórios em lotes nos dois grupos simultaneamente deve ser estudada, já que pode retardar os dois hidrogramas em mesmo intervalo de tempo de forma a serem coincidentes novamente, e acarretar cheia igual ou maior. Esta verificação deve ser seguida da confirmação das dimensões das galerias para estes locais, já que estes resultados estão diretamente ligados aos valores adotados na calibração.

5.2.8.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 8.

No gráfico apresentado na Figura 5.16 pode-se perceber que a implementação dos microreservatórios na área do grupo 8 causa uma redução de amplitude considerável ao longo do tempo no cotograma do mesmo grupo, com redução do pico em quase 70%. Os efeitos da implementação de microreservatórios em lotes no grupo 8 são interessantes para redução de picos dos grupos 6, 7, 9, 10, e 12, todos estes a jusante e próximos a sua localização. Desta forma, mostra-se um grupo importante e um dos que mais influenciam em outros grupos dentro da área simulada. O maior percentual de redução dentre os grupos citados é estabelecido com o grupo 12, em quase 77%.

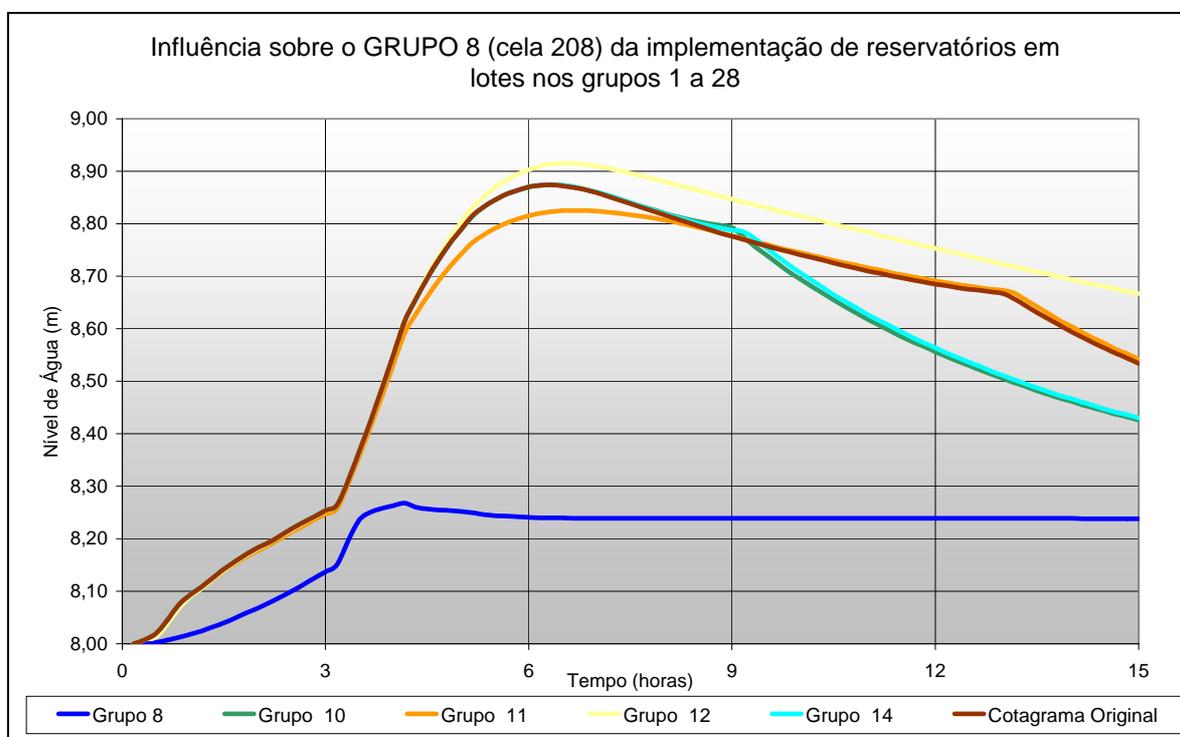


Figura 5.16 – Cotogramas para a célula 208 – GRUPO 8.

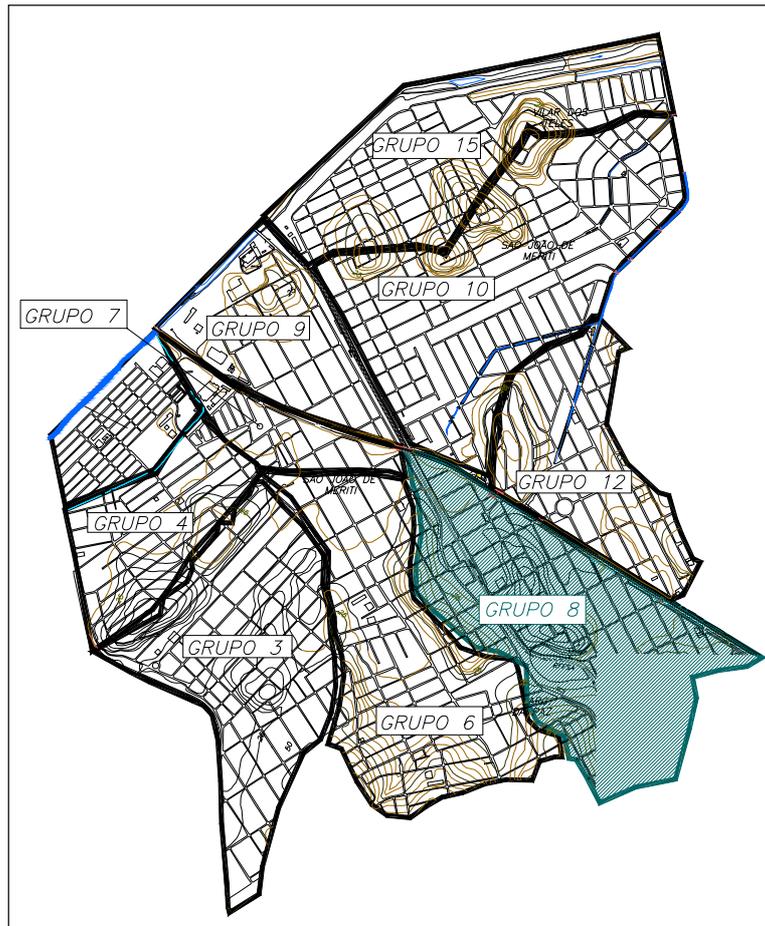


Figura 5.17 – Configuração Topográfica para os Grupos 8, 9 e 10.

5.2.9 Região do GRUPO 9.

A região do grupo 9 está localizada a jusante na área simulada, margeando a rodovia Presidente Dutra e terminando no Canal do Sarapuí (Figura 5.17).

5.2.9.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 9.

A região do grupo 9 é influenciada pela colocação de microreservatórios em lotes nas áreas dos grupos 3, 6, 7, 8 e 10, em percentuais entre 6% e 48%. A região do grupo 9 é ainda influenciada pelos grupos 1, 13 e 14 (Tabela 5.1 e Figura 5.18).

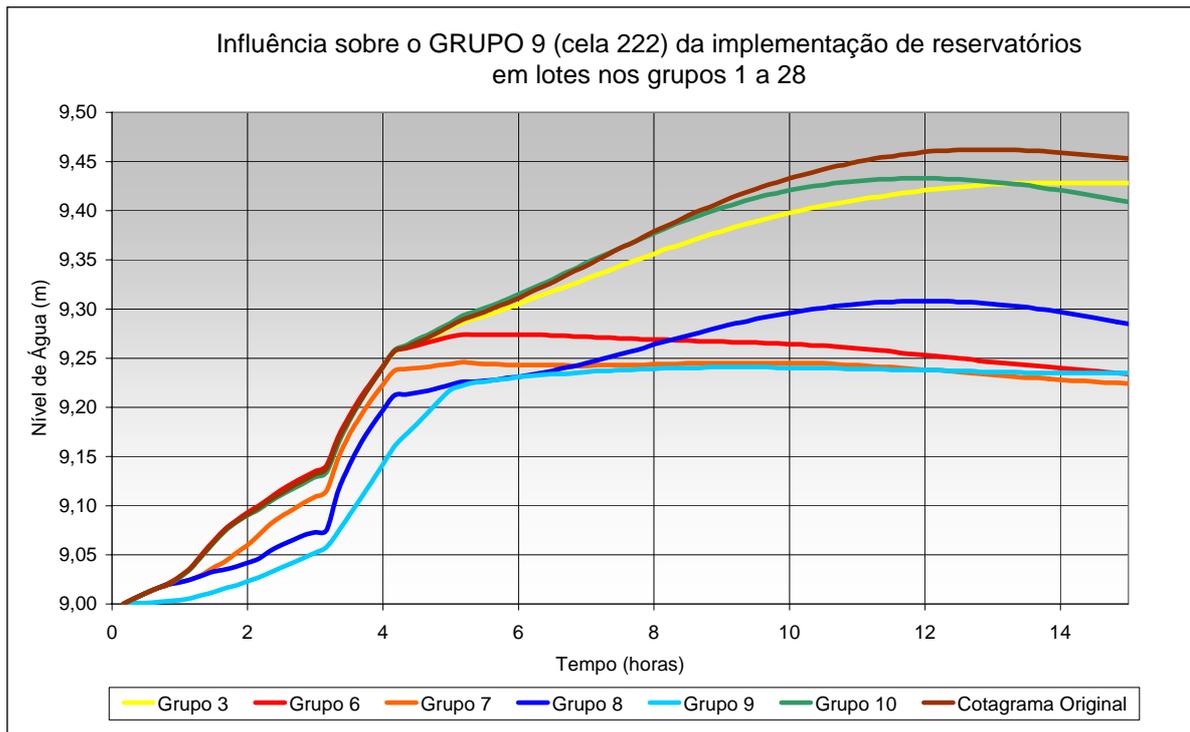


Figura 5.18 – Cotogramas para a célula 222 – GRUPO 9.

5.2.9.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 9.

O amortecimento mais interessante é o causado pela implementação de microreservatórios no próprio grupo 9, com amortecimento de pico de cerca de 20 cm. Os principais efeitos gerados pela simulação para o grupo 9, além daqueles em sua própria área, são observados para o pico do evento no grupo 10, com redução de cerca de 25%, resultado que se mostra coerente já que os grupos são vizinhos e de características topográficas semelhantes e contíguas. Outra redução interessante é observada no grupo 7, com percentual de cerca de 5%, além de outros grupos de percentuais inferiores.

5.2.10 Região do GRUPO 10.

O grupo 10 tem sua posição próxima ao grupo 9 (Figura 5.17), representando região de área maior do que a média dos grupos e contendo um canal de drenagem, de forma que seus níveis recebem a influência do remanso causado pelo mesmo.

5.2.10.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 10.

Pela Tabela 5.1 e Figura 5.19 verifica-se que os grupos 3, 6, 7, 8, 9 e 14 são os mais importantes em termos de resultados quando da implementação de microreservatórios em lote e seus efeitos de amortecimento sobre o cotograma do grupo 10.

Para as implementações nos grupos 6, 7, 8 e 9, de influência direta sobre o grupo 10, os percentuais de redução do pico ficam entre 22% e 25%.

5.2.10.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 10.

A implementação de microreservatórios no grupo 10 reduz o pico no próprio grupo em cerca de 78%. A partir da Tabela 5.1 observa-se que os maiores efeitos de redução se dão nos grupos 9 e 14, ambos localizados ao redor do grupo 10. Além destes, a colocação de microreservatórios em lotes no grupo 10 também influencia nos picos dos grupos 7, 12, 17, 24, 26 e 28. Observa-se ainda influencia negativa sobre o pico da cheia do grupo 6, explicada pelo fato de o mesmo estar a montante do grupo 10, de forma que a ocupação das galerias sob este dificultam o escoamento das águas que caem sobre o grupo 6, apesar de, após o pico, causar leve redução em seus níveis.

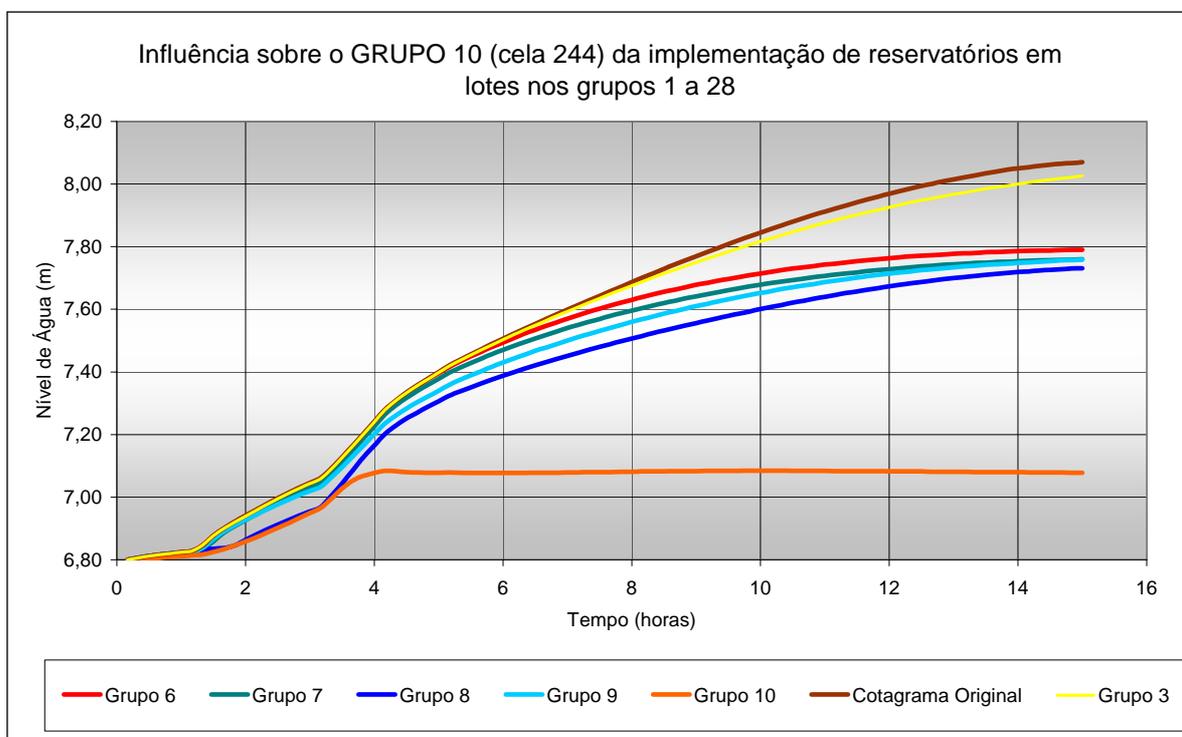


Figura 5.19 – Cotogramas para a célula 244 – GRUPO 10.

5.2.11 Região do GRUPO 11.

O grupo 11 é um dos menores em área superficial. Está localizado em local a montante e limite do trecho de simulação (Figura 5.21).

5.2.11.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 11.

O grupo 11 tem configuração de montante, com trocas de contribuições apenas com o grupo 8, que tem características topográficas semelhantes, sendo o único grupo que gera influência para os níveis do grupo 11, apesar de percentual desprezível, conforme verifica-se pela Tabela 5.1.

5.2.11.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 11.

A implementação de microreservatórios em lotes no grupo 11 causa amortecimento dos níveis dentro da área do próprio grupo 11, apresentando redução do tirante máximo em mais de 40% (Tabela 5.1 e Figura 5.20).

Pela Tabela 5.1 e Figura 5.20 observa-se ainda que a simulação de microreservatórios em lotes na área do grupo 11 mostra redução nos tirantes de água para os grupos 8 e 12, resultado coerente com as posições dos mesmo, a jusante na configuração topográfica. Há alterações para outros grupos, mas em percentuais desprezíveis.

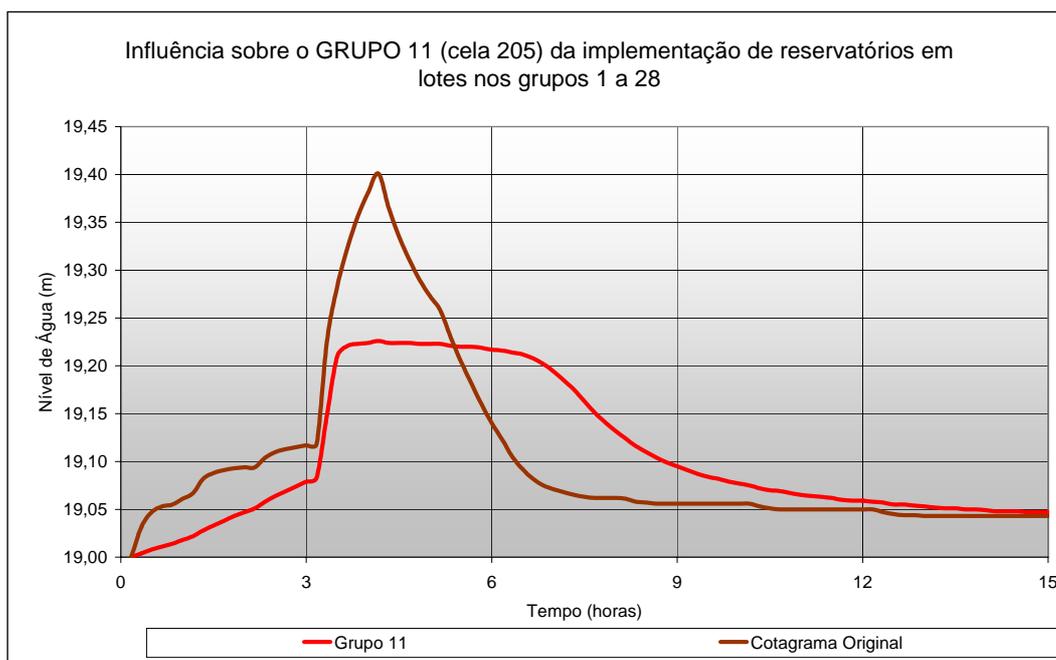


Figura 5.20 – Cotogramas para a célula 205 – GRUPO 11.

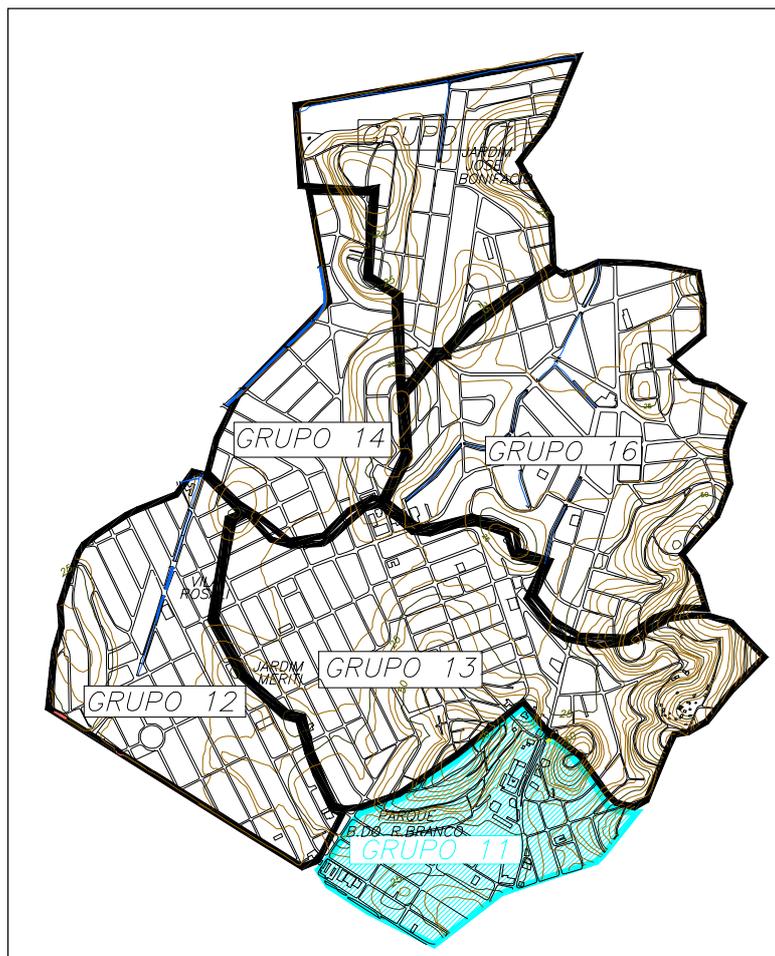


Figura 5.21 – Configuração topográfica do GRUPO 11.

5.2.12 Região do GRUPO 12.

O grupo 12 representa região de cota intermediária entre áreas de montante e as planícies na área simulada. A região compreende o bairro Vila Rosali, com importantes áreas de inundação ao longo do canal de drenagem que se inicia próximo à Rodovia Presidente Dutra e deságua no Canal Auxiliar.

5.2.12.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 12.

O grupo 12 sofre a influência dos grupos vizinhos fronteiriços 8, 10, 11, 12, 13 e 14 considerando-se a colocação de microreservatórios em lotes nas áreas de cada um destes grupos. O grupo 8 está a montante na região e a simulação realizada mostra redução de quase 80% para o pico do evento, além de grande amortecimento dos níveis do grupo 12, conforme se verifica na Tabela 5.1 e Figura 5.22. Por outro lado, um resultado identificado ao simular-se os microreservatórios para o grupo 13, mostra

que há aumento nos níveis para o trecho de descida do evento simulado no grupo 12. O grupo 13 está posicionado em cota superior ao grupo 12, e este aumento de níveis é explicado pela utilização de capacidade do canal e galerias que drenam as águas do grupo 12, de forma que a partir do pico do evento as galerias estão tomadas pelo escoamento proveniente do aumento de utilização devido aos microreservatórios colocados no grupo 13, causando remanso na região do grupo 12.

Para o grupo 11, de menor área e a montante do grupo 12, mas com maior distância entre centros de escoamento, a influência é de menor percentual, mas com redução do pico.

5.2.12.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 12.

Há considerável amortecimento dos níveis do grupo 12 a partir da aplicação de microreservatórios em lotes em sua própria área. O valor de redução no pico da cheia chega a quase 40 cm, conforme se observa na Figura 5.22.

Como já observado anteriormente, a implementação de microreservatórios em lotes no grupo 12 aumenta os níveis simulados no grupo 8. Há efeitos de redução ainda nos grupos 7, 10, 13, 14, 17, 24, 26 e 28.

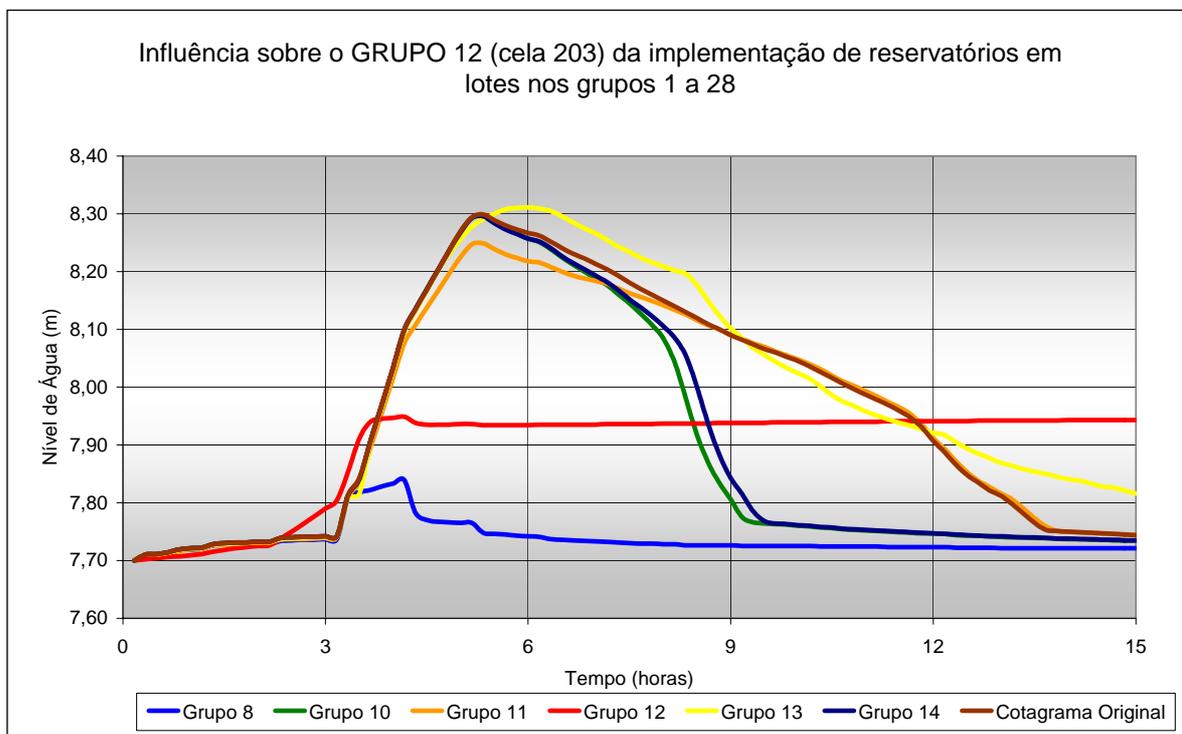


Figura 5.22 – Cotogramas para a célula 203 – GRUPO 12.

5.2.13 Região do GRUPO 13.

As células estão localizadas em região de encosta e seus limites se confundem com a linha de cumeada, por isso praticamente não são influenciadas pela implementação de microreservatórios nas demais regiões (Tabela 5.1 e Figura 5.23).

5.2.13.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 13.

Sofre pequena influência na colocação de microreservatórios em lotes do grupo 12, a jusante de sua área, reduzindo-se o pico da cheia em menos de 0,5% (Tabela 5.1).

5.2.13.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 13.

Como pode ser observado na Figura 5.23, a implementação de microreservatórios em lotes no grupo 13 tem bom efeito de amortecimento em seus níveis de água. O tempo de chegada do pico permanece praticamente inalterado.

Outras contribuições de minimização dos seus níveis para a colocação dos microreservatórios em lotes no grupo 13 seriam nos grupos 14 e 16, a jusante de sua área, com percentuais de 12,78% e 15,40% respectivamente. O grupo 13 ainda influencia positivamente nos grupos 7, 8, 9, 10, 17, 19, 24, 26 e 28.

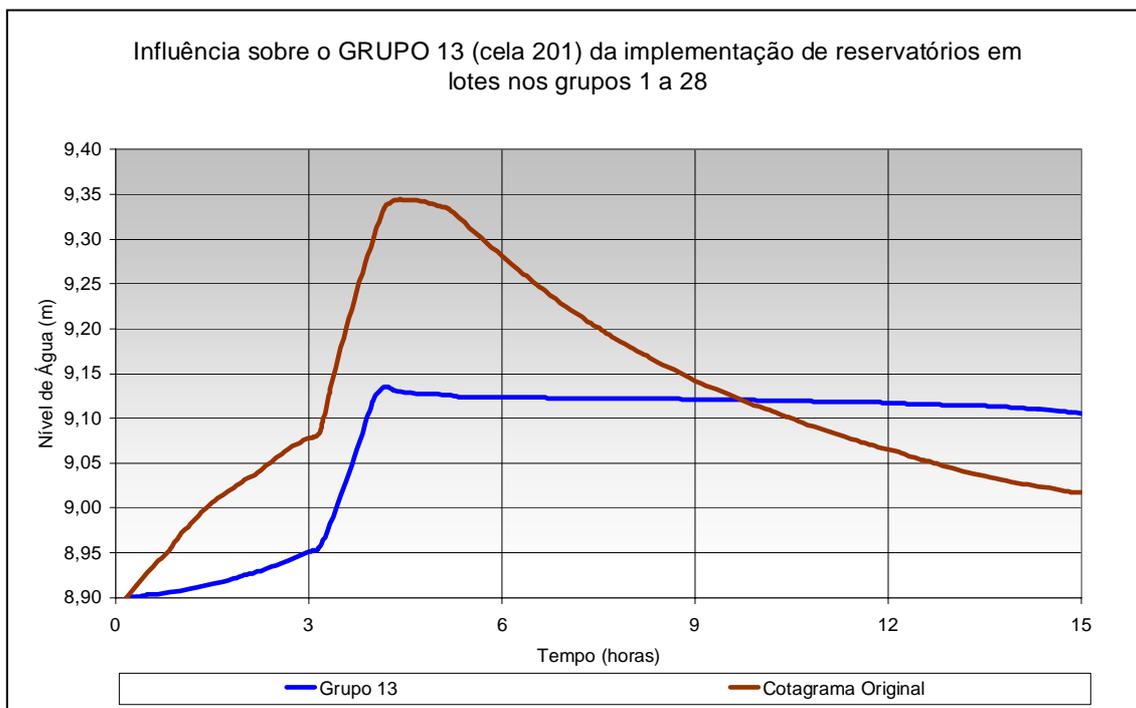


Figura 5.23 – Cotogramas para a célula 201 – GRUPO 13.

5.2.14 Região do GRUPO 14.

O grupo 14 tem reduzidas dimensões e está localizado em região intermediária do terreno, com a influência direta de canal de drenagem e configuração topográfica plana, com pontos altos em seu entorno (Figura 5.24).

5.2.14.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 14.

A implementação de microreservatórios em lotes nos grupos 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15 e 17 contribui para redução nos níveis de água na região do grupo 14 (Figura 5.25).

Os grupos que mais interferem são os grupos 10 e 13. O grupo 10 está localizado a margem esquerda do Canal Rosali, enquanto o grupo 14 localiza-se a margem direita. Desta forma, ambos realizam troca de vazões e concorrem para a mesma macro-drenagem, de modo que a colocação de microreservatórios em um deles resulta em redução de níveis para o outro. Como o grupo 10 tem maior área de drenagem, a colocação de microreservatórios no mesmo traz um benefício maior para o grupo 14 do que o mostrado para a simulação do grupo 14 com relação ao grupo 10. A redução do pico para esta simulação é de quase 55% além de grande amortecimento dos níveis para o evento simulado. Já para o grupo 13, localizado a montante do grupo 14, há redução de cerca de 13% para o pico do evento, com pouco amortecimento.

5.2.14.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 14.

O efeito mais interessante gerado pelo grupo 14 é relativo a sua própria área, com grande amortecimento dos níveis, conforme se observa pelo resultado da simulação nos cotogramas Figura 5.25 e Tabela 5.1. Há ainda reduções de pico produzidas nos grupos 7, 9, 10, 12, 17, 24, 26 e 28.

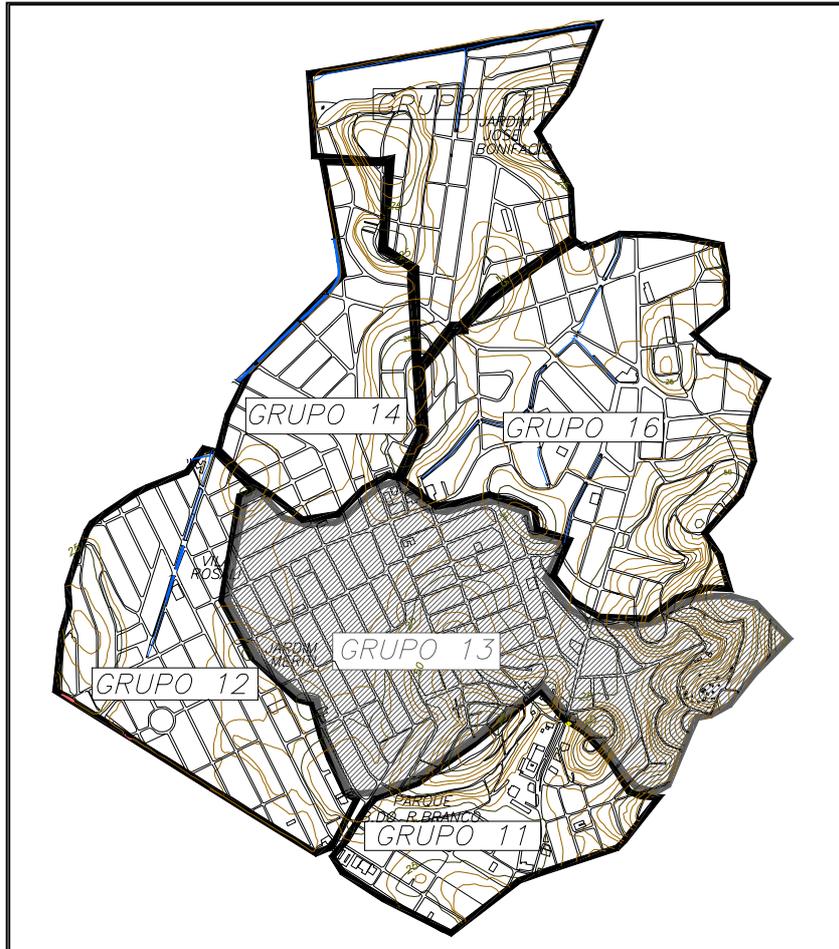


Figura 5.24 – Região de Interferência para os GRUPOS 13 e 14.

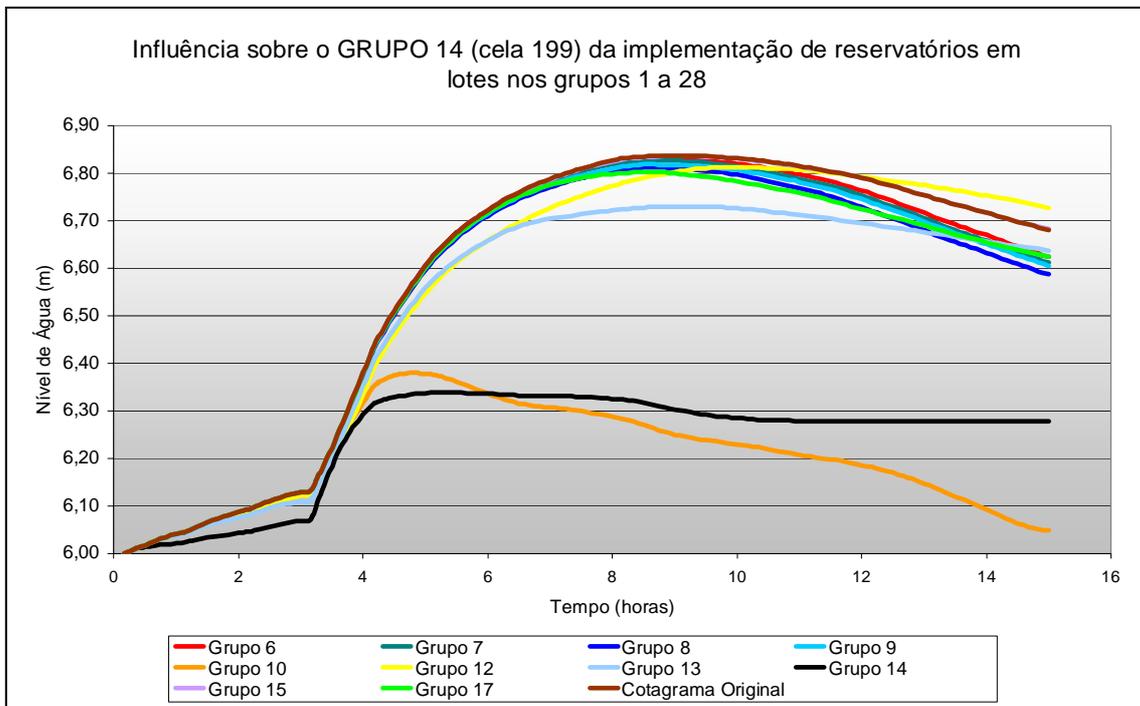


Figura 5.25 – Cotogramas para a célula 199 – GRUPO 14.

5.2.15 Região do GRUPO 15.

O grupo 15 está localizado em trecho baixo da região em estudo, contendo alguns morros de cotas baixas, áreas planas próximas ao Canal do Sarapuí e constituindo área de inundações, conforme Figura 5.27.

5.2.15.1 Efeitos Sofridos pelo GRUPO 15.

Por ser região baixa e que recebe a drenagem de grande área de montante, a colocação de microreservatórios em outros grupos não influencia em seus níveis, pelo fato de as galerias estarem trabalhando afogadas em curto espaço de tempo, de forma que não há alterações significativas em seus padrões de escoamento para as simulações de outros grupos.

5.2.15.2 Efeitos Gerados pelo GRUPO 15.

Ao analisar-se a Figura 5.26, observa-se que para a simulação de microreservatórios em lote no grupo 15 há amortecimento das cheias em sua própria área, mostrando redução de pico e retardo da chegada do mesmo. Este efeito pode ser interessante já que possibilita ganho de capacidade das galerias neste importante trecho de chegada das cheias. Mas o efeito de propagação se dá em pequena ordem de grandeza, devido a configuração baixa e próxima ao canal do Sarapuí. Há pequena redução de picos para os grupos a jusante de sua localização, 14, 17, 24, 26 e 28.

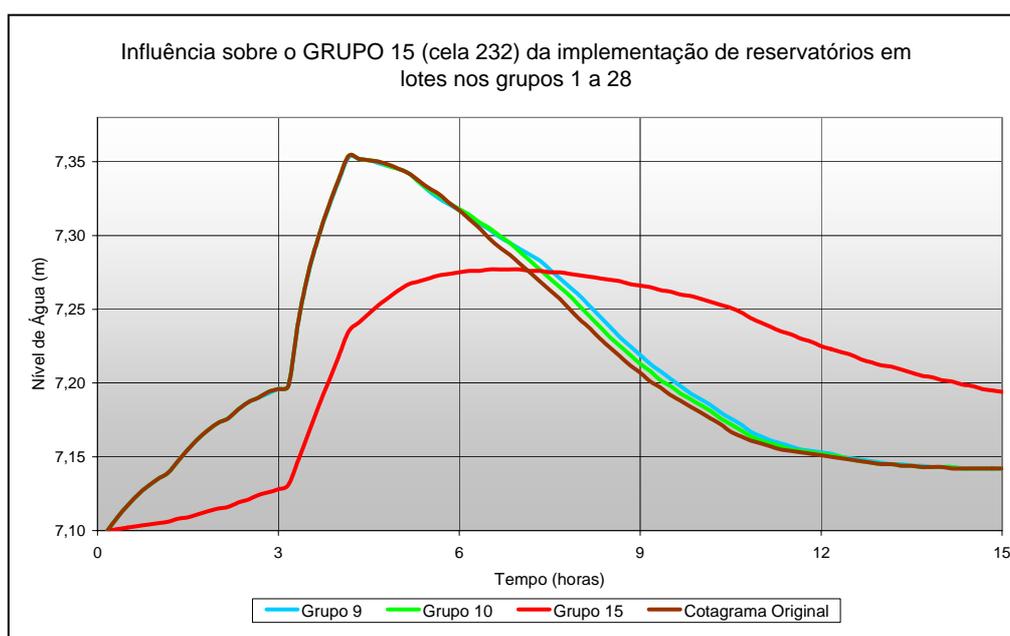


Figura 5.26 – Cotogramas para a célula 232 – GRUPO 15.

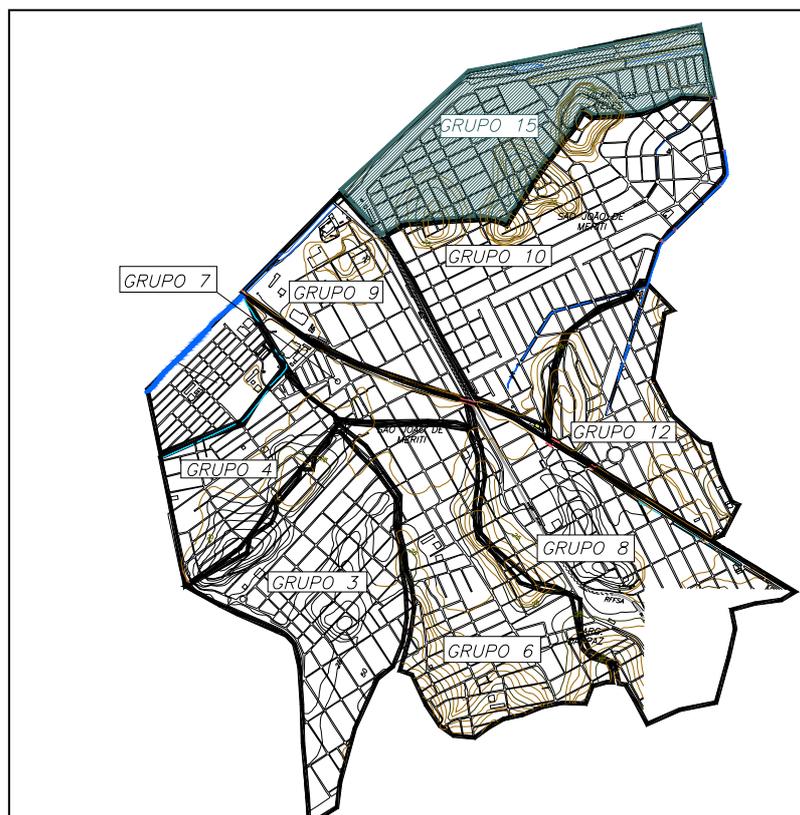


Figura 5.27 – Grupos de montante ao GRUPO 15.

5.2.16 Região do GRUPO 16.

O grupo 16 está localizado em região de cota intermediária e tem relevo acidentado, conforme se observa na Figura 5.28.

5.2.16.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 16.

O grupo 16 é influenciado apenas pelo grupo 13, que está a montante de sua área. Para a simulação realizada, com relação ao grupo 13, há redução no pico do evento de cerca de 15% e praticamente não há alteração no tempo de chegada do pico.

5.2.16.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 16.

Para a simulação de microreservatórios em lotes no grupo 16, há redução dos níveis para os grupos 16, 17, 19, 24, 26 e 28. Para o efeito causado em sua própria área, ocorre o amortecimento com redução de cerca de 33% na cota de pico da cheia e pequeno retardo no tempo de chegada. Os demais grupos influenciados são localizados a jusante do mesmo.

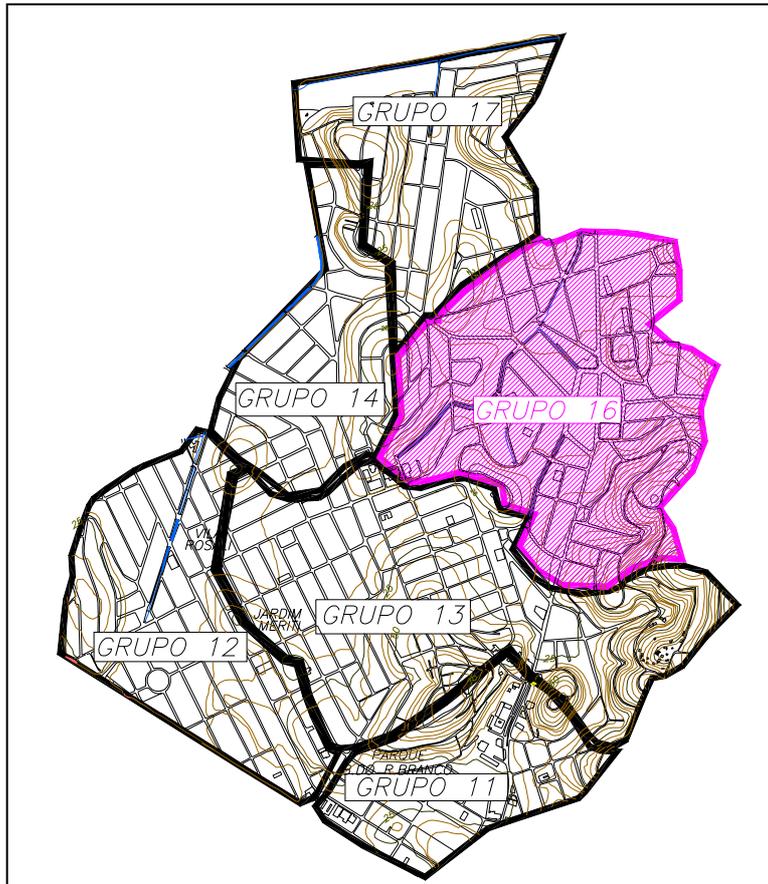


Figura 5.28 – Configuração Topografia no entorno dos GRUPOS 16 e 17.

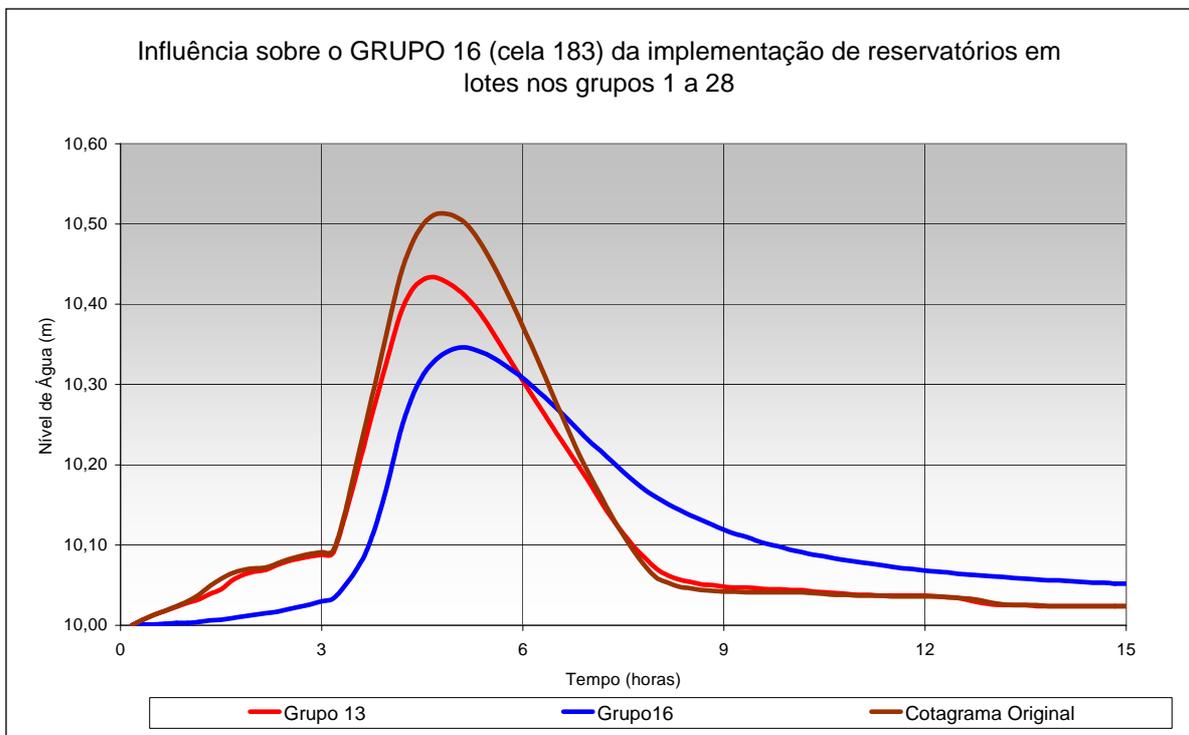


Figura 5.29 – Cotogramas para a célula 183 – GRUPO 16.

5.2.17 Região do GRUPO 17.

A Figura 5.28 mostra detalhe da região de entorno ao grupo 17. O mesmo se encontra a jusante na área em estudo, posição central da drenagem, próximo ao canal de drenagem do Sarapuí. Caracteriza-se por morros em seu contorno que drenam para planícies e canal de drenagem, sendo região de alagamento. Desta forma, sofre influência de diversos outros grupos.

5.2.17.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 17.

Pela posição na bacia, o grupo 17 sofre influencia de diversos grupos quando colocados os microreservatórios em lotes. Mas todos têm efeitos em pequenos percentuais.

5.2.17.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 17.

Da Figura 5.30 observa-se que a aplicação de microreservatórios em lotes no grupo 17 reduz o pico da cheia do próprio grupo 17 em mais de 75% (Tabela 5.1). Há ainda percentuais de redução mais baixos gerados em outros grupos, conforme verifica-se na Tabela 5.1.

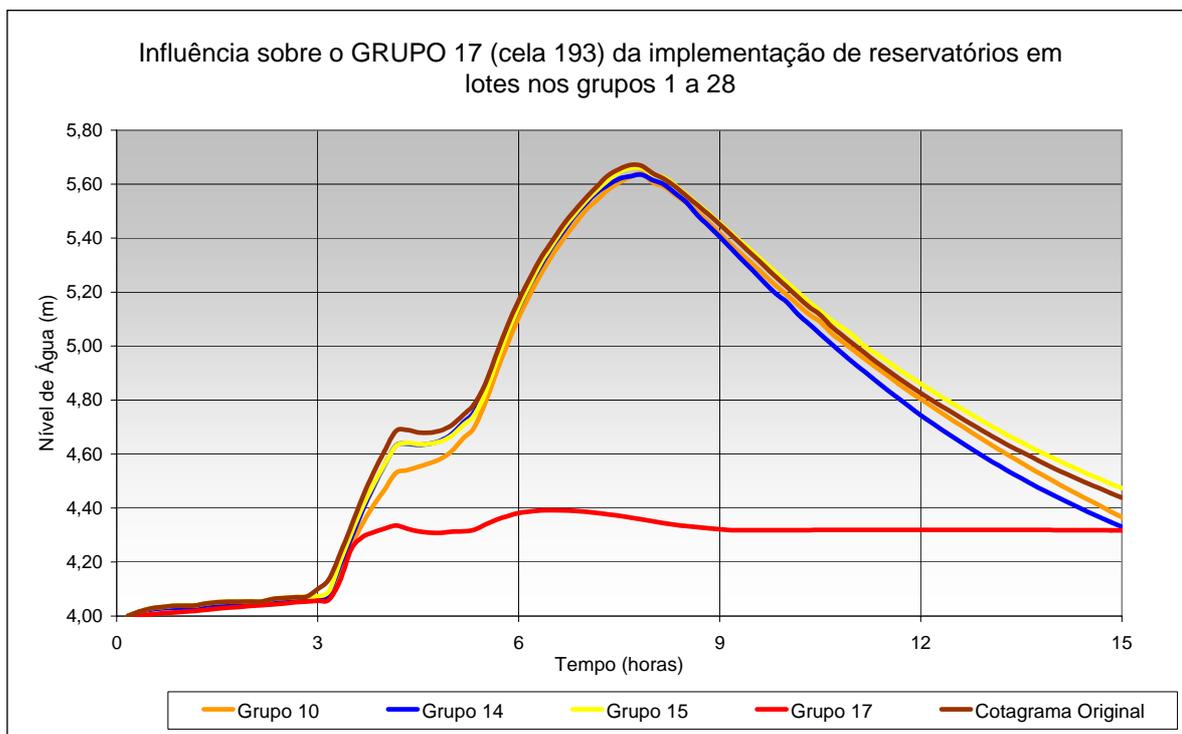


Figura 5.30 – Cotagramas para a célula 193 – GRUPO 17.

5.2.18 Região do GRUPO 18.

O grupo 18 é o maior em área simulada. Esta definição se deu pelo fato de ser caracterizado por região acidentada constituída de morros e cotas altas. Apresenta importante área de inundação, no trecho mais baixo da região, encontro dos talwegues e chegada das águas ao canal de drenagem local. Caracteriza-se como totalmente de encosta e é limite da área de estudo, tendo “morrotes” e a linha de cumeeada coincidente com a da divisão de células (Figura 5.32).

5.2.18.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 18.

Como constitui região totalmente de montante, não recebe contribuições de drenagem de outros grupos e pelas Matrizes de Interação da Tabela 5.1 confirma-se que a colocação de microreservatórios em lotes em outros grupos não produz efeito sobre seus níveis.

5.2.18.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 18.

Em particular para o próprio grupo 18, há um amortecimento interessante dos níveis para o evento simulado, com redução no pico da cheia de cerca de 60% com relação ao tirante máximo. Pela Figura 5.31 observa-se o amortecimento resultante da simulação para a colocação dos microreservatórios em lotes no grupo 18.

Ao analisar-se a Matriz de Interações da Tabela 5.1 percebe-se ainda resultados de redução do pico para o grupo 20, em cerca de 6%, além de percentuais menores de redução nos grupos 17, 21, 24, 26 e 28, a jusante.

Verifica-se que a colocação de microreservatórios em lotes no grupo 18 causaria um aumento nos níveis para a região do grupo 19, inferior a 0,5%, conforme Tabela 5.1.

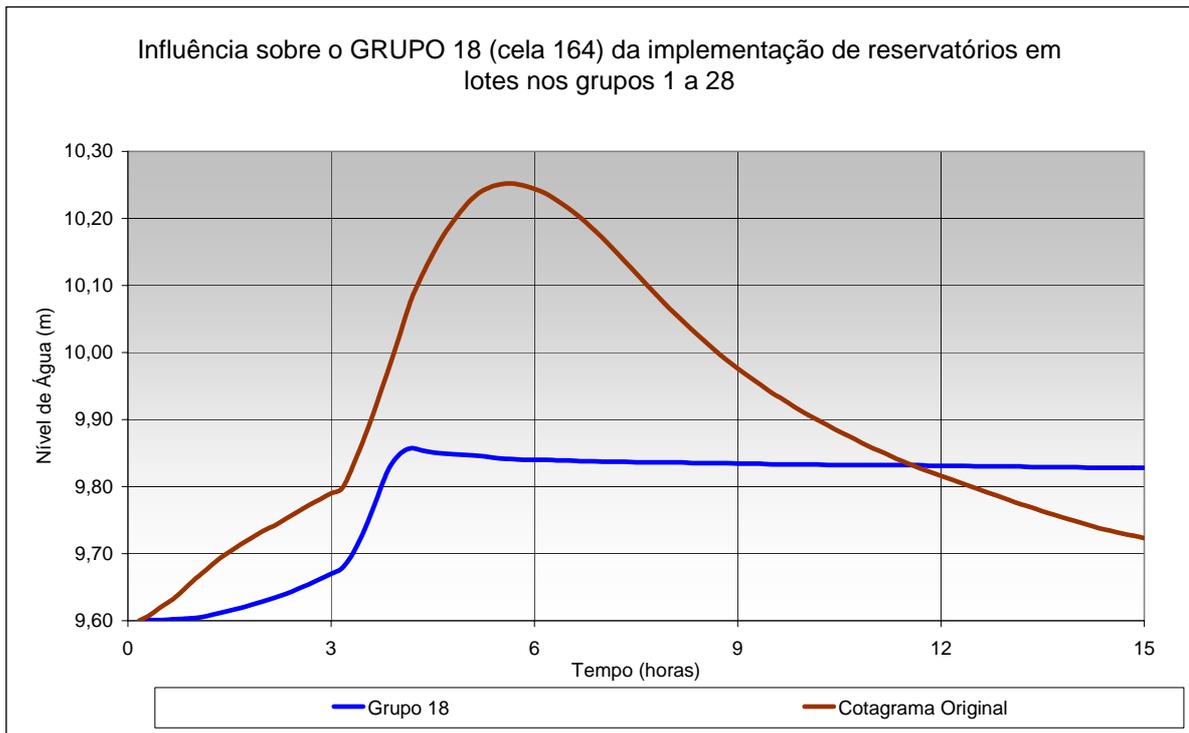


Figura 5.31 – Cotogramas para a célula 164 – GRUPO 18.

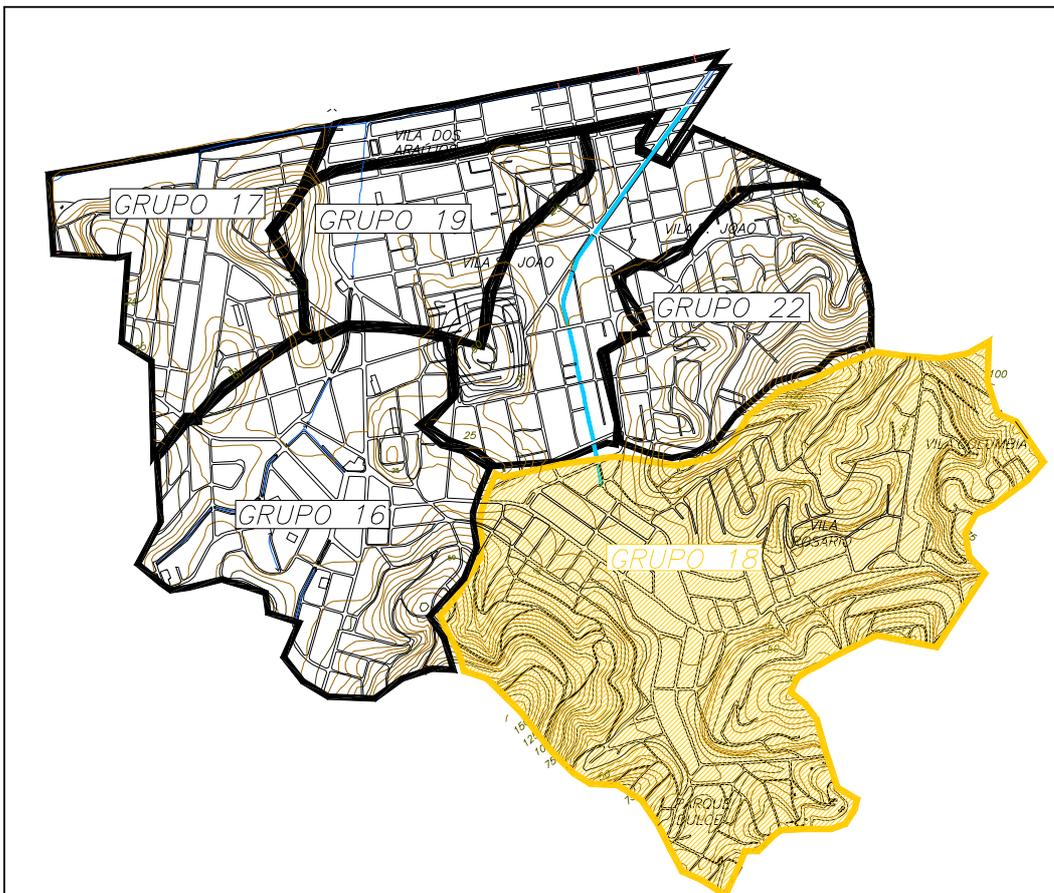


Figura 5.32 – Configuração Topográfica do GRUPO 18.

5.2.19 Região do GRUPO 19.

O grupo 19 compreende região intermediária na topografia, já que contém partes de “morrotes” e ao mesmo tempo áreas planas drenadas para um canal, próximas ao deságüe no Canal do Sarapuí (Figura 5.34).

5.2.19.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 19.

Para a implementação de reservatórios em lotes nos grupos 13 e 16 há redução dos tirantes máximos no grupo 19, apesar de reduzido efeito de amortecimento. Ambos os grupos se encontram a montante do grupo 19 e são concorrentes na drenagem principal no trecho. Desta forma, verifica-se que a implementação dos microreservatórios libera capacidade de escoamento das galerias e possibilita a redução dos níveis de escoamento superficial (Tabela 5.1).

O grupo 19, pela sua posição central e baixa na bacia, sofre a influência da redistribuição de escoamento causada pela implementação dos reservatórios nos grupos 20, 24 e 26, a jusante e ainda no grupo 18, a montante de sua área. O grupo 20 está localizado ao seu lado, e desta forma, ambos concorrem para o canal de drenagem principal da região. A colocação de microreservatórios nas áreas dos grupos 18 ou 20 faz com que as águas de um destes grupos ocupem as galerias mais próximas e dificultam a chegada do escoamento superficial do grupo 19 às mesmas. Já para os grupos 24 e 26, há a ocorrência de pequenos remansos na região do grupo 19, causado pelo amortecimento de seus volumes. Para todos estas alterações, os percentuais são desprezíveis e devem ser analisados sob aspectos qualitativos.

5.2.19.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 19.

A implementação de microreservatórios em lotes no seu interior produz redução no pico da cheia de cerca de 30 cm, ou 53%, apesar de ocorrer lenta redução no trecho de recessão, indicando a utilização máxima da capacidade das galerias e o vertimento dos microreservatórios simulados (Figura 5.33). Há ainda resultado de redução para os grupos de jusante 21, 24, 26 e 28. Outros grupos são afetados em menor escala (Tabela 5.1).

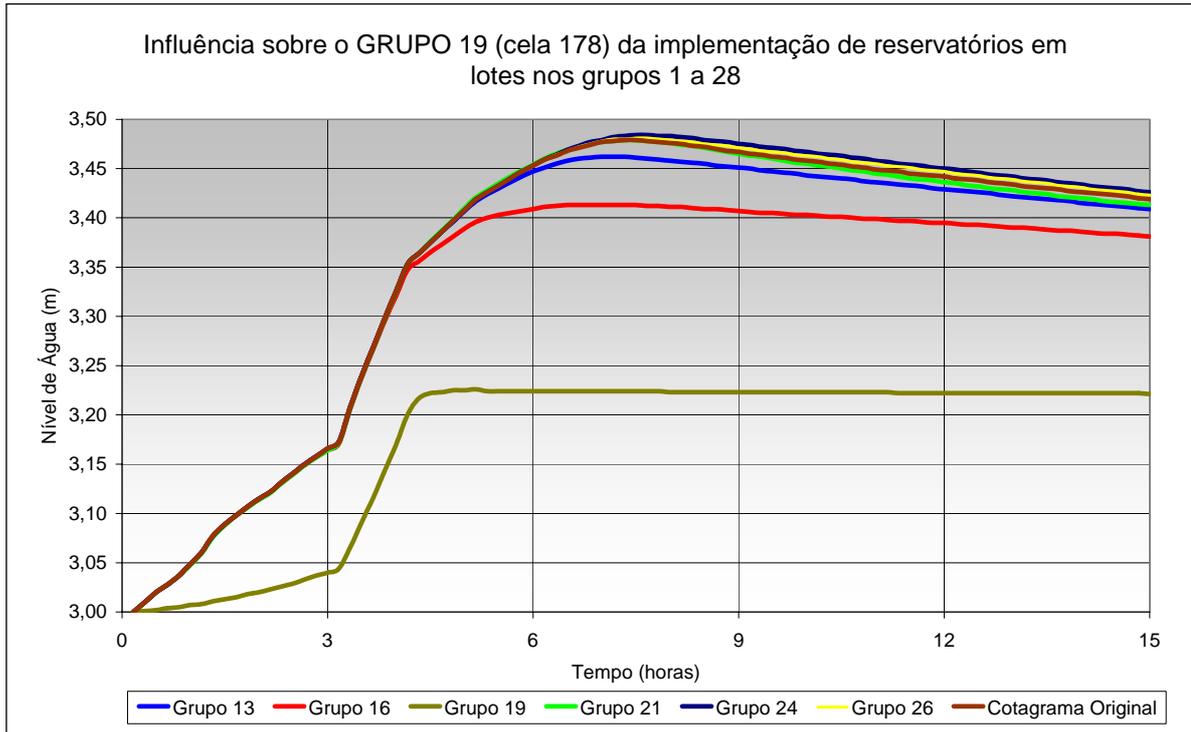


Figura 5.33 – Cotogramas para a célula 178 – GRUPO 19.

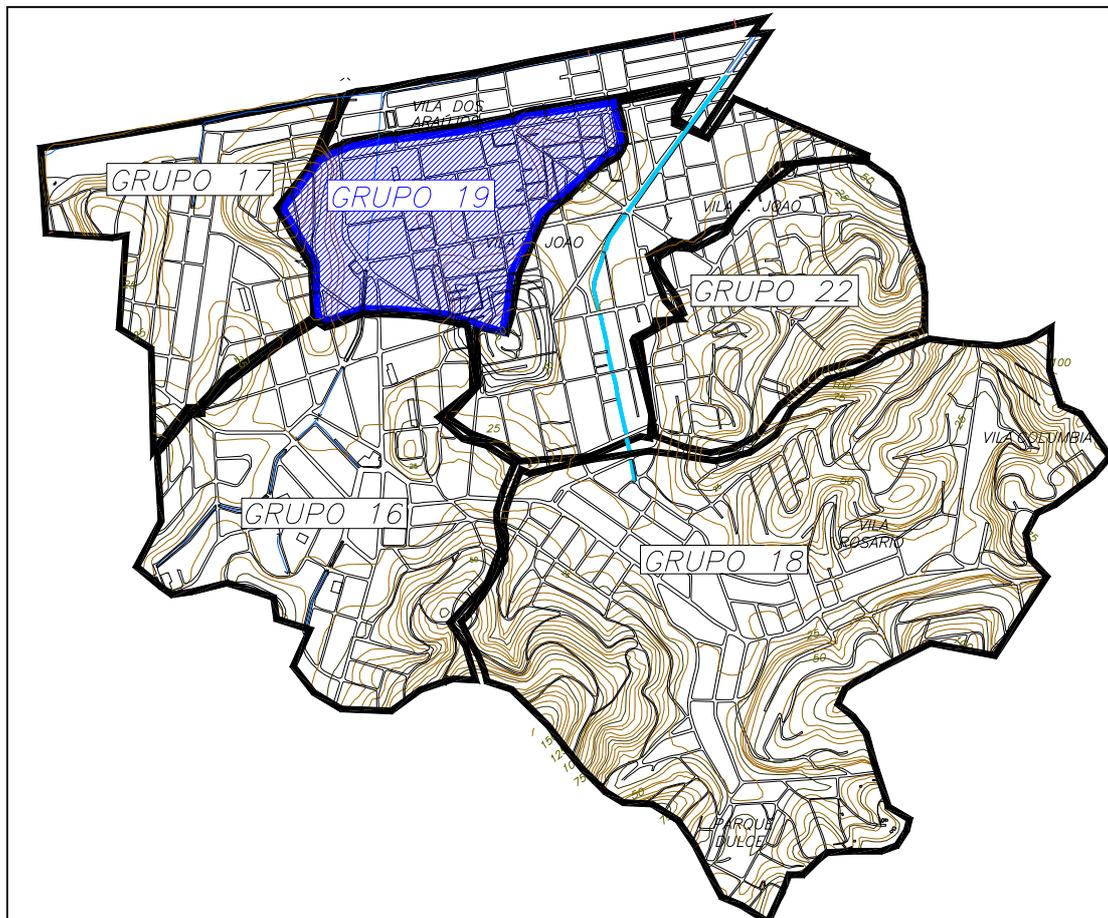


Figura 5.34 – Topografia no entorno do GRUPO 19.

5.2.20 Região do GRUPO 20.

A região do grupo 20 é caracterizada por relevo plano e que contém em sua área um canal de drenagem (Figura 5.36), ligando os trechos superiores ao Canal Auxiliar.

5.2.20.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 20

Os grupos 18 e 22, localizados a montante da área do grupo 20, são os que mais influenciam para amortecimento dos níveis no grupo 20, conforme se verifica na Tabela 5.1 e 5.35. Como verificado em outras simulações, este resultado é explicado pelo desafogamento das galerias locais, possibilitando a passagem do escoamento.

5.2.20.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 20

A implementação de microreservatórios em lotes no grupo 20 influencia na redução de níveis nos grupos a jusante do mesmo, mas o maior impacto recai sobre sua própria área, com redução de cerca de 30% para o pico do evento, apesar de não gerar grande amortecimento no restante do evento. Gera ainda redução no pico do grupo 21 em cerca de 6%. Esta simulação influencia ainda em percentuais mais baixos sobre os níveis do grupo 21.

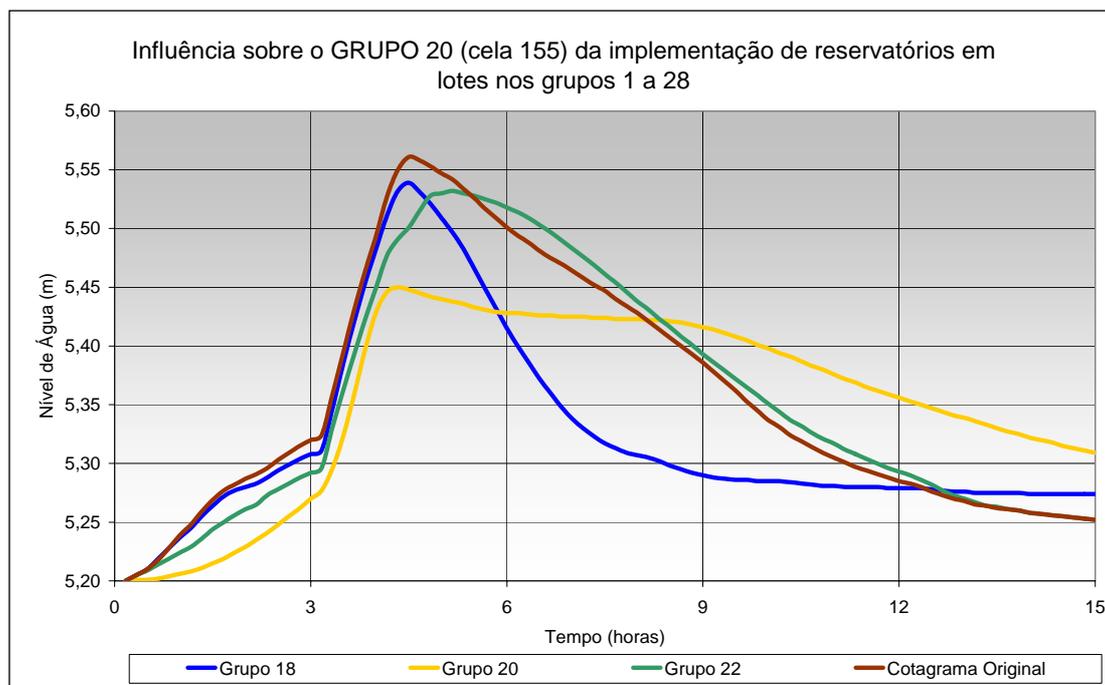


Figura 5.35 – Cotogramas para a célula 155 – GRUPO 20.

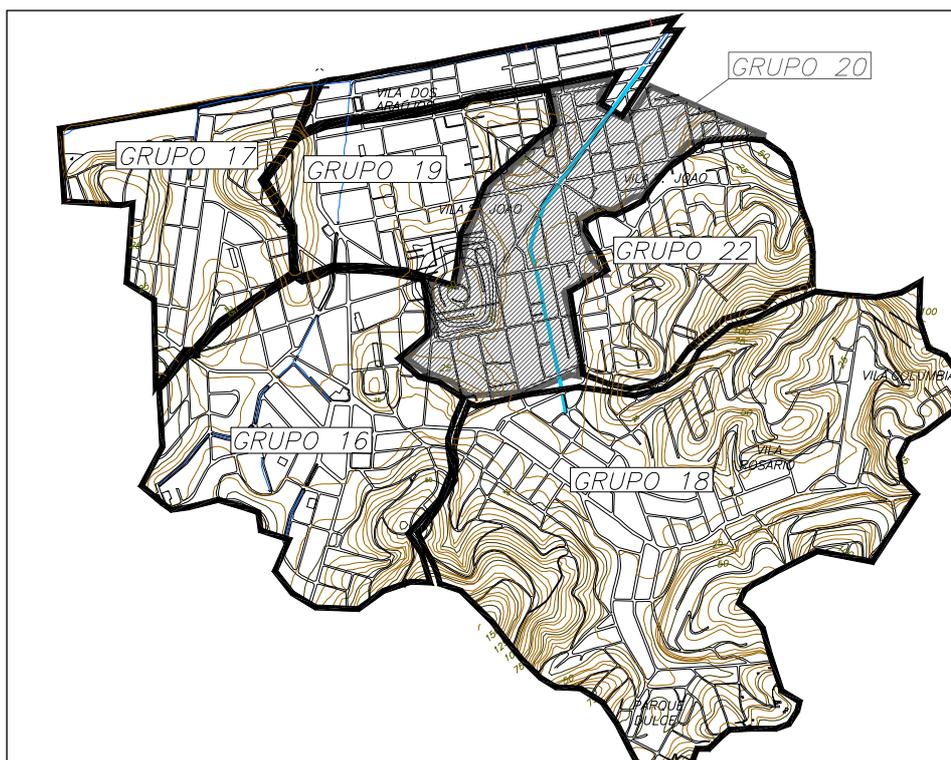


Figura 5.36 – Região de Influência para o GRUPO 20

5.2.21 Região do GRUPO 21.

O grupo 21 foi selecionado ao longo do Canal do Sarapuí, em pequena área de forma a representar o funcionamento deste trecho, de localização em ponto baixo e central da sub-bacia em estudo (Figura 5.38).

Esta localização faz com que seu cotograma seja formado por duas fases, o que pode ser explicado pela influência de dois conjuntos distintos de cheias, ou seja, um conjunto de cheias de tempo de concentração de cerca de 4 horas produz a primeira subida nos níveis de seu cotograma, e cerca de 5,5 horas mais tarde outro pico de semelhante amplitude ocorre, pela influência de outros pontos mais distantes da bacia, que tem retardo natural maior, com maior tempo de chegada para o mesmo evento.

5.2.21.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 21.

A implementação de microreservatórios em lotes nos diversos grupos não provoca amortecimento significativo para o pico da primeira fase da enchente. Por outro lado, ao analisar-se a Figura 5.37 observa-se que ocorre o amortecimento da segunda fase da cheia para o efeito da implementação dos microreservatórios em lotes nos grupos 24, 26 e 28, todos a jusante na região em estudo. Desta forma, conclui-se que a

colocação desta estrutura em um destes grupos desafoga a região de jusante e possibilita o escoamento de vazões do grupo 21, pois reduz o efeito de remanso deste trecho mais a jusante sobre a área do grupo 21. Desta forma, uma combinação interessante para esta região seria a de estudar-se a colocação dos microreservatórios em lotes nos grupos 21, 20 e ainda em um dos grupos de jusante, que produzem efeitos semelhantes, 24, 26 ou 28. Desta forma, seria minimizado o pico inicial e amortecido o segundo pico da cheia. Nota-se que a primeira fase do cotograma refere-se a uma cheia de características locais.

5.2.21.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 21.

Como grupo de baixas cotas, pequena área e trecho de jusante, a implementação dos microreservatórios em lotes no grupo 21 não produz efeitos significativos aos outros grupos e gera amortecimento reduzido em sua própria área.

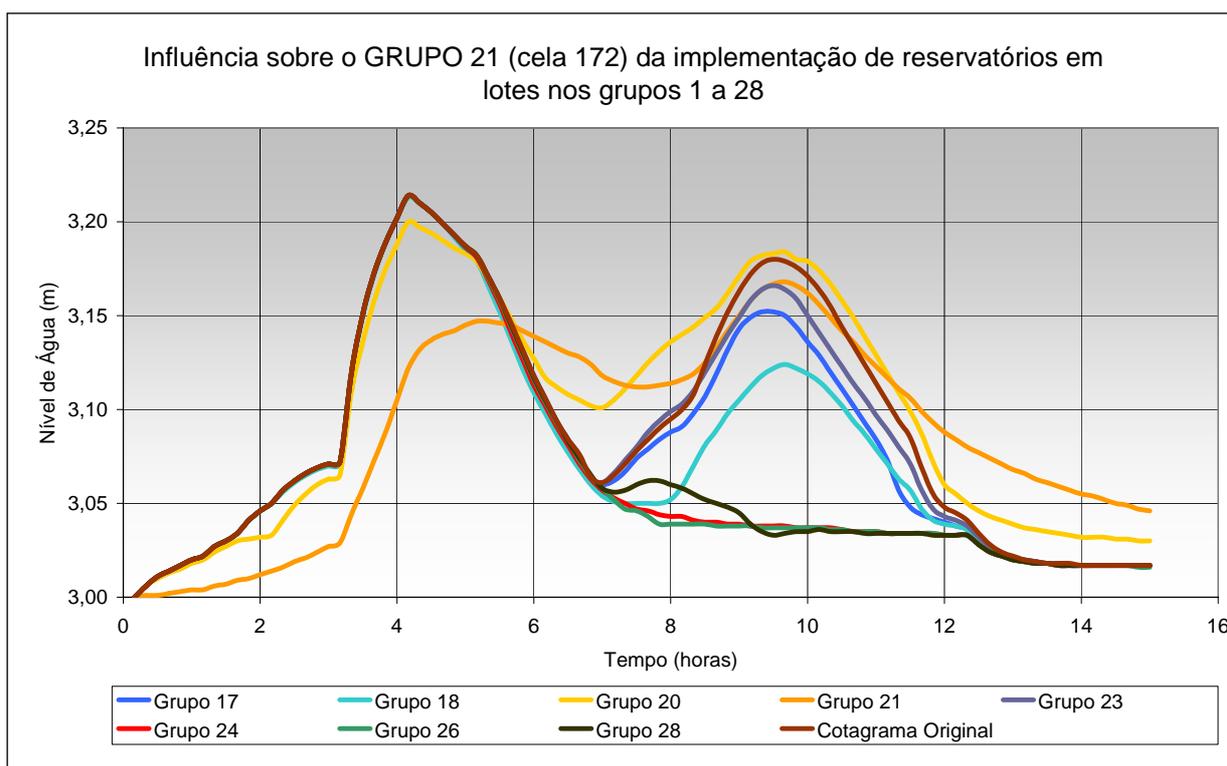


Figura 5.37 – Cotogramas para a célula 172 – GRUPO 21.

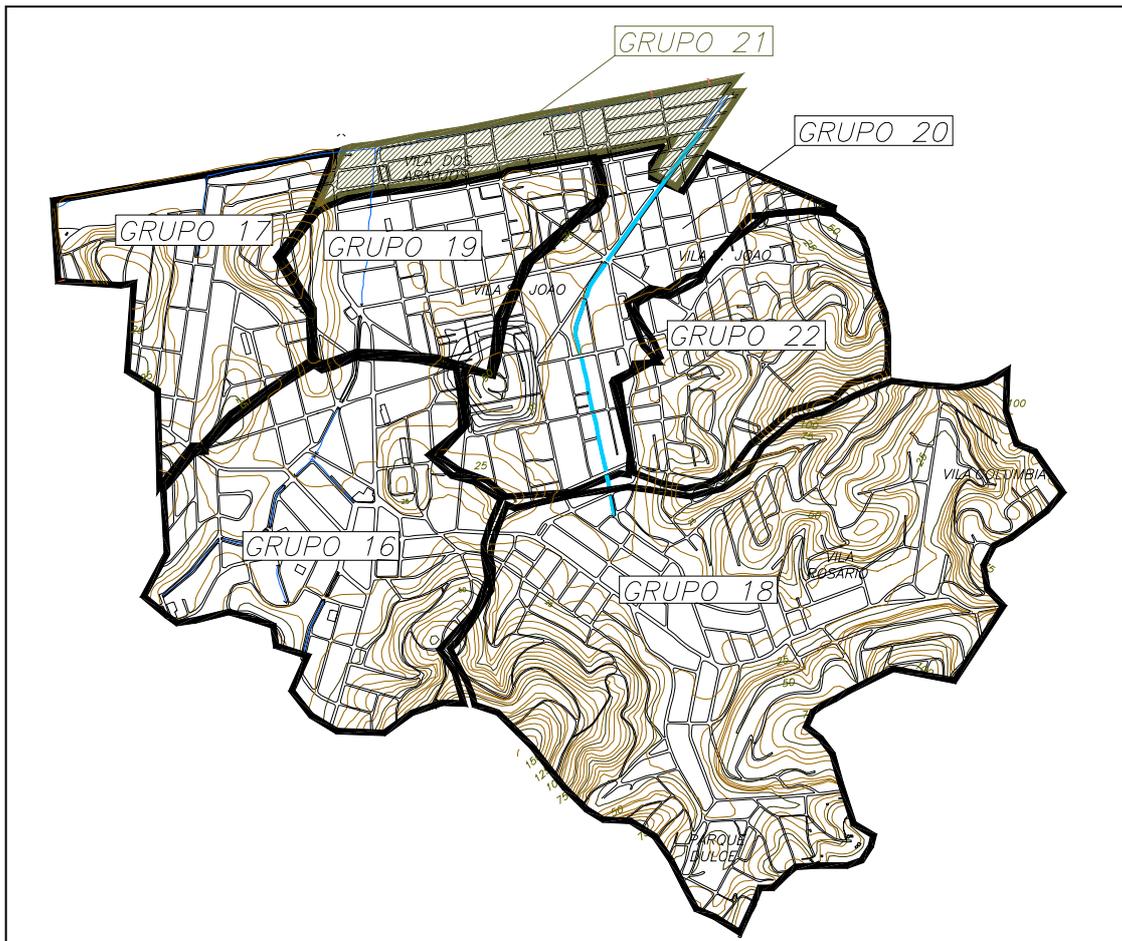


Figura 5.38 – Configuração Topografia no entorno do Grupo 21.

5.2.22 Região do GRUPO 22.

O grupo 22 representa uma região de encosta e sua célula representativa é um dos pontos mais baixos dentro da área. Desta forma, tem o cotograma característico esperado, em forma triangular, com pequeno tempo de base e ainda rápida subida e descida dos níveis (Figuras 5.39 e 5.40).

5.2.22.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 22.

O grupo 22 é adjacente aos grupos 18, 20 e 23, mas não há troca de vazões entre este e os grupos 18 e 23, já que as linhas divisórias são cumeadas. Desta forma, somente sofre pequena influencia do grupo 20, a jusante de sua área.

5.2.22.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 22.

A implementação de microreservatórios em lotes em sua área acarreta em leve amortecimento dos níveis, ficando o tempo de chegada praticamente inalterado e o pico da cheia reduzido em percentual de 21%..

No grupo 20, a jusante de sua área, há redução de pico da cheia, conforme se observa na Figura 5.35, ocorrendo pequeno amortecimento de volumes em sua própria área. Pela Tabela 5.1, verifica-se ainda pequenos percentuais de redução do tirante máximo em outros grupos.

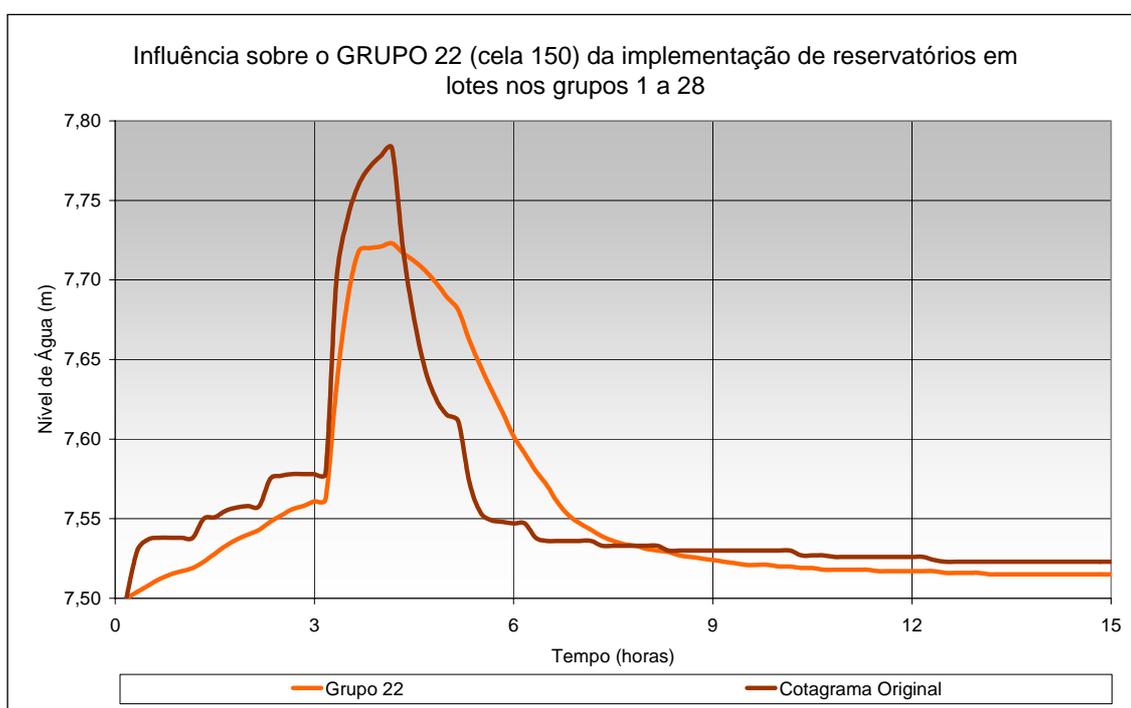


Figura 5.39 – Cotogramas para a célula 150 – GRUPO 22.

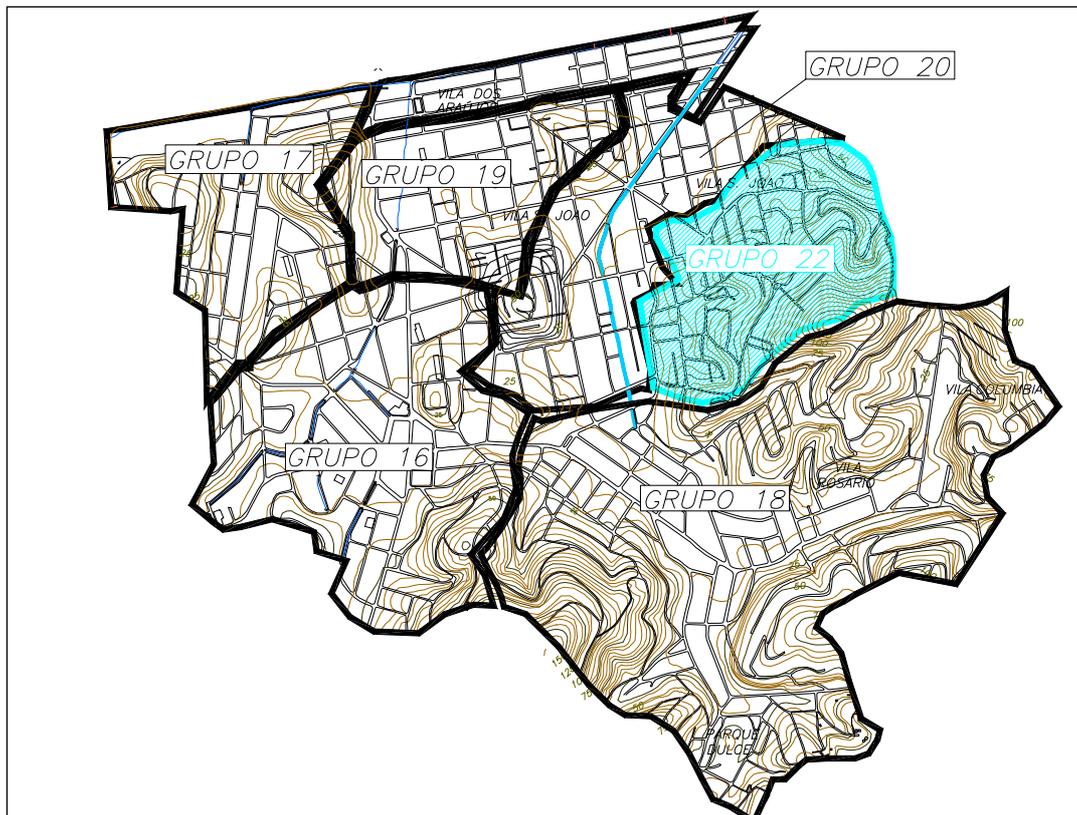


Figura 5.40 - Configuração da Topografia no entorno do Grupo 22.

5.2.23 Região do GRUPO 23.

A região do grupo 23 é formada por morros com grandes declividades e escoar para áreas de planície próximas ao canal do Sarapuí (Figura 5.42), sendo isolado de outros grupos fronteiros por linhas de cumeadas. Seus níveis têm comportamento semelhante ao identificado para o grupo 21, com duas fases de cheias, já que os dois concorrem para um canal de drenagem que deságua no Canal Auxiliar do Sarapuí.

5.2.23.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 23.

De acordo com as características acima, as simulações realizadas para os diversos grupos não apresentam resultados importantes com relação ao grupo 23 para o primeiro pico da inundação. Para o segundo trecho, a tendência dos resultados apresentada para o grupo 21 se repete e há amortecimento desta segunda fase do evento para as simulações dos grupos 24, 26 e 28.

5.2.23.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 23.

O principal influenciador para a redução dos níveis de água no grupo 23 é o próprio grupo 23, mas não há amortecimento significativo. Há ainda pequenos efeitos gerados para os níveis dos grupos de jusante (Figura 5.41).

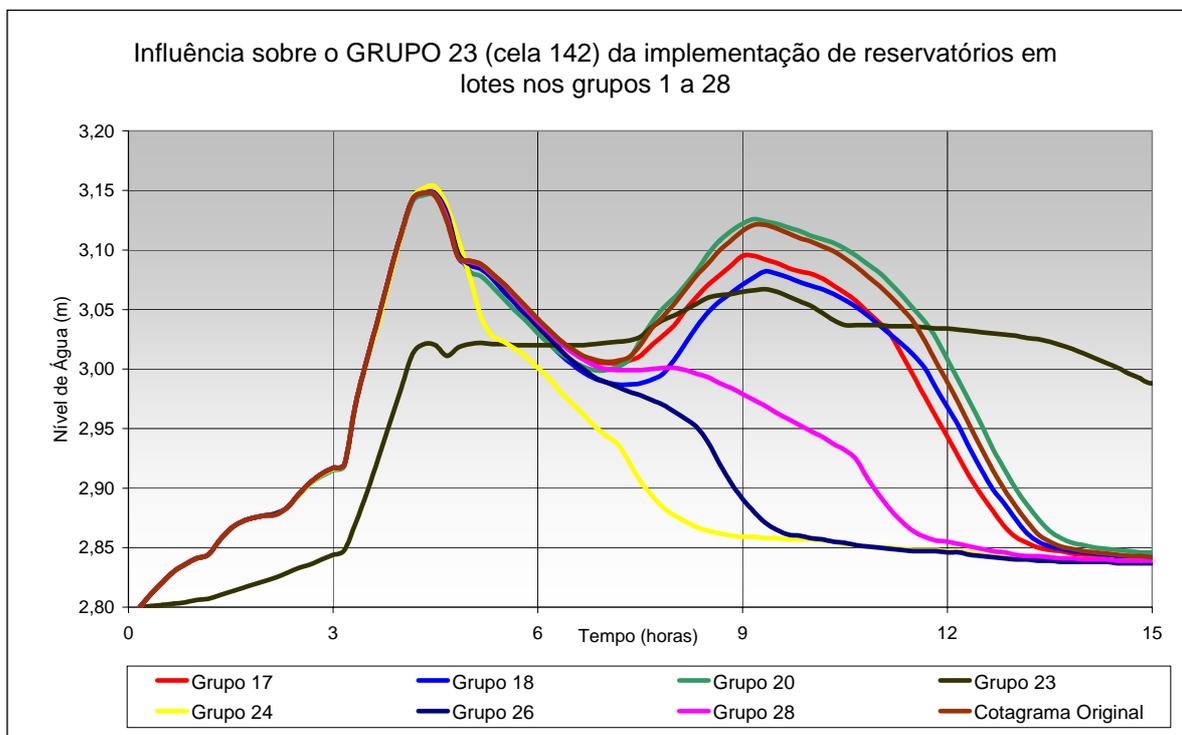


Figura 5.41 – Cotogramas para a célula 142 – GRUPO 23.

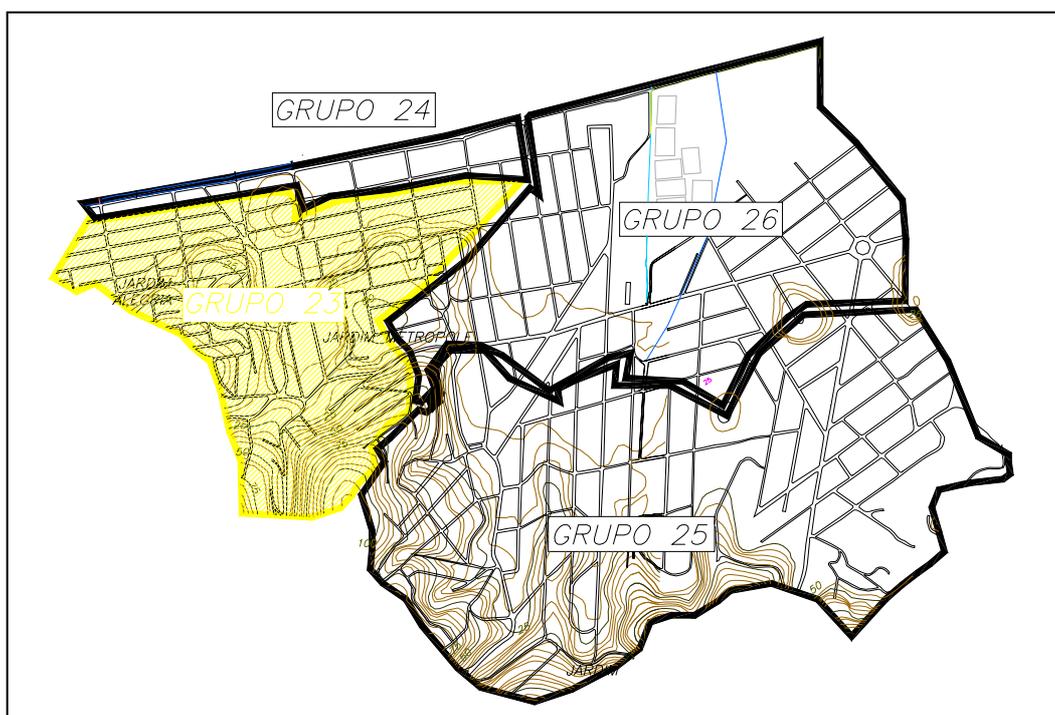


Figura 5.42 – Configuração Topográfica do GRUPO 23.

5.2.24 Região do GRUPO 24.

O grupo 24 engloba região que margeia o canal do Sarapuí (Figura 5.44), sendo uma das mais importantes em termos de alagamento na região, conforme Figura 4.12. Ao observar-se o cotograma da Figura 5.43 verifica-se que o tempo de chegada do pico da cheia é maior com relação ao de outras regiões da bacia, por ser um ponto mais a jusante.

5.2.24.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 24.

A região do grupo 24 compreende um trecho de jusante da área em estudo, próximo ao Canal Auxiliar do Sarapuí e, desta forma, conforme se observa pela Matriz de Interação da Tabela 5.1, sofre a interferência de praticamente todas áreas da bacia, com exceção do grupo 11, localizado em trecho superior da bacia e de pequena área de drenagem. Apesar de sofrer o impacto da implementação de microreservatórios em lotes nos diversos grupos, os percentuais de maior redução para o tirante máximo e amortecimento se dão nas simulações dos grupos 26 e 28, ambos no extremo jusante do trecho simulado, conforme observa-se pelas Figuras 5.43 e 5.44 a seguir.

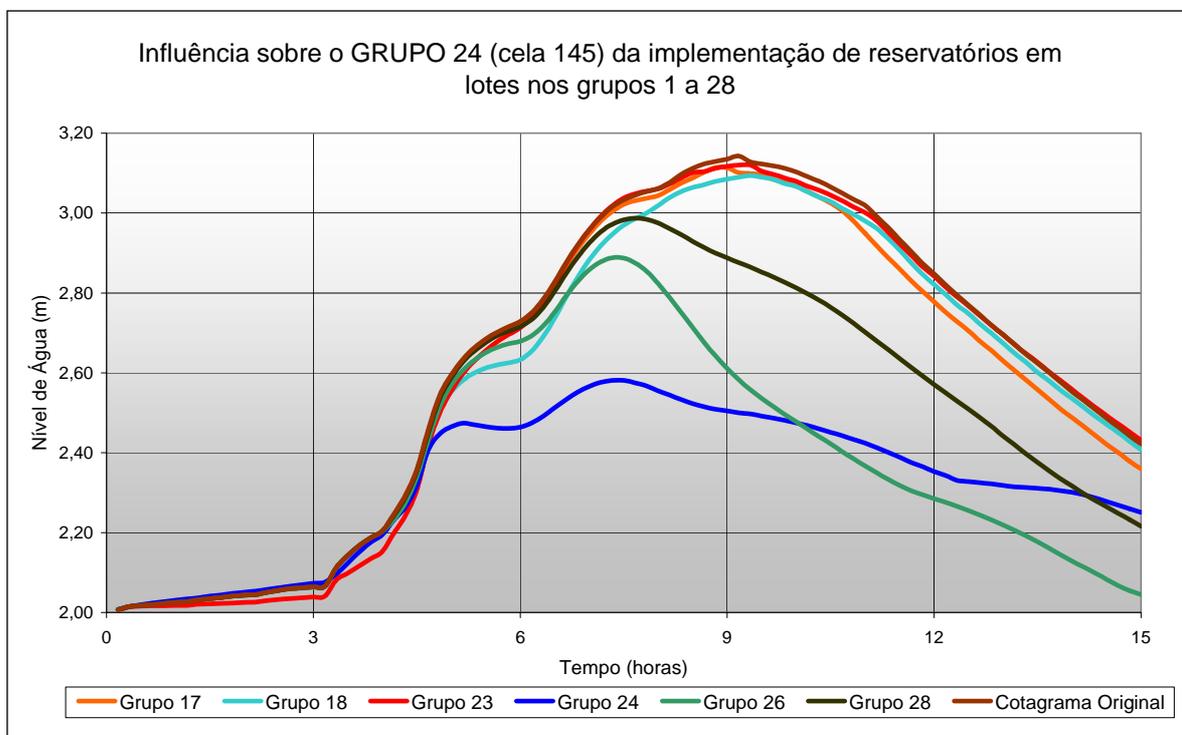


Figura 5.43 – Cotogramas para a célula 142 – GRUPO 24.

5.2.24.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 24.

Ao analisar-se a Matriz de Interação da Tabela 5.1 observa-se que os percentuais mais intensos de redução gerados pela colocação de microreservatórios em lotes no grupo 24 se dão em sua própria área e ainda nas áreas dos grupos 26 e 28, vizinhos de jusante no trecho extremo baixo da bacia.

5.2.25 Região do GRUPO 25.

O cotograma produzido no grupo 25 pela implementação de microreservatórios em lotes em sua área é semelhante em forma ao do produzido pelo grupo 22 em sua área, representando assim as mesmas características para uma região de relevo acidentado (Figura 5.44). O limite geográfico deste grupo é representado por linhas de cumeada com os grupos vizinhos, havendo trocas de vazões apenas com a região do grupo 26, a jusante de sua área.

5.2.25.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 25.

Devido à topografia local há apenas pequena influência quando é simulada a implementação de microreservatórios em lotes no grupo 26, mas em percentuais interessantes apenas para verificar-se a tendência do escoamento na região, pois em termos de redução de cheias os efeitos são desprezíveis considerando-se as dimensões das estruturas avaliadas neste trabalho.

5.2.25.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 25.

Assim como os resultados apresentados para o grupo 22, há pequena redução do pico do evento para a área do grupo 25, com redução de cerca de 10 cm. O efeito da implementação dos microreservatórios em lotes se propaga para jusante em pequenos percentuais, nos grupos 17, 24, 26 e 28.

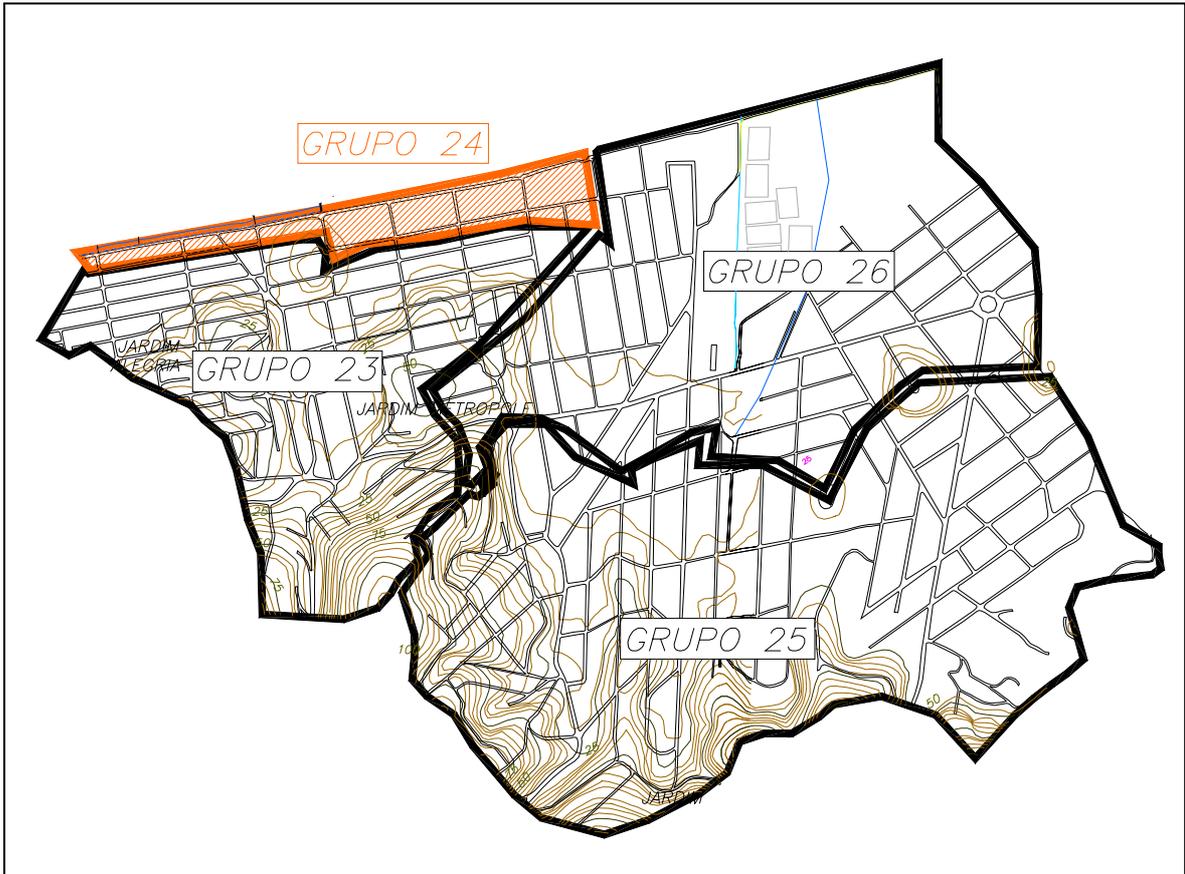


Figura 5.44 – Configuração Topográfica no entorno dos GRUPOS 24 e 25.

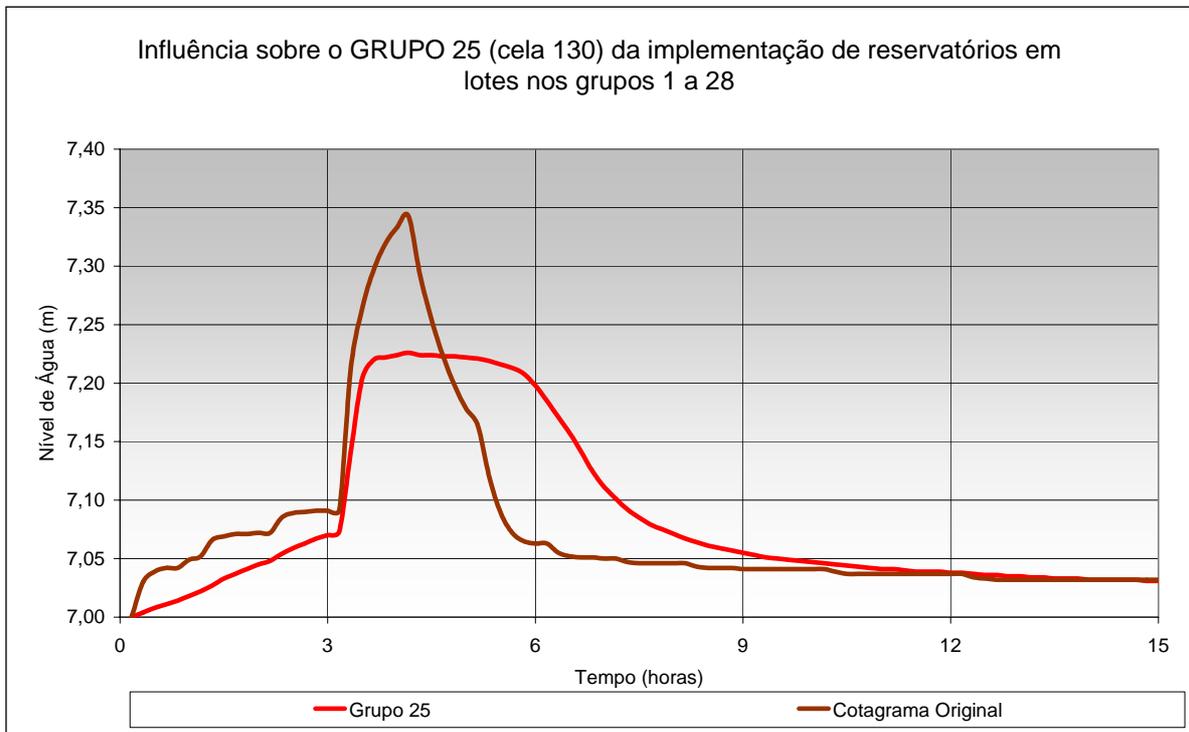


Figura 5.45 – Cotogramas para a célula 130 – GRUPO 25.

5.2.26 Região do GRUPO 26.

O grupo 26 é constituído por células de cota baixas, próximas ao canal do Sarapuí, também sendo uma região importante em termos de alagamento (Figuras 4.2 e 5.47).

5.2.26.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 26.

Assim como para o grupo 24, o grupo 26 somente não sofre a influencia da colocação de microreservatórios em lotes no grupo 11, conforme observa-se da Tabela 5.1. O comportamento quanto aos demais resultados é semelhante, já que estão localizados na mesma região. Desta forma, as maiores influencias são dos grupos vizinhos 24 e 28.

5.2.26.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 26.

O grupo 26 gera importante amortecimento dos volumes para sua própria área, acarretando redução dos níveis, produzindo efeito ainda nos grupos 24 e 28, ambos vizinhos de montante e jusante respectivamente.

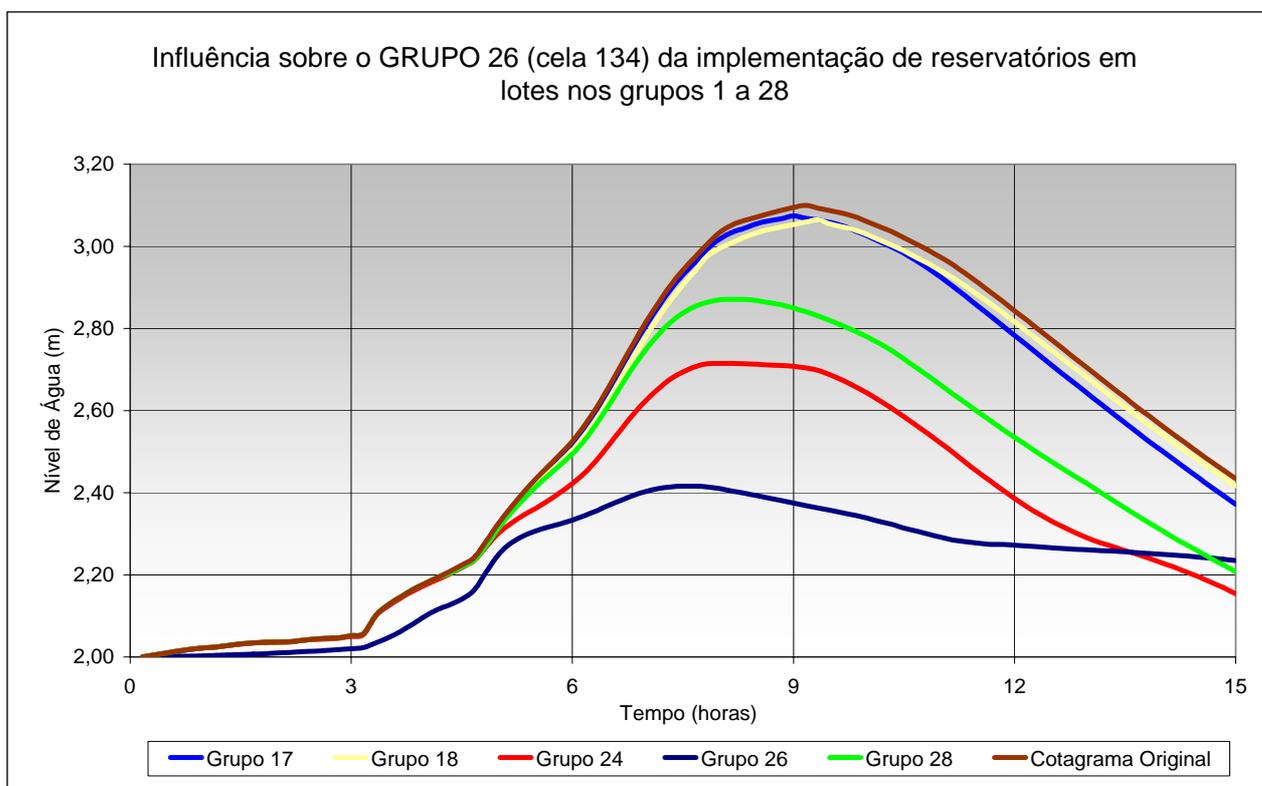


Figura 5.46 – Cotogramas para a célula 134 – GRUPO 26.

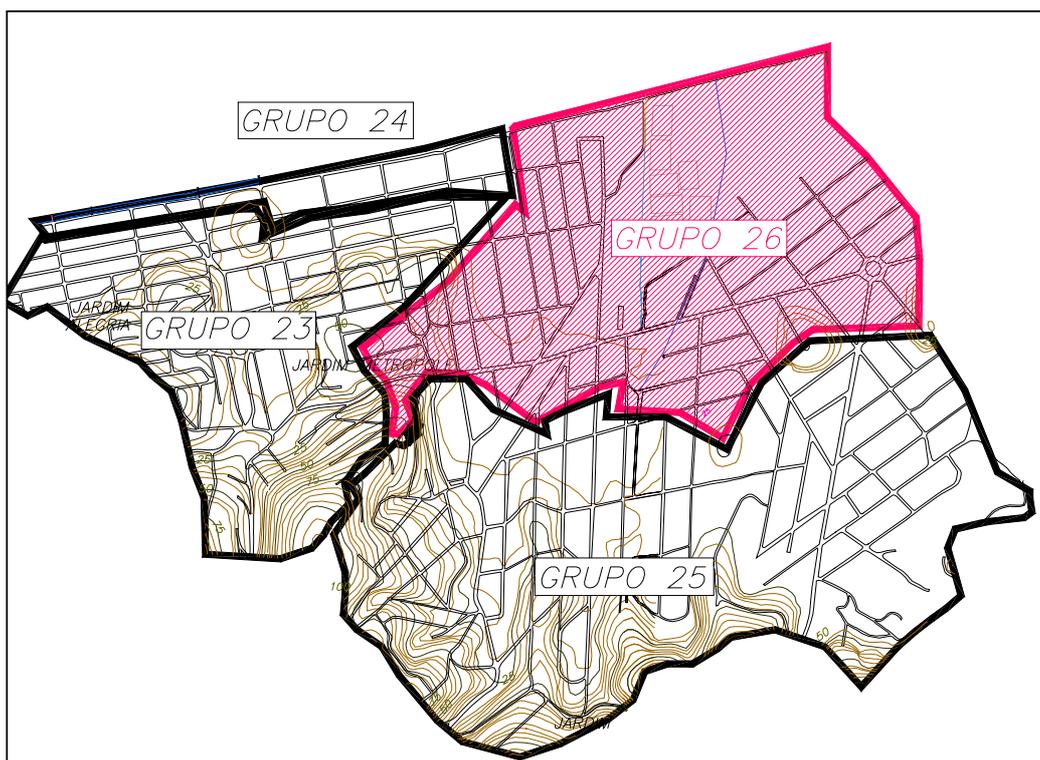


Figura 5.47 – Configuração Topográfica no entorno do GRUPO 26.

5.2.27 Região do GRUPO 27.

O grupo 27 tem características semelhantes às dos grupos 22 e 25, e isso é mostrado pelo resultado das simulações. Representa área do Município de Duque de Caxias, por região constituída de encostas. Está a montante do grupo 28, no limite de jusante do trecho em estudo (Figura 5.49).

5.2.27.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 27.

Os resultados apresentados na Tabela 5.1 mostram que o grupo 27, por ser totalmente de montante, não sofre a influencia de nenhuma outra região da área em estudo.

5.2.27.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 27.

Apresenta cotograma em forma triangular e de curto tempo de base, e a adoção de microreservatórios em lotes em sua própria área causa reduzido amortecimento de seus níveis (Figura 5.48). Há desprezíveis alterações em outros locais para esta configuração simulada (Tabela 5.1).

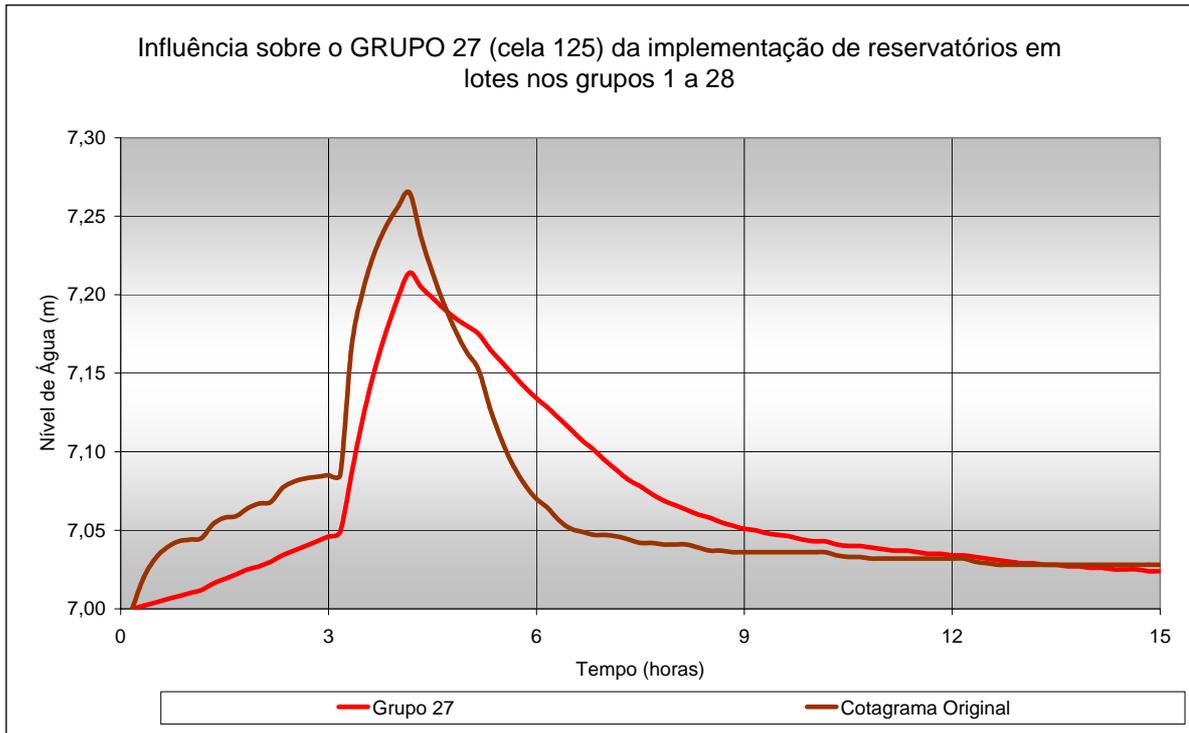


Figura 5.48 – Cotogramas para a célula 125 – GRUPO 27.

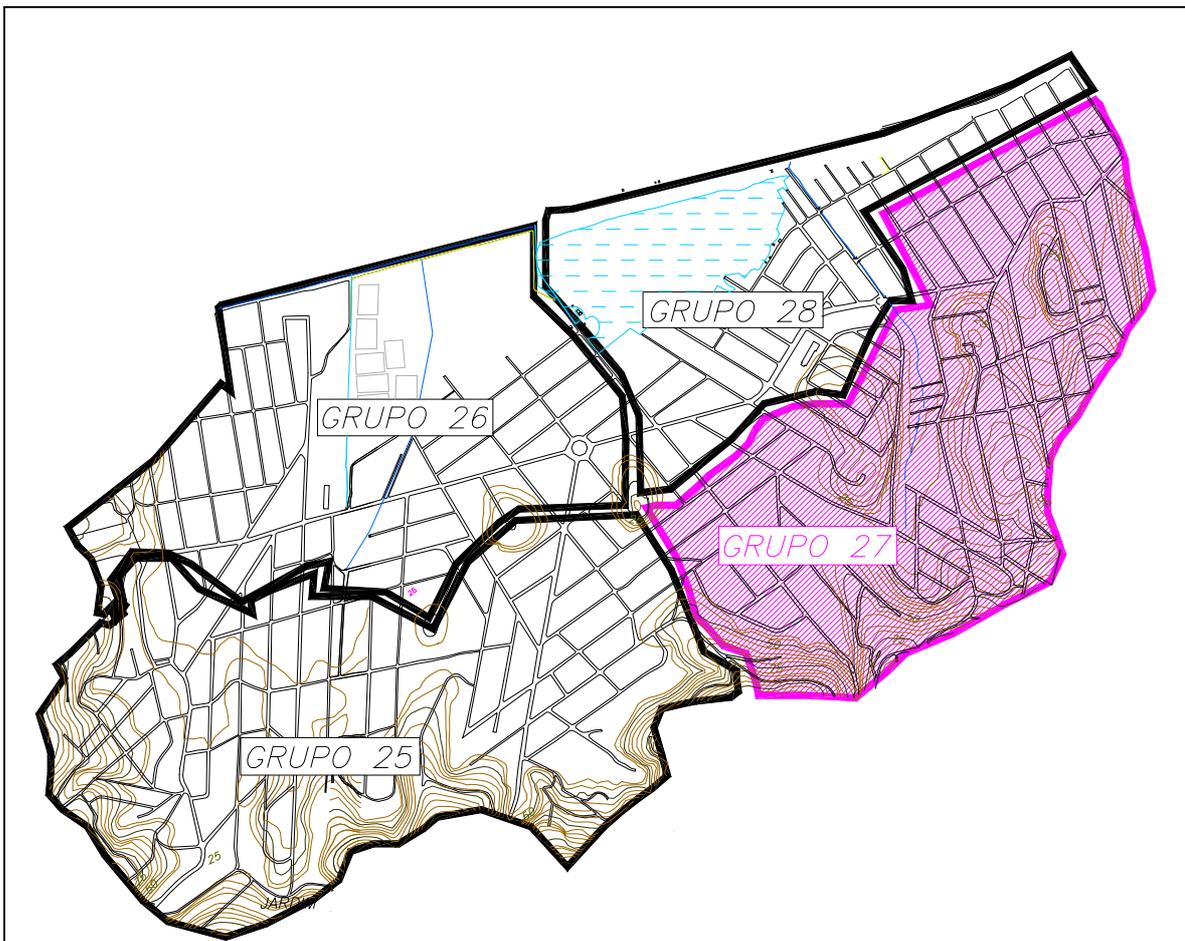


Figura 5.49 – Região dos GRUPOS 27 e 28.

5.2.28 Região do GRUPO 28.

O grupo 28 compreende a região extrema de jusante dentro da área simulada, no Município de Duque de Caxias, englobando o reservatório pulmão do sistema de um polder, de nome Alberto de Oliveira, localizado na região. Desta forma, é uma região de cotas baixas e terrenos planos em quase toda sua totalidade (Figura 5.49). Foram consideradas as condições de ocupação apresentadas para o ano de 1996, ressaltando-se que não foi considerada a implementação de estruturas de reservatório em lotes sobre a área do reservatório pulmão, pois a mesma é uma área de alagamento natural e tem seu uso regulamentado para este fim, apesar das condições atuais, de ocupações ilegais e até de tendência de regularização das ocupações existentes.

5.2.28.1 Efeitos Sofridos pelo Grupo 28.

Como área de jusante da modelagem, a região deste grupo sofre a influencia de diversas regiões quando são simulados os microreservatórios, excetuando-se os grupos 2, 11 e 22, para os quais as simulações não alteram os picos nesta região, conforme observa-se na Tabela 5.1. Em geral, os impactos gerados no grupo 28 são de reduzidos percentuais, excetuando-se os grupos vizinhos de montante 24 e 26, para os quais as simulações apresentam percentuais de redução do tirante máximo de 13% e 23% respectivamente, apresentando para estas simulações interessante amortecimento.

5.2.28.2 Efeitos Gerados pelo Grupo 28.

A implementação de microreservatórios em lotes no grupo 28 gera efeito de amortecimento em sua própria área e ainda nas áreas dos grupos 24 e 26, ambos a montante na bacia.

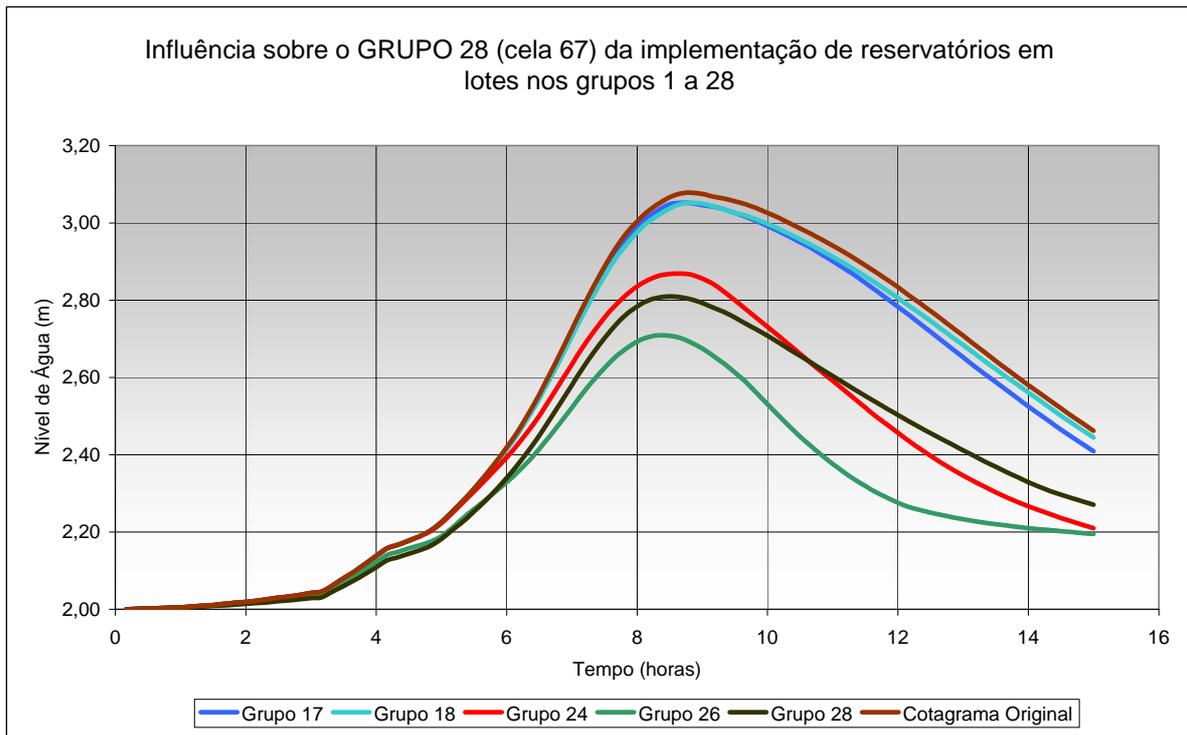


Figura 5.50 – Cotogramas para a célula 67 – GRUPO 28.

5.3 Análise Geral dos Resultados

Em uma primeira análise observa-se que a aplicação dos microreservatórios em lotes de forma distribuída e estudada de forma isolada por sub-regiões se mostrou de caráter mais local a região de um dado grupo e sendo seus principais efeitos propagados de forma efetiva apenas para trechos próximos ao local da implementação. Na maioria dos casos, limitando-se a regiões de jusante e no entorno da área da implementação.

O efeito propagado aos grupos mais distantes deve ser analisado em termos qualitativos e indicativos, tendo em vista que a ordem de grandeza dos resultados pode ser alterada a partir do estudo de implementação dos microreservatórios em regiões considerando-se nova divisão em grupos, com áreas diferentes da atual, ou seja, novos agrupamentos a partir da tendência indicada pelos resultados atuais; ou ainda de alterações nas dimensões dos reservatórios e orifícios e até de maior conhecimento dos dados necessários à modelagem. Ressalta-se que estes resultados foram obtidos para a configuração de reservatórios de 1 m³ de volume e orifícios de saída para a microdrenagem de 1 polegada. Desta forma, ao estudar-se outras configurações e ainda de acordo com a existência de informações para melhor

calibração, os resultados obtidos quanto aos efeitos de amortecimento podem ser propagados de forma mais intensa.

Assim, verifica-se que grupos de jusante recebem o benefício da propagação do amortecimento de grande parte dos locais para a simulação isolada de um grupo, conforme se verifica na Tabela 5.1 para os grupos 17, 24, 26 e 28, todos de jusante. Apesar de receberem este efeito em pequenos percentuais para o estudo isolado, a aplicação em diversos grupos simultaneamente pode acarretar sobreposição de amortecimentos interessantes, se combinados de forma apropriada.

Pode-se observar que não seria interessante sob o ponto de vista hidrológico a implementação de microreservatórios em lotes em toda a área em estudo, já que os efeitos gerados se mostraram locais e desta forma alguns grupos não influenciam para os níveis no restante da bacia, e desta forma, não gerariam efeitos sobre algumas áreas problemáticas. Além disso, há regiões que produzem efeitos semelhantes e concorrentes e desta forma talvez não seja adequada ou necessária a implementação em ambas, podendo-se estudar a que seria a mais adequada sob os diversos aspectos técnico, sócio-econômicos e ambientais.

Uma análise geral dos resultados obtidos mostra que, apesar de se apresentarem em diferentes percentuais, há efeitos positivos para todas as implementações em suas próprias áreas. As diferenças estão associadas às características topográficas (Tabela 5.1). Deve-se considerar o fato de os grupos não terem áreas iguais, de forma que a análise qualitativa se faz fundamental.

De uma forma geral, os efeitos se dão dos grupos de montante para os grupos de jusante, e observa-se pela Tabela 5.1 que a maior parte dos efeitos gerados se dá nos trechos altos e médios da bacia, dos grupos 1 a 14. Para os demais grupos, do trecho baixo, a propagação de efeitos se dá em menores percentuais, mostrando que o funcionamento das estruturas avaliadas não é tão eficiente para os trechos baixos, já que as galerias são afogadas rapidamente. Estes resultados são observados para os grupos 15, 17 e 21.

Os grupos 5, 6, 7, 9, 10, 12, 14, 17, 20, 24, 26 e 28 são os que recebem maior influência positiva da implementação de microreservatórios em outros grupos. Alguns grupos têm configuração topográfica de montante e desta forma não sofrem nenhuma

influência de outros grupos ou sofrem influencia apenas de grupos imediatamente a jusante de sua área, como os grupos 1, 8, 11, 13, 18, 22, 25 e 27.

Os grupos que influenciam em um maior número de grupos são: 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12 e 14, para quaisquer percentuais; enquanto que para influências superiores à 5%, os grupos mais importantes são: 1, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 24, 26 e 28.

Ao analisar-se a Figura 4.4, observa-se que os grupos com maiores problemas de inundações são: 6, 8, 10, 12, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 26 e 28. Ao analisar-se os cotogramas apresentados anteriormente e a Matriz de Interações da Tabela 5.1, pode-se construir as tabelas abaixo:

Tabela 5.2 – Redução do Tirante Máximo para os Grupos Problemáticos.

Áreas de Inundação	Grupos que Geram efeito de redução do pico		
	Redução entre 2% e 5%	Redução entre 5% e 10%	Redução > 10%
GRUPO 6	1	7 ; 8	3 ; 6
GRUPO 8		11	8
GRUPO 10		3 ; 14	6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10
GRUPO 12			8 ; 11 ; 12
GRUPO 15			15
GRUPO 17	14		17
GRUPO 18			18
GRUPO 20		18 ; 22	20
GRUPO 21		20	21
GRUPO 23			23
GRUPO 24	17 ; 18 ; 23		24 ; 26 ; 28
GRUPO 26	17 ; 18		24 ; 26 ; 28
GRUPO 28	17 ; 18		24 ; 26 ; 28

Tabela 5.3 – Remansos Sofridos e Causados nos Grupos Problemáticos.

Áreas de Inundação	Remanso Sofrido devido ao Grupo	Remanso Gerado Sobre o Grupo
GRUPO 6	10	
GRUPO 8	12	
GRUPO 10		6
GRUPO 12	13	8
GRUPO 15		
GRUPO 17	19 ; 20 ; 28	
GRUPO 18		19
GRUPO 20	23	17 ; 19 ; 26
GRUPO 21		23
GRUPO 23	21 ; 24	20
GRUPO 24		19 ; 23
GRUPO 26	20	19
GRUPO 28	27	17

Na Tabela 5.2 são resumidas as informações da Tabela 5.1 relativas às reduções dos tirantes máximos de cada grupo devido à simulação de microreservatórios em um dado grupo. As informações foram classificadas em três níveis de acordo com o percentual produzido de redução para cada grupo.

Na Tabela 5.3 são resumidos os efeitos negativos gerados e sofridos pelos grupos classificados como problemáticos ou mais sujeitos a inundações. Esta informação é importante, pois, apesar de em percentuais baixos, é um parâmetro qualitativo que deve ser observado de forma a não ter-se o efeito de redução de níveis de água em um local mas este ser acompanhado de aumento de níveis em outro local.

Desta forma, combinações entre as implementações de microreservatórios em lotes nos grupos que causam redução serão avaliadas a partir deste diagnóstico inicial de efeitos e causas para as implementações de microreservatórios em lotes em cada um dos grupos, conforme resumido nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3.

6 ESTUDO DAS COMBINAÇÕES.

De forma a se avaliar o efeito sobreposto da implementação de microreservatórios em lotes de forma distribuída em diferentes regiões da bacia, procedeu-se á análise de possíveis combinações dos grupos para simulação de forma a ter-se uma definição de cenários que atendam aos locais mais sujeitos a inundações, utilizando-se as informações resumidas na Figuras 4.12 e nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3.

Os critérios utilizados são de que as combinações sejam concebidas de forma a utilizar grupos que atuam em mais de uma região, compreendendo o menor número de grupos ou área possível, de forma distribuída na bacia, e procurando obter reduções de cota e amortecimentos nas áreas problemáticas.

O primeiro cenário proposto a ser estudado visa á redução dos níveis para o trecho de jusante da bacia, região do reservatório pulmão, considerada atualmente a mais problemática quanto às inundações. Esta área, que deveria ser utilizada para receber as águas das cheias e armazená-las de forma a ser liberada no momento que o rio Sarapuí tivesse seus níveis mais baixos, após a passagem das cheias, vem sofrendo progressiva ocupação e já há projetos em andamento para que estas ocupações sejam tornadas regulares.

O segundo cenário proposto engloba o primeiro e considera ainda a tentativa de amortecer o volume de forma a reduzir os níveis em todos os grupos problemáticos, que representam as áreas mais sujeitas às inundações, conforme descrito anteriormente.

De forma a ter-se o menor número de intervenções possíveis e obter-se o efeito desejado de amortecimento na bacia, observa-se que os grupos 3, 6, 8, 11, 14, 18, 23, 24, 26 e 28 geram efeito de amortecimento em mais de uma área, além de sua própria região, e assim são interessantes para serem adotados para a definição das combinações.

Desta forma, a seguir são propostas algumas combinações tendo em vista os objetivos de avaliar o efeito sobreposto das intervenções, conforme definido anteriormente:

- **Combinação 1:** Grupos 24, 26 e 28;
- **Combinação 2:** Grupos 6, 8, 15, 17, 18, 24, 26 e 28;

A Combinação 1 tem o objetivo de verificar a sobreposição de efeitos quanto aos grupos de jusante, trecho problemático quanto às inundações. Os grupos 24, 26 e 28, simulados isoladamente, têm efeitos importantes de amortecimento sobre suas áreas e ainda sobre as áreas dos outros dois considerados.

Já a Combinação 2 soma a estes três grupos da Combinação 1 que têm efeito sobre a área do reservatório pulmão, outros grupos que atuam sobre o restante de grupos problemáticos. O grupo 6 atua sobre sua própria área e ainda sobre as áreas do grupo 10; o grupo 8 atua sobre sua própria área e também sobre a área dos grupos 10 e 12. Assim, verifica-se a sobreposição de efeitos dos dois grupos sobre o grupo 10. O grupo 15 somente é influenciado pela sua própria área para a simulação isolada, assim, obrigatoriamente precisa constar desta combinação com objetivo geral. O grupo 17 gera efeitos sobre sua própria área e ainda sobre os grupos 21, 23, 24, 26 e 28. O grupo 18 atua sobre sua própria área e ainda sobre os grupos 20, 21, 23, 24, 26 e 28. Desta forma, na região do reservatório pulmão ter-se-ia, sobreposto aos efeitos dos grupos 24, 26 e 28, o efeito dos grupos 17 e 18.

Ressalta-se que os grupos 3, 10, 11, 12, 14 e 23 também poderiam ser utilizados nas combinações, mas buscou-se sempre selecionar os grupos que influenciasses sobre ao menos uma região além de sua própria e ainda que gerasse efeitos de redução de tirantes máximos superiores a 10%, conforme a Tabela 5.2. Os resultados da Tabela 5.3 não foram observados para a formação das combinações, devido aos pequenos percentuais de remanso gerados, mas os efeitos negativos serão avaliados nas mesmas. Além disso, as combinações selecionadas são apenas exemplos para efeito de avaliação da metodologia proposta, não significando serem as melhores, já que para esta conclusão seria necessária a simulação de um maior número de combinações, não sendo este o objetivo principal do trabalho, restrito ao aspecto acadêmico.

6.1 Análise dos Resultados para as Combinações nas Áreas Problemáticas.

Os resultados das simulações para as combinações definidas no item anterior se mostram interessantes, já que os efeitos positivos do amortecimento se somaram, possibilitando o desafogamento das galerias de forma a terem aumento de capacidade

para o escoamento e assim promover um funcionamento mais eficiente da rede de drenagem como um todo. Estes resultados em alguns casos não mostraram redução adicional significativa com relação a uma simulação isolada para um dado local, mas auxiliaram no funcionamento mais eficiente dos microreservatórios e da rede de drenagem como um todo, pela reorganização dos escoamentos no tempo e no espaço. Mas de uma forma geral, para as áreas em que há a atuação de mais de um grupo, o efeito combinado se mostrou mais efetivo do que a simulação de cada um dos grupos isoladamente.

Desta forma, os resultados das simulações são discutidos nos próximos itens. Como tem-se como objetivo principal das combinações o amortecimento nos grupos problemáticos, a seguir são apresentados os resultados em cada um destes grupos problemáticos, de forma a constatar-se os efeitos obtidos das combinações.

6.1.1 Região do Grupo 6.

Para a região do grupo 6 a Combinação 1 não produz qualquer efeito, conforme esperado. Conforme a Figura 6.1, o cotograma resultante para esta combinação se sobrepõe ao Cotograma Original da Região. Já para a Combinação 2, o cotograma gerado pela simulação combinada apresenta leve redução quando comparado aos cotogramas gerados pelas simulações isoladas das intervenções, sendo praticamente o mesmo do gerado pela intervenção isolada do grupo 6, havendo reduzido efeito de sobreposição devido ao amortecimento simultâneo do grupo 8.

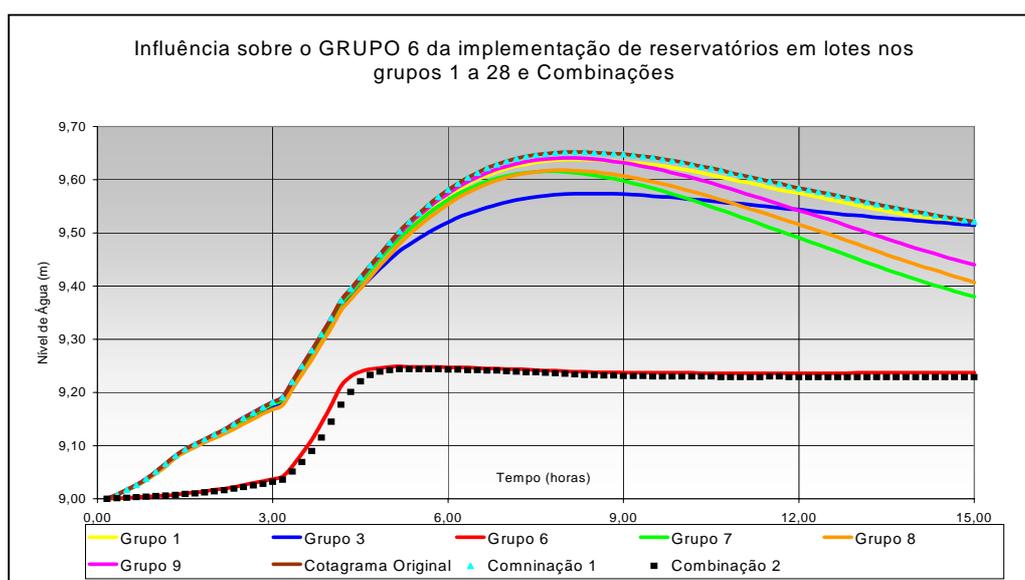


Figura 6.1 – Cotogramas para o Grupo 6 – Análise das Combinações.

6.1.2 Região do Grupo 8.

Ao observar-se a Figura 6.2 a seguir, verifica-se que a Combinação 1 não gera alterações ao Cotograma Original e para a Combinação 2, o resultado se sobrepõe ao da simulação isolada do grupo 8, já que os demais grupos da combinação não influenciam nesta região.

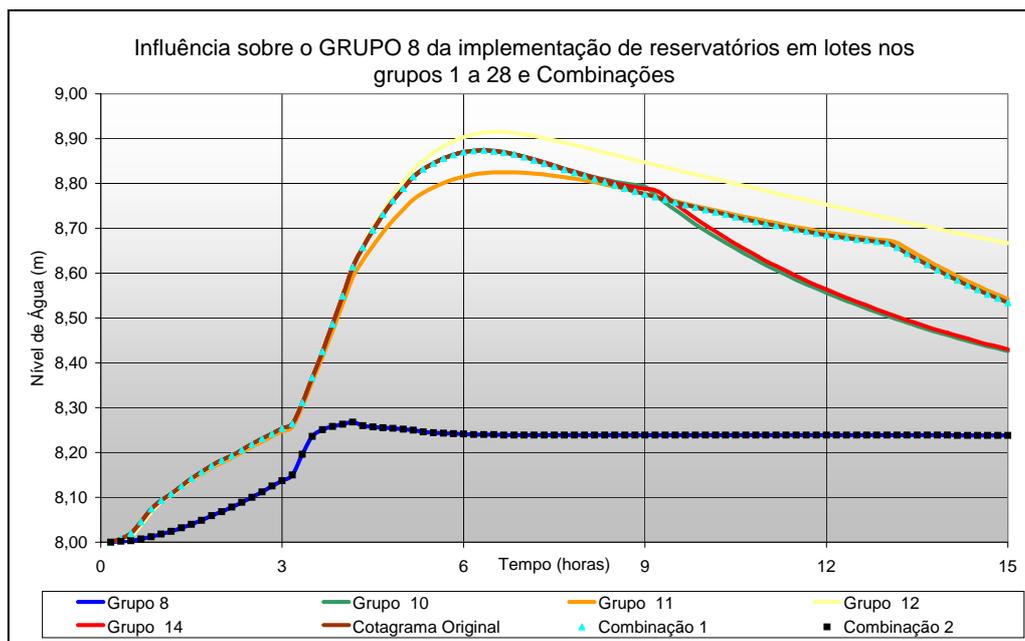


Figura 6.2 – Cotogramas para o Grupo 8 –Análise das Combinações.

6.1.3 Região do Grupo 10

Verifica-se que para a região do grupo 10, a simulação da Combinação 2 gera interessante amortecimento, apesar de não atingir o valor obtido para a simulação da implementação de reservatórios em lotes na própria região do grupo 10. A redução do pico chega a cerca de 60 cm e há grande amortecimento, conforme verifica-se na Figura 6.3. O resultado se deve à ação combinada dos grupos 6 e 8 em maior parte. A Combinação 1 não altera os valores com relação ao Cotograma Original.

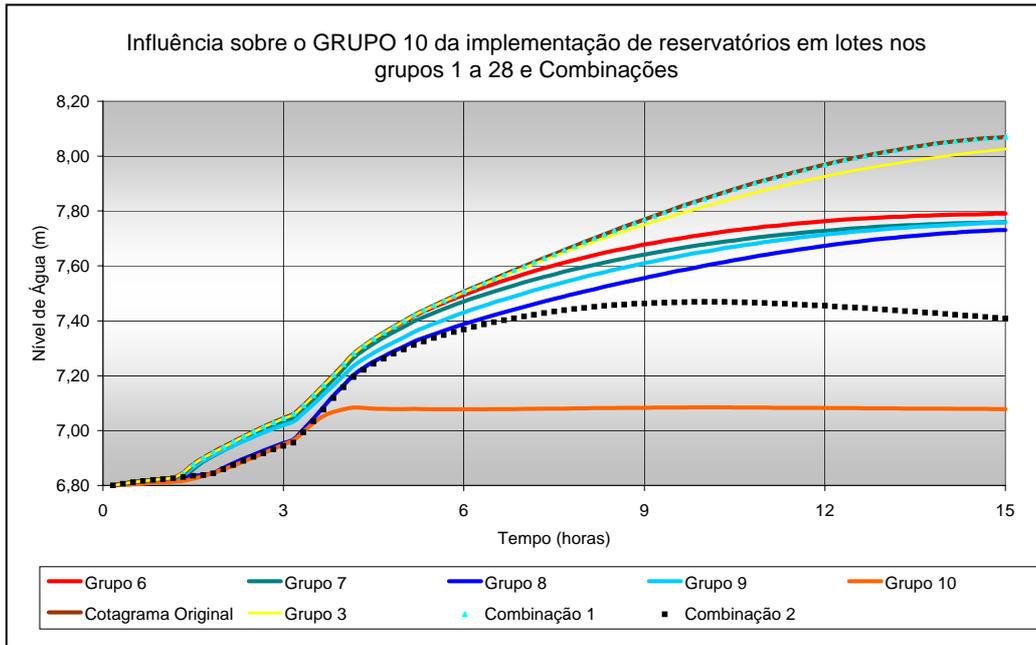


Figura 6.3 – Cotogramas para o Grupo 10 –Análise das Combinações.

6.1.4 Região do Grupo 12.

A região do grupo 12 atinge grande percentual de redução do tirante pela Combinação 2, sendo este valor devido à influencia do grupo 8, ocorrendo a sobreposição do cotograma resultante da simulação combinada ao obtido para a simulação isolada do grupo 8. Para a Combinação 1 não há alteração nos resultados do Cotograma Original.

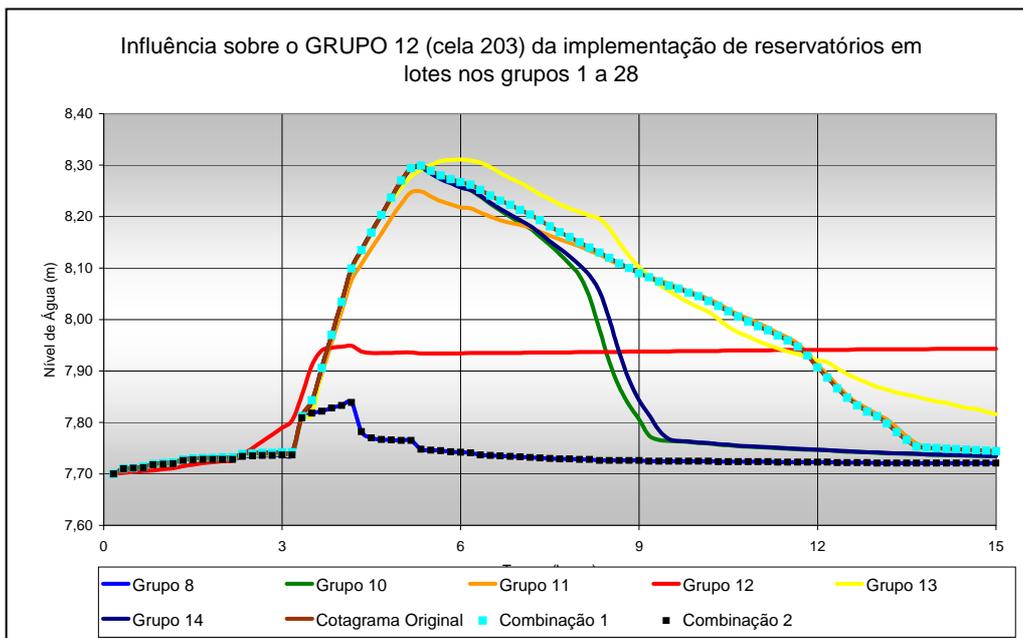


Figura 6.4 – Cotogramas para o Grupo 12 –Análise das Combinações.

6.1.5 Região do Grupo 15.

Os resultados gerados pelas combinações sobre a região do grupo 15 não se alteram para a Combinação 1, sendo igual ao original, e para a Combinação 2 repetem o cotograma gerado pela simulação isolada do grupo 15, não havendo nenhum efeito de sobreposição, já que o grupo 15 é o único a influenciar em seus níveis.

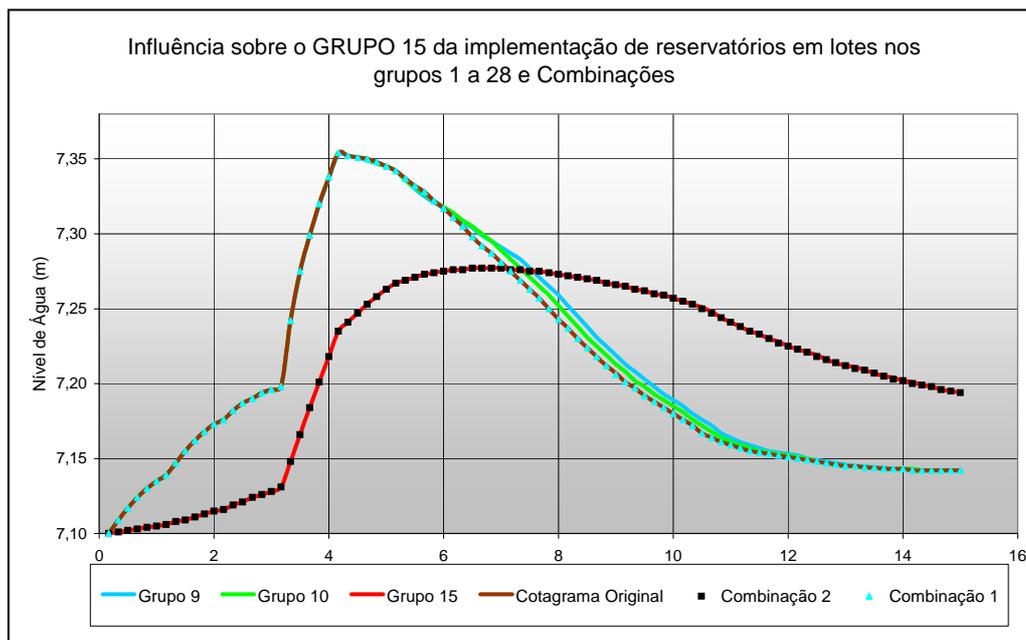


Figura 6.5 - Cotogramas para o Grupo 15 –Análise das Combinações.

6.1.6 Região do Grupo 17

Os resultados das combinações para o grupo 17 estão de acordo com os resultados das simulações isoladas, já que para a Combinação 1 não há alterações no Cotograma Original e para a Combinação 2 o Cotograma resultante praticamente se sobrepõe ao gerado pelo próprio grupo 17 isoladamente, já que a influencia dos demais grupos existe mas é desprezível, conforme apresentado na Tabela 5.1.

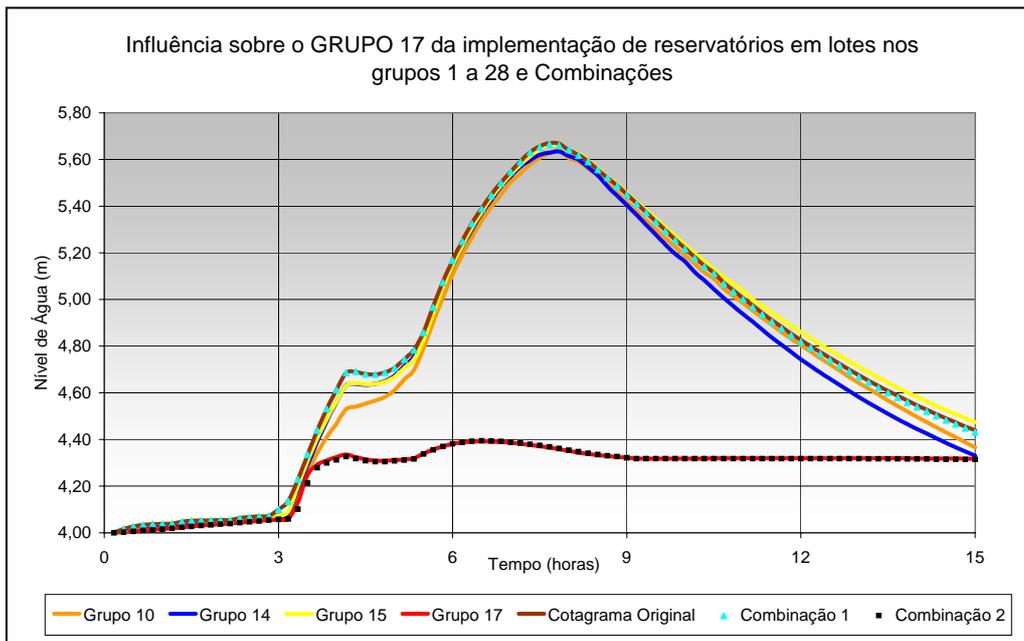


Figura 6.6 – Cotogramas para o Grupo 17 –Análise das Combinações.

6.1.7 Região do Grupo 18.

Para a Combinação 1 não há alteração quanto ao Cotograma Original do grupo 18, enquanto que para a Combinação 2, o cotograma gerado se sobrepõe ao da simulação isolada para o grupo 18.

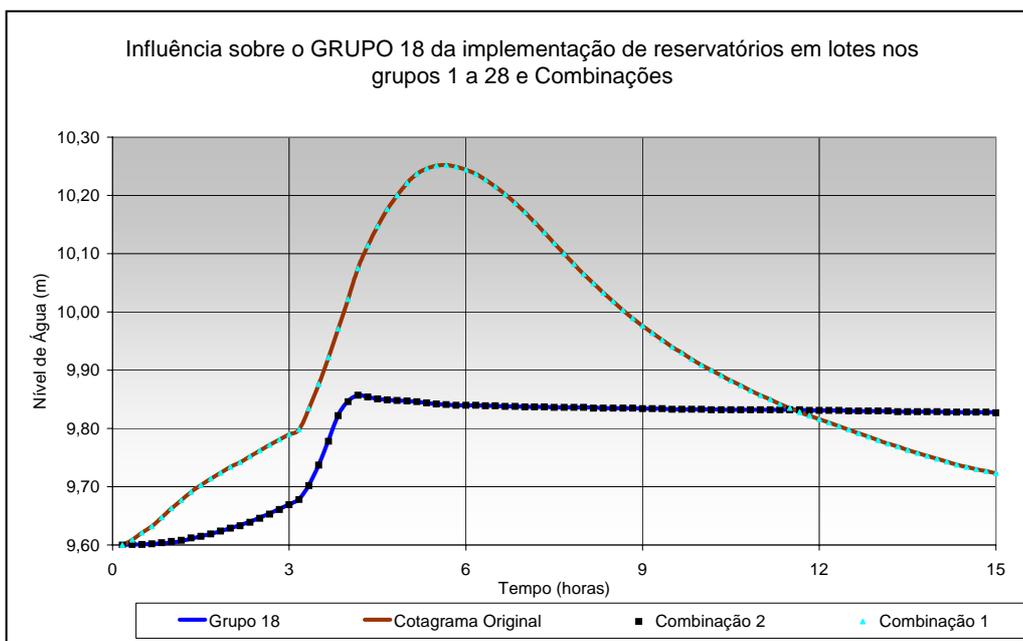


Figura 6.7 - Cotogramas para o Grupo 18 – Análise das Combinações.

6.1.8 Região do Grupo 20.

Para a região do grupo 20 não há alterações no Cotograma Original para a implementação da Combinação 1. Já para a implementação da Combinação 2 ocorre o amortecimento produzido pela influencia do Grupo 18, que representa redução no tirante máximo de 6% e amortecimento dos níveis para o evento. Se comparados os efeitos produzidos pela implementação isolada do grupo 20, este produz maior redução no pico com relação à gerada pelo grupo 18.

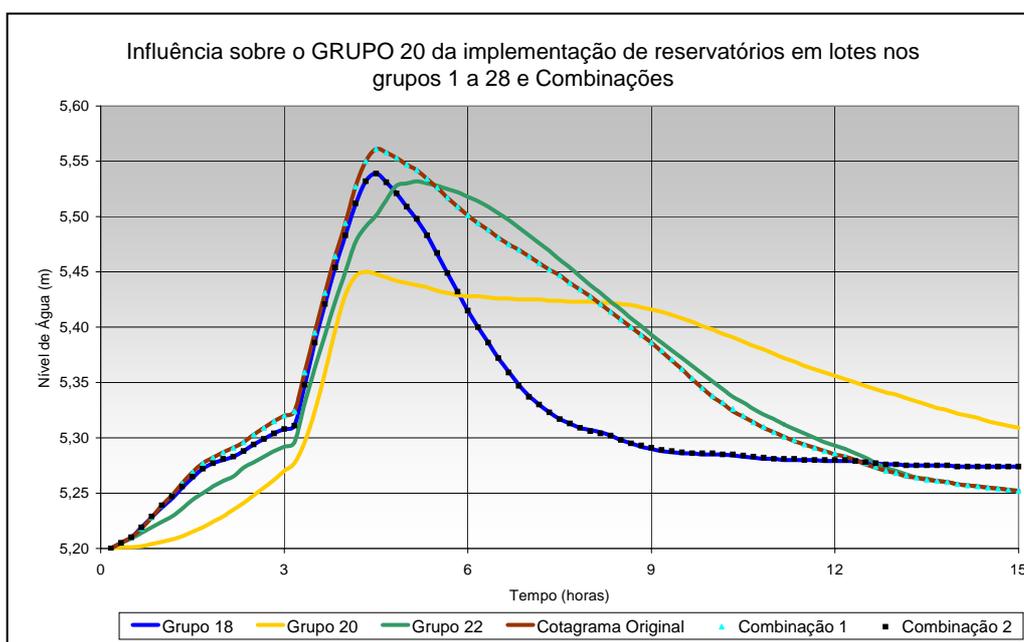


Figura 6.8 - Cotogramas para o Grupo 20 –Análise das Combinações.

6.1.9 Região do Grupo 21.

O grupo 21 sofre a influencia dos grupos 17 e 18, e mais efetivamente, dos grupos 24, 26 e 28. Para as combinações simuladas os resultados se sobrepõem, de forma que, apesar de não gerar redução no pico da primeira fase do cotograma, provoca o amortecimento pleno da segunda fase e desta forma mostra-se interessante. Os resultados das combinações são aderentes aos obtidos para as simulações isoladas dos grupos 24,26 e 28, concluindo-se que não há grande redução adicional dos níveis neste grupo para as combinações, mas por outro lado a mesma possibilita melhor funcionamento dos microreservatórios e da rede de drenagem e, provocando aumento de capacidade das galerias.

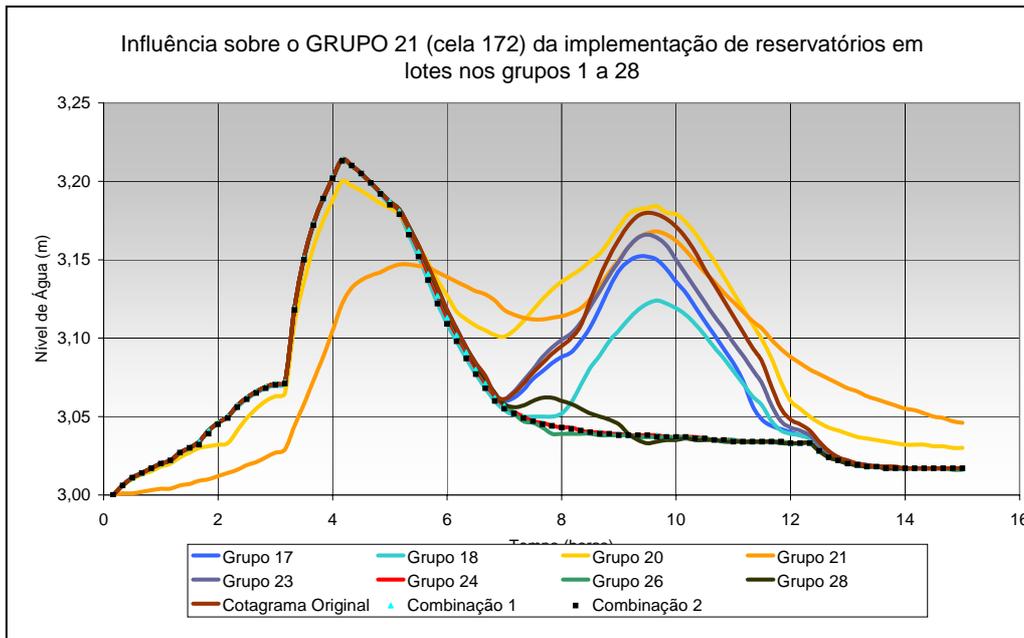


Figura 6.9 - Cotogramas para o Grupo 21 –Análise das Combinações.

6.1.10 Região do Grupo 23.

O resultado apresentado para a região do grupo 23 é semelhante ao obtido para as combinações no grupo 21, não produzindo redução do pico na primeira fase do cotograma, mas gerando amortecimento da segunda fase do evento. O resultado das combinações é aderente ao da simulação isolada do grupo 24, mostrando a influência deste grupo para este local prevalece sobre os demais.

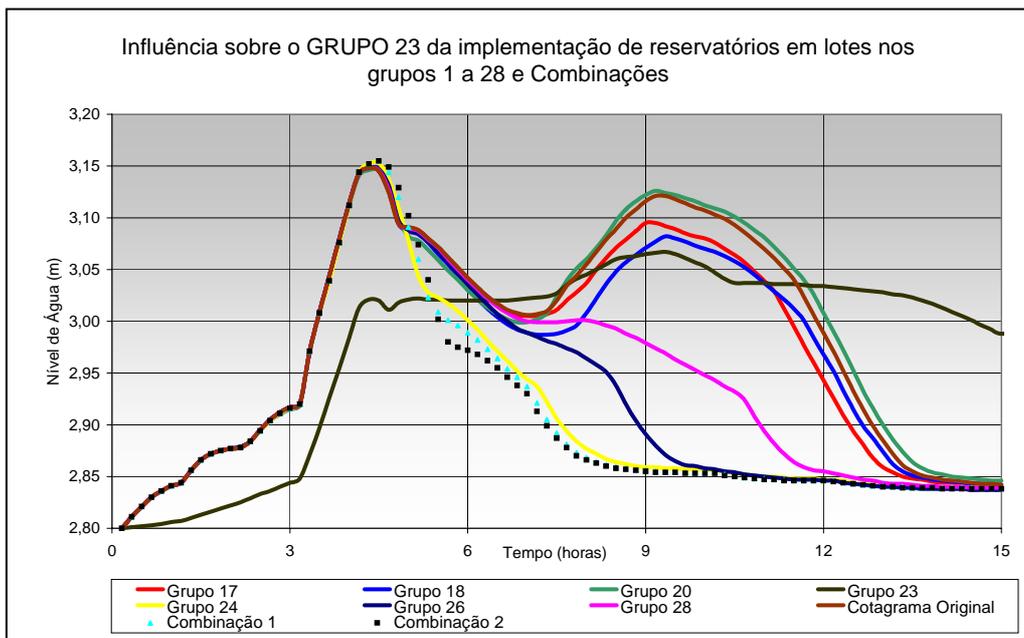


Figura 6.10 Cotogramas para o Grupo 23 –Análise das Combinações.

6.1.11 Região do Grupo 24.

Para este grupo os resultados das combinações 1 e 2 apresentam interessante redução devido à sobreposição gerada pelos efeitos de amortecimento dos grupos influenciadores na região. Para esta região, as duas combinações têm mais de um grupo influenciador e nenhum deles gera efeitos que prevaleçam sobre os dos demais grupos e desta forma todos têm parcela de contribuição para o amortecimento obtido.

Desta forma, o amortecimento produzido pela Combinação 2 é maior do que o produzido pela Combinação 1, já que a Combinação 1 influencia com os grupos 24, 26 e 28, enquanto que para a Combinação 2, há ainda a contribuição dos demais grupos, com diferentes pesos.

Comparando-se os cotogramas resultantes com os das simulações isoladas, observa-se o efeito de sobreposição prevalecendo abaixo de todos os outros cotogramas durante grande parte da simulação, apenas nas 3 horas finais sendo superiores ao resultado isolado apresentado no cotograma gerado pelo grupo 26 para o grupo 24, como resultado do maior amortecimento.

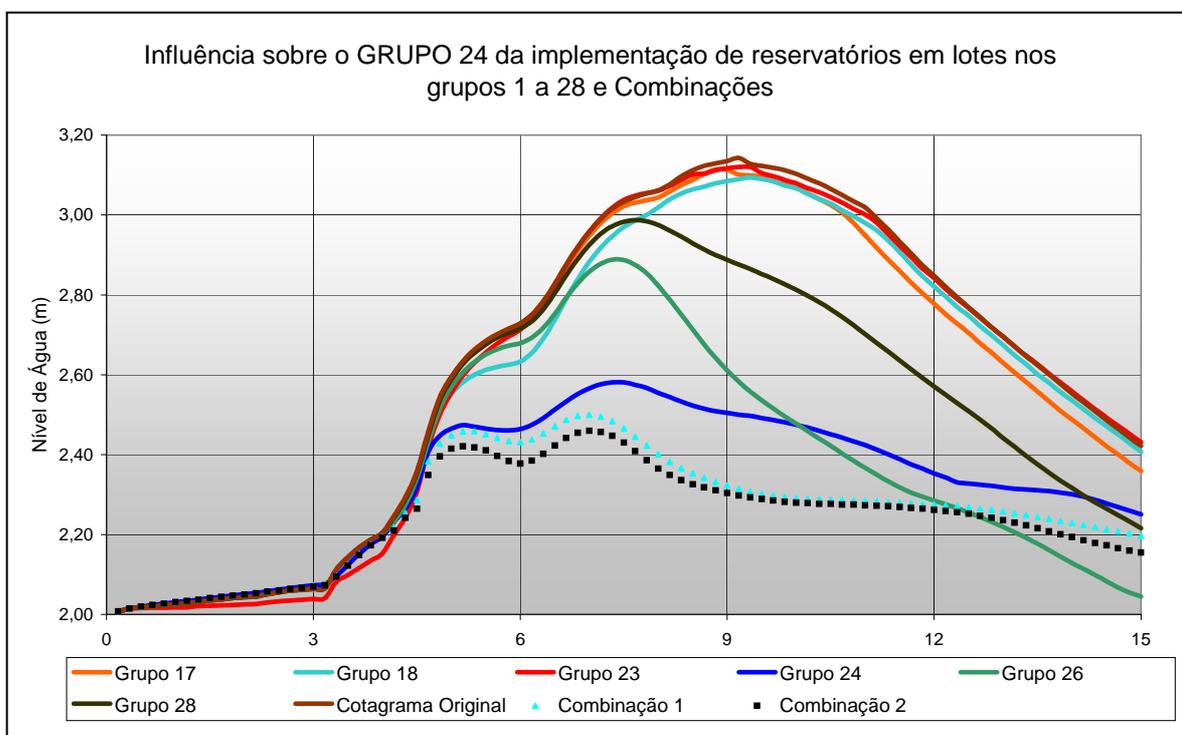


Figura 6.11 – Cotogramas para o Grupo 24 –Análise das Combinações.

6.1.12 Região do Grupo 26.

Os resultados das combinações 1 e 2 apresentam interessante redução devido à sobreposição gerada pelos efeitos de amortecimento dos grupos na combinação sobre a região do grupo 2. Para este local, as curvas resultantes das combinações se apresentam próximas a curva resultante da simulação isolada para o grupo 26 indicando que este grupo tem influencia preponderante com relação aos demais grupos das combinações.

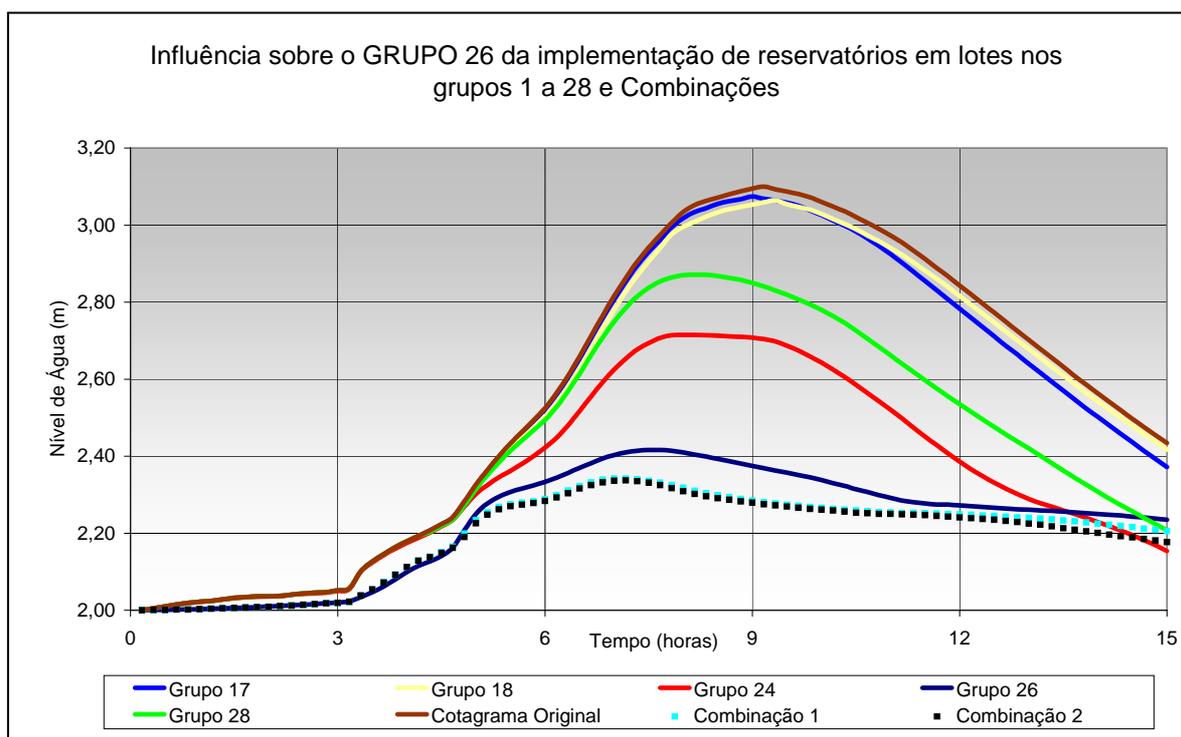


Figura 6.12 – Cotogramas para o Grupo 26 –Análise das Combinações

Assim como para o grupo 24, o amortecimento produzido pela Combinação 2 é maior do que o produzido pela Combinação 1, já que a Combinação 1 influencia com os grupos 24, 26 e 28, enquanto que para a Combinação 2, há ainda a contribuição dos demais grupos, com diferentes pesos.

6.1.13 Região do Grupo 28.

Para esta importante área em termos de inundações os resultados das combinações apresentam-se praticamente iguais, conforme se observa pela Figura 6. x a seguir.

Estes resultados apresentam grande amortecimento de pico, importante ao considerar-se os problemas deste local. Por outro lado, observa-se que aqueles grupos que fazem parte da Combinação 2 e não aparecem na Combinação 1 acabam por não influenciar nos resultados, de forma que ao ter-se somente esta região como objetivo, seria interessante a implementação dos reservatórios apenas nestes três locais da Combinação 1: grupos 24, 26 e 28.

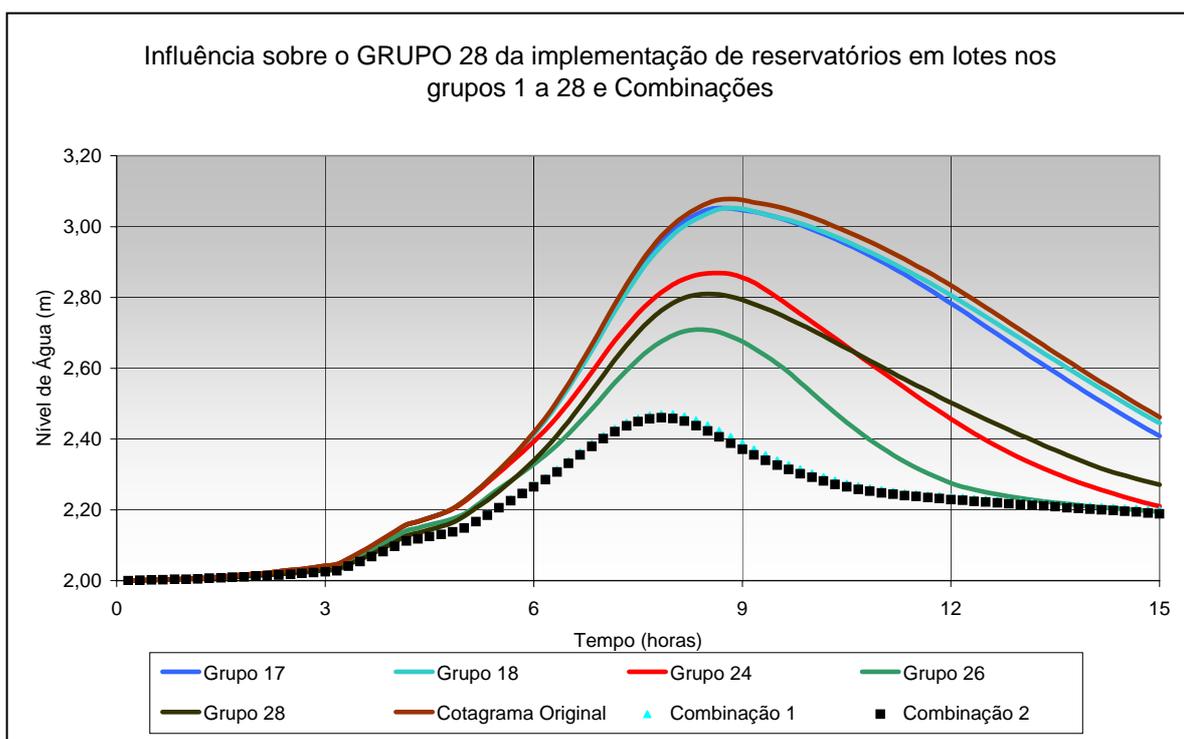


Figura 6.12 – Cotogramas para o Grupo 28 –Análise das Combinações.

6.1.14 Outras Regiões Afetadas pelas Combinações.

Pelo fato de os grupos utilizados nas combinações simuladas afetarem outras regiões além das áreas definidas como problemáticas, faz-se necessário verificar os efeitos combinados no restante da área simulada de forma a examinar as alterações.

Desta forma, para as demais regiões os resultados se mostraram adequados, seguindo a mesma tendência dos resultados apresentados nas simulações isoladas, e para os locais afetados por mais de um grupo há ampliação da redução pela potencialização de efeitos.

Os principais resultados são apresentados nos grupos 7 e 9, ambos devido à sobreposição de efeitos devido a implementação simultânea de reservatórios em lotes nos grupos 6 e 8, da Combinação 2, conforme observa-se na Tabela 6.1.

Para o grupo 19 verificou-se pequeno aumento dos níveis para a simulação das duas combinações, em cerca de 1%, por influência dos grupos 18, 24 e 26, como já apresentado na Tabela 5.1 e agora na Tabela 6.1.

6.2 Análise Geral das Combinações.

Os resultados apresentados mostram que a implementação de microreservatórios em lotes de forma distribuída na bacia pode ser viável sob o aspecto técnico. A metodologia de primeiramente analisar as diversas regiões da bacia e os efeitos gerados entre elas para depois selecionar as mais interessantes tendo em vista o objetivo de redução em determinados locais também se mostrou interessante, já que direciona e otimiza as implementações, realizando-as somente nos locais que se mostram efetivos quanto aos demais em foco.

Para as duas combinações selecionadas, de forma a avaliar a implementação de microreservatórios em lotes distribuídas na bacia, os resultados se mostraram positivos, já que não houve prejuízos para nenhuma região a partir das implementações, além de gerarem importantes amortecimentos ao longo da bacia.

Além disso, verifica-se que a estrutura tem grande impacto local e que seu funcionamento efetivo está ligado ao funcionamento da rede de drenagem, conforme esperado, mas também produz melhor funcionamento da mesma.

Ressalta-se que outras combinações devem ser avaliadas e simuladas, assim como as dimensões das estruturas adotadas, para fins de projeto.

Este trabalho desenvolve uma proposta de tratamento metodológico para o problema, avaliando a atuação espacial de medidas propostas, mas não tem a pretensão de esgotar o assunto. Ao contrário, espera-se que a partir desta proposta inicial, outros trabalhos possam ser objeto de avaliação e desenvolvimento da metodologia, inclusive buscando-se parametrizar os resultados e refinando as combinações para chegar à solução final de engenharia mais adequada.

Tabela 6.1. – Percentuais de redução do tirante máximo das simulações isoladas e das Combinações 1 e 2.

Cenário Simulado	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20	G21	G22	G23	G24	G25	G26	G27	G28
G1	10,43	10,70	9,65	4,82	4,27	2,15	1,86	0	1,52	0,55	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0,18	0	0,06
G2	0	13,73	0	7,23	2,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0,18	0	0,00
G3	0	0	55,27	3,37	2,85	11,96	8,97	0	7,36	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0,27	0	0,06
G4	0	0	0	39,70	38,18	0	0,17	0	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0,36	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0,27	0	0,19
G5	0	0	0	0	37,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,79	0	0,27	0	0,13
G6	0	0	2,32	0	0,28	6,27	42,47	0	40,69	22,05	0	0	0	0,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,52	0	0,36	0	0,06
G7	0	0	0,19	0	0,57	5,52	35,72	0	46,75	24,41	0	0	0	1,31	0	0	0,36	0	0	0	0	0	0	0,52	0	0,18	0	0,06
G8	0	0	0,19	0	0	5,21	38,07	65,33	33,33	26,69	0,25	76,79	0	3,11	0	0	0,30	0	0	0	0	0	0	0,61	0	0,09	0	0,06
G9	0	0	0	0	0,57	1,69	4,91	0	15,83	24,49	0	0	0	2,27	0,39	0	0,30	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0,18	0	0,06
G10	0	0	0	0	0	-0,15	0,85	0	6,28	12,53	0	0,67	0	54,72	0	0	1,86	0	0	0	0	0	0	0,79	0	0,64	0	0,25
G11	0	0	0	0	0	0	0	5,61	0	0	43,05	8,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G12	0	0	0	0	0	0	0,17	-4,69	0	0,16	0	53,47	0,45	2,99	0	0	0,66	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0,09	0	0,06
G13	0	0	0	0	0	0	0,34	0,11	0,22	0,71	0	-2,00	47,07	12,78	0	15,40	0,90	0	3,55	0	0	0	0	0,87	0	0,45	0	0,19
G14	0	0	0	0	0	0	0,68	0	0,65	2,83	0	0,50	0	39,20	0	0	2,15	0	0	0	0	0	0	0,35	0	0,18	0	0,13
G15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	30,91	0	0,60	0	0	0	0	0	0	0,87	0	0,55	0	0,25
G16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,50	0,06	0	13,78	0	0	0	0	0,96	0	0,55	0	0,44
G17	0	0	0	0	0	0	0,17	0	0	0,39	0	0	0	4,30	0	0	20,50	0	0	0	0	0	0	2,54	0	2,36	0	1,65
G18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	30,56	-0,42	6,09	0,47	0	0	4,29	0	3,27	0	1,65
G19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,12	0	0	-0,06	0	32,80	0,0	1,87	0	0	0,96	0	0,45	0	0,32	
G20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,06	0	-0,21	30,72	6,54	0,35	0,57	0,35	0	-0,36	0	0,19	
G21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	21,57	0	-0,29	0,79	0	0,91	0	0,13
G22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	8,03	0,47	31,20	0	0,35	0	0,09	0	0
G23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	-0,28	0	0	33,28	2,01	0	0,73	0	0,25
G24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	-1,04	0	0	0	-1,44	33,71	0	35,00	0	13,24
G25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0,61	34,71	0,18	0	0,38
G26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0	-0,42	0	0	0	0	22,31	0,58	62,2	0	23,38
G27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0,17	0	0	62,2	-0,13
G28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,06	0	0	0	0	0	0	13,65	0	20,82	0	62,2
C 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,36	0	-1,04	0	0	0	-2,01	56,26	0,583	68,91	0	38,53
C 2	0	0	2,32	0	0,28	62,58	64,47	69,34	55,84	47,32	0,25	76,79	0	7,89	30,31	0	76,42	60,58	-1,25	6,09	0,47	0	-2,01	59,76	0,583	69,36	0	39,16



reduções abaixo de 5% sobre os tirantes entre grupos
 reduções acima de 5% sobre os tirantes entre grupos



aumento dos tirantes em um grupo
 redução sobre os tirantes do próprio grupo

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

De uma forma geral, avalia-se como positivos os resultados do estudo como um todo. A utilização do modelo de células se mostrou adequada à implementação da metodologia proposta e possibilitou a identificação dos locais mais interessantes com vistas à inserção das medidas estruturais, após análises isoladas e combinadas dos efeitos sobre a área em estudo.

- Quanto à metodologia proposta no trabalho:

A metodologia aplicada pode ser considerada apropriada para a análise de intervenções de forma distribuída na bacia, já que pode-se verificar que a implementação das estruturas indiscriminadamente não é a alternativa mais adequada, haja vista que algumas implementações não trazem grandes benefícios para as áreas sujeitas às inundações da bacia. O estudo dos locais mais efetivos para implementação dos microreservatórios e a avaliação da atuação combinada e distribuída na bacia possibilitam otimização das implementações.

Por outro lado, observa-se que a metodologia precisa ser aprimorada, já que para os agrupamentos há a necessidade de se obter parametrização dos resultados quanto às áreas, de forma que se possa avaliar os efeitos reais por unidade de terreno.

- Quanto aos aspectos de modelagem matemática:

O modelo de células se mostrou adequado ao uso como ferramenta de gerenciamento de recursos hídricos, já que tem a capacidade de representação do fenômeno em camadas de escoamento, possibilitando a caracterização inicial do problema, o planejamento e a aplicação das intervenções, sob os aspectos técnicos de drenagem urbana.

Ressalta-se ainda a possibilidade, através do Modelo de Células, de análise espacial e distribuída das intervenções, atendendo aos conceitos modernos da drenagem urbana e do gerenciamento de recursos hídricos.

A calibração do modelo obtida foi satisfatória para um trabalho acadêmico de avaliação de uma metodologia, mas deverá ser objeto de revisão e nova calibração, agora com maiores informações hidrométricas, se aplicado a um projeto de engenharia.

- Quanto à implementação dos microreservatórios em lotes:

Os resultados mostraram-se de influência extremamente local, e de interessante eficiência para as regiões de cotas altas e médias da bacia, propagando-se os efeitos para os locais próximos de jusante.

Para as regiões mais baixas, a efetividade na implementação dos microreservatórios, apesar de mais baixa do que a obtida para o restante da bacia, estará dependente do correto funcionamento das comportas que ligam o Canal Auxiliar ao Rio Sarapuí, pois do contrário o funcionamento dos microreservatórios nestes trechos estaria prejudicado pelo fato de a rede de drenagem ser afogada rapidamente.

Por estes fatos, a avaliação das combinações se mostrou importante, pois possibilita estudar-se a ação combinada da implementação das estruturas nos diversos locais para os quais se mostraram efetivas na simulação isolada quanto às cheias para as áreas problemáticas. Pelas combinações propostas existiria uma interessante redução nos níveis de inundações dos locais, para o evento simulado e condições calibradas.

- Quanto à complementações e continuidade do estudo:

Ressalta-se a importância do trabalho pelo fato de as estruturas estudadas não terem sido objeto de muitos estudos analisando-se a bacia como um todo e ainda mais de uma situação real, pois grande parte dos trabalhos existente analisa os microreservatórios em lote com relação apenas a aplicações isoladas em um terreno individual, em termos de modelagem matemática ou ainda em estudos experimentais.

Na continuidade dos estudos, seria interessante verificar-se os custos de implementação dos microreservatórios em lotes para cada grupo e assim compará-los aos custos de canalizações e ao custo de inundação de um grupo (GOMES, 2004).

Outra análise importante seria a de simulação de novas combinações, já que as aqui realizadas não necessariamente serão as mais interessantes, servido apenas como

exemplificação para iniciar o desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação espacial de intervenções considerando-se a bacia como um todo.

Seria interessante simular os cenários para outros tempos de recorrência, de forma a ter-se maior sensibilidade e diagnóstico do efeito da aplicação dos microreservatórios em lotes, especialmente para verificar a eficiência para outros volumes de chuvas.

Recomenda-se realizar ainda uma análise combinada de grupos alterando-se os diâmetros de saída dos orifícios ou descarregador de fundo, e até do volume dos microreservatórios, de forma a trabalhar-se com volumes amortecidos diferentes e assim obter-se atuação combinada mais interessante, sem a coincidência de picos.

Uma complementação deste estudo poderia ser realizada com a avaliação de outras *BMPs*, como trincheiras de infiltração, microreservatórios de retenção e infiltração, práticas de reflorestamento, pavimentos permeáveis ou microreservatórios em praças e encostas, por exemplo.

- Quanto aos aspectos locais de São João de Meriti:

Os problemas ligados aos resíduos sólidos devem ser considerados na modelação matemática e não apenas em termos de calibração hidráulica, já que pode-se observar ao longo dos estudos e de visitas a campo que este parâmetro é de grande importância no funcionamento da rede de drenagem local.

Há a necessidade de intenso trabalho junto à população local de forma a conscientização sobre os aspectos ambientais envolvidos.

Ainda com relação à população, a implementação de microreservatórios em lotes deverá sofrer resistência, por parte da mesma, devido aos fatores de custo, manutenção e ignorância quanto aos problemas locais e falta de conscientização de que as soluções passam pela colaboração das comunidades locais.

Há a necessidade de o Município intensificar e coibir as invasões e ocupações irregulares, de forma a preservar áreas marginais e de encostas de novas ocupações e retirar as populações instaladas destes tipos de locais.

Verifica-se ainda a necessidade de o Município elaborar, a exemplo de outras cidades, legislação que discipline o uso do solo e estabeleça padrões para área construída, impermeabilização e vazão de saída do mesmo, de forma ao proprietário ser responsável pela parcela de amortecimento da cheia ao qual sua área efetuava antes da construção, através de um Plano Diretor de Drenagem Urbana e observando-se o as diretrizes do Plano Nacional de Recursos Hídricos, em fase de elaboração e dos Planos de Bacia a serem realizados.

Com os resultados obtidos, e uma simulação de todas as combinações benéficas obtidas deverão ser traçadas as diretrizes para a possível implementação dos microreservatórios em lote no Município de São João de Meriti, devendo este ser objeto de estudo aprofundado e agora com maior conhecimento dos locais a jusante para adequação e validação dos dados utilizados para a modelagem, com o objetivo de simular dados aplicáveis às condições atuais existentes na área estudada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, R.O.G., 2001, *Inundações Urbanas: Considerações Gerais e Modelação com Incorporação da Obstrução por Resíduos Sólidos*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, R.J., Brasil.

CANEDO, L.P.C. *Modelo Hidráulico-Hidrológico Distribuído, Estudo de Caso: Bacia do Rio Joana*. Trabalho de Final de Curso, DRHIMA, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

CHOW, V. T., 1959, *Open-Channel Hydraulics – International Student Edition*, 1 ed. McGraw-Hill International Book Company.

ELLIS, J.B., 1995, “Integrated Approaches for Achieving Sustainable Development of Urban Storm Drainage”, *Water Science Technology*, v. 32, n. 1, pp. 1-6.

FUJITA, S., 1994, “Infiltration Structures in Tokyo”, *Water Science Technology*, v. 30, n. 1, pp. 33-41.

FUJITA, S., 1997, “Measures to Promote Stormwater Infiltration”, *Water Science Technology*, v. 36, n. 8-9, pp. 289-293.

GELDOF, G., JACOBSEN, P., FUJITA, S., 1994, “Urban Stormwater Infiltration Perspectives”, *Water Science Technology*, v. 29, n. 1-2, pp. 245-246.

GENZ, F., TUCCI, C. E. M., 1995, “Controle do Escoamento em um Lote Urbano”, *Revista Brasileira de Engenharia (RBE)*, v.13, n.1 (Jun), pp. 129-152.

GOMES, R.M., 2004, *Implementação Metodológica para a Quantificação dos Prejuízos Decorrentes das Cheias Urbanas Aplicada ao Município de São João de Meriti*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, R.J., Brasil.

HICON Engenharia LTDA., *Sistema de Controle de Enchentes da Bacia do Canal Auxiliar do Sarapuí*, novembro de 1992 e maio e julho de 1993.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004. Anuário Estatístico. [On line]. Disponível na Internet via WWW.

URL: <http://www.ibge.gov.br>

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2000. Censo 2000. [On line]. Disponível na Internet via WWW.

URL: <http://www.ibge.gov.br>

KAISER, M., 1997, "Requirements and Possibilities of Best Management Practises for Stormwater Runoff from the View of Ecological Townplanning", *Water Science Technology*, v. 36, n. 8-9, pp. 319-323.

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA DA COPPE / UFRJ, *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí*, novembro de 1994.

MAGALHÃES, P. C., 1989, "Hidrologia Superficial" In: *Engenharia Hidrológica*, 1 ed., capítulo 4, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Editora da UFRJ.

Maryland Department of the Environment (MDE). *Maryland Stormwater Design Manual*. Volumes I and II. September 1998 Review Draft. Prepared by the Center for Watershed Protection. Baltimore, MD. 1998.

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

MIGUEZ, M., G., MASCARENHAS, F.C.B., 1999, "Modelação Matemática de Cheias Urbanas Através de um Esquema de Células de Escoamento". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, v.4, n.1 (Jan-Mar), p. 119-140, ISSN 1414-381X.

MILOGRANA, J., CAMPANA, N. A., 2001, Avaliação do Desempenho de Microreservatórios de Detenção no Controle de Cheias em Áreas Urbanas. In: *XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Aracajú, SE, Brasil.

NICHOLAS, D. I., 1995, "On-Site Stormwater Detention: Improved Implementation Techniques for Runoff Quantity and Quality Management in Sydney", *Water Science Technology*, v. 32, n.1, pp. 85-91.

NIEMEZYNOWIEZ, J., 1999, "Urban Hydrology and Water Management - Present and Future Challenges", *Urban Water*, v. 1, pp. 1-14.

O'LOUGHLIN, G., BEECHAM, S., LEES, S., et al, 1995, "On-Site Stormwater Detention Systems in Sydney", *Water Science Technology*, v. 32, n. 1, pp. 169-175.

PETERSEN, C. O. R., JACOBSEN, P., MIKKELSEN, P.S., 1994, "Design of Stormwater Infiltration for Reduction of Combined Sewer Overflow (CSO)", *Water Science Technology*, v. 30, n.1, pp. 53-61.

POMPÊO, C. A., 2000, "Drenagem Urbana Sustentável", *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 1, pp. 15-23.

PRATT, C. J., MANTLE, J. D. G. , SCHOFIELD, P. A., 1995, "UK Research into the Performance of Permeable Pavement, Reservoir Structures in Controlling Stormwater Discharge Quantity and Quality", *Water Science Technology*, v. 32, n. 1, pp. 63-69.

SCHUELER, T. R., 1987, *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, E.U.A.

SEMADS, 2001, *Enchentes no Estado do Rio de Janeiro*. Projeto Planagua SEDMAS/GTZ, v. 8, Rio de Janeiro, R.J., Brasil.

SILVA, R. C. V. da, MIGUEZ, M. G., 2001, *Hidráulica Fluvial I – Notas de Aula*, 2 ed. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

TASSI, R., 2002, *Efeito dos Microreservatórios de Lote sobre a Microdrenagem Urbana*. Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto alegre, Rio Grande do Sul, R.S., Brasil.

TORRES, G., 2004 *De Trairaponga a Meriti*. IPAHB, Instituto de Pesquisa Histórica e Análises Sociais da Baixada Fluminense – RJ.

[on line] Disponível na Internet via WWW. URL:<http://www.baixadafacil.com.br>

TUCCI, C. E. M., 2000, *Hidrologia Ciência e Aplicação*. 2 ed. Porto Alegre, Ed Universidade/UFRGS: ABRH.

TUCCI, C. E. M., MARQUES, D. M. L. M., 2001, *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*. 1 ed. Porto Alegre

TUCCI, C.E.M., PORTO, R. L. L., BARROS, M.T. DE. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre, ABRH, Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

URBONAS, B., 1994, "Assessment of Stormwater BMPs and their Technology", *Water Science Technology*, v. 29, n. 1-2, pp. 347-353.

VANNI, G.S. *Controle de Enchentes e Gestão da Drenagem Urbana, Estudo de Caso: Bacia do rio Joana*, RJ.Trabalho Final de Curso, DRHIMA, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

WADA, Y. , MIURA, H., TADA, R., et al, 1997, "Evaluation of an Improvement in Runoff Control by Means of a Construction an Infiltration Sewer Pipe under a Porous Asphalt Pavement", *Water Science Technology*, v. 36, n. 8-9, pp. 397-402.

WATANABE, S., 1995, "Study on Stormwater Control by Permeable Pavement and Infiltration Pipes", *Water Science Technology*, v. 32, n. 1, pp. 25-32.

ZANOBETTI, D. & LORGERÉ, H., *Le Modele Mathématique du Delta du Mékong*, La Houille Blanche, n. 1, 4 e 5, 1968.

ZANOBETTI, D.; LORGERÉ, H.; PREISSMAN, A.; CUNGE, J.A. . *Mekong Delta Mathematical Program Construction*. Journal of the Waterways and Harbours Division, ASCE, v.96, n.WW2, p. 181-199, 1970.

ANEXO A: MÉTODO DO SOIL CONSERVATION SERVICE

Método do *Soil Conservation Service* para o Cálculo de Vazões de Projeto

A metodologia do *Soil Conservation Service* é resumidamente mostrada a seguir.

O primeiro objetivo que se impõe é o de se obter um hietograma de projeto, que corresponda à chuva efetiva que cai sobre a bacia, isto é, aquela que efetivamente gera escoamento superficial. Para conseguir este intento, usou-se a metodologia do *Soil Conservation Service*, que pode ser acompanhada em detalhes no livro *Design of Small Dams – A Water Resources Technical Publication of The United States Department of The Interior and Bureau of Reclamation*, primeira edição de 1960.

Para elucidar este procedimento, apresenta-se, em resumo, a sequência de passos relativos ao mesmo:

Determinação do tempo de duração da simulação: este tempo tem que ser, no mínimo, maior que o tempo de concentração da bacia, de forma que toda a área de drenagem possa contribuir para o exutório.

Determinação do intervalo de tempo de cada passo da simulação. Recomenda-se que este intervalo seja definido entre um terço e um quinto do tempo de concentração.

Aplicação da fórmula que relaciona a intensidade da chuva com a sua duração, para cada ponto na escala do tempo, a partir do instante inicial, acrescentando um intervalo de tempo por vez. Chamando cada intervalo de tempo de Δt , aplica-se a fórmula, então, seqüencialmente, para:

$$t = 1. \Delta t ,$$

$$t = 2. \Delta t ,$$

$$t = 3. \Delta t ,$$

$$t = 4. \Delta t ,$$

$$t = 5. \Delta t ,$$

$$t = 6. \Delta t , \dots$$

e assim sucessivamente até chegar ao tempo total simulado.

Sabe-se que um dos princípios que regem o comportamento das chuvas estabelece que a intensidade diminui à medida que o tempo de duração da chuva aumenta. Assim, a intensidade calculada para $t = 1. \Delta t$ é certamente maior que a intensidade

calculada para $t = 2. \Delta t$. Entretanto, o volume total precipitado até $t = 2. \Delta t$, que é igual a $V_2 = i_2 . 2. \Delta t$, é, por sua vez, maior que o volume precipitado até $t = 1. \Delta t$, que é igual a $V_1 = i_1 . \Delta t$. Como conseqüência, pode-se obter o valor da chuva que caiu entre $1. \Delta t$ e $2. \Delta t$, pela simples subtração de V_2 por V_1 . Pode-se seguir este procedimento para determinar a precipitação individual em cada intervalo de tempo, a partir dos cálculos dos volumes acumulados.

Ao fim deste processo, tem-se um hietograma com feição não usual, com alturas de chuva decrescentes desde o primeiro intervalo de tempo até o último. Para contornar esta característica, o método aqui proposto assume uma reordenação das primeiras alturas de chuva, de forma que os seis primeiros intervalos de tempo são rearrumados na seguinte ordem: 6, 4, 3, 1, 2, 5.

O hietograma obtido no item anterior ainda não pode ser considerado definitivo para o cálculo. Afinal, sabe-se que parte da água infiltra-se, parte evapora e apenas o que sobra é que realmente escoa superficialmente. Para achar então a parcela da chuva efetiva, propõe-se o seguinte procedimento:

Determinação do parâmetro chamado “curve number (CN)”, que responde pelo tipo de solo e ocupação do mesmo, bem como pelas suas características hidrológicas. A quantificação deste parâmetro se faz a partir de uma série de valores pré-tabelados, para diferentes tipos de solo e diferentes condições hidrológicas e de ocupação.

Com este parâmetro, pode-se obter o valor de S , que é a máxima diferença potencial entre a chuva P , acumulada, e a chuva efetiva Pe , também acumulada, no início do evento chuvoso, conforme a relação a seguir:

$$S = \frac{(1000 - 10.CN)}{CN} . 25,4 \quad (A.1)$$

sendo:

S - dado em mm.

Destaca-se também que o fator la , que pode ser expresso como uma fração de 20 % de S , fisicamente significa a parcela de chuva que ocorre antes do início do escoamento superficial, consistindo, principalmente, das parcelas de intercepção, infiltração e armazenamento superficial.

Com o valor obtido para S , pode-se então calcular a chuva efetiva acumulada, conforme a equação a seguir:

$$Pe = \frac{(P - 0.2.S)^2}{P + 0.8.S} \quad (A.2)$$

onde:

Pe – Chuva efetiva acumulada até um dado intervalo de tempo;

P – Chuva total acumulada até um dado intervalo de tempo;

Para obter, por fim, o hietograma de projeto para a chuva efetiva, basta desacumular os valores obtidos no item acima para cada passo de tempo.

Vazão de Projeto:

Existem vários métodos para avaliação das vazões superficiais de projeto para uma dada área, destacando-se, de forma geral:

Fórmulas empíricas, várias delas, cada uma respondendo por uma bacia particular. Estas fórmulas não são gerais, mas podem, eventualmente, ser extrapoladas para regiões similares, com muito cuidado na caracterização destas semelhanças. É um procedimento restrito.

Estudo de freqüência de vazões de cheia, o que pressupõe a existência de séries históricas. Esta suposição, normalmente, não condiz com a realidade brasileira: mesmo em grandes rios nem sempre há registros históricos de séries de vazões.

Uso do Método Racional, que relaciona a vazão máxima com a intensidade da chuva que cai para uma dada duração e recorrência, com a área de drenagem da bacia e com um coeficiente que responde pela cobertura vegetal da bacia e tipo, uso e condições do solo, de forma a se avaliar a parcela da chuva que esco superficialmente. Este é um método simples e bastante difundido, mas seus melhores resultados referem-se a pequenas bacias. Também não propicia um hidrograma de cheia, embora o mesmo possa ser construído, com base em suposições complementares.

Uso do Método do Hidrograma Unitário, em que, a partir dos dados de postos de medição de chuva e descarga, sintetiza-se um hidrograma de vazões correspondente a uma chuva de intensidade unitária para uma dada duração. A seguir, basta multiplicar este hidrograma de vazões pelo hietograma da chuva de projeto. Este é, sem dúvida, o método mais preciso, pois a resposta que a bacia dá a uma entrada de chuva qualquer é obtida a partir do próprio comportamento da bacia em outros eventos.

Uso do Método do Hidrograma Unitário Sintético, em que, ou a partir de relações empíricas pré-definidas, obtidas com base em parâmetros físicos, geralmente topográficos, procura-se caracterizar uma bacia. O hidrograma unitário sintético é usado em bacias sem dados medidos de chuva e vazão. Aqui, como no item anterior, também sintetiza-se um hidrograma de vazões, considerando uma chuva de intensidade unitária para uma certa duração. Este resultado também é multiplicado pelo hietograma da chuva de projeto, para obtenção da vazão de projeto. O resultado aqui obtido não é tão preciso como o que se obtém para o item anterior, mas é bastante prático devido a ausência de dados, permitindo um detalhamento bastante significativo nesta situação. Esta abordagem, assim como a anterior, se prestam para bacias maiores, onde suposições mais simples não condizem com a variabilidade presente em áreas mais extensas.

Para bacias com maior diversidade, sugere-se a construção de um hidrograma unitário, ou de um hidrograma unitário sintético, dependendo da disponibilidade de dados. Usualmente estes dados não são fartos e, assim sendo, o caminho mais prático acaba sendo, em boa parte das vezes, a construção do hidrograma unitário sintético, a partir das informações físicas da bacia, que são correlacionadas ao seu funcionamento, em termos de resposta de escoamento

A figura A.1 mostra o hidrograma proposto, conforme o método do “Soil Conservation Service”.

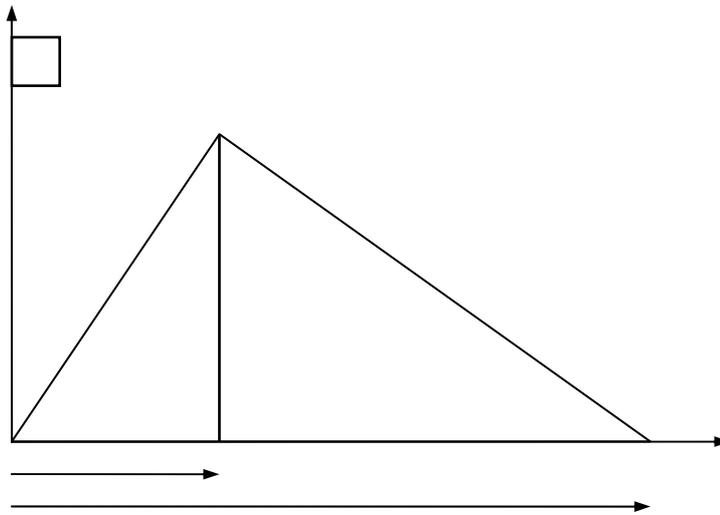


Figura A.1: Hidrograma Unitário Sintético.

Para a construção deste hidrograma, toma-se:

$$\left| \begin{array}{l} t_p = \frac{t_d}{2} + 0,6.t_c \\ t_b = 2,67.t_p \\ q_p = \frac{0,208.A}{t_p} \end{array} \right. \quad (A.3)$$

onde:

t_p é o tempo de pico, em h;

t_b é o tempo de base, em h;

q_p é a vazão de pico em m^3/s ;

A - área de drenagem em km^2 .

Com o hietograma de projeto e a hidrógrafa unitária de projeto para a bacia pode-se, então, facilmente obter a vazão de projeto. Para tal finalidade, aplica-se o hietograma sobre a hidrógrafa unitária sintética, de forma que, agora, a resposta unitária da bacia é multiplicada pela chuva de projeto.

Para exemplificar o procedimento, suponha-se que o hietograma da chuva efetiva de projeto tem 8 intervalos de tempo, cada um com uma altura de chuva pe , portanto de $pe1$ até $pe8$. Suponha-se também que a hidrógrafa unitária tenha 4 intervalos de tempo com vazões de $q1$ a $q4$. Assim, ter-se-á a planilha de cálculo apresentada no quadro A.1, mostrado na seqüência.

Quadro A.1: Cálculo da vazão de projeto afluente ao reservatório.

Vazões de Projeto Afluentes	
QA1	$pe1.q1$
QA2	$pe1.q2+pe2.q1$
QA3	$pe1.q3+pe2.q2+pe3.q1$
QA4	$pe1.q4+pe2.q3+pe3.q2+pe4.q1$
QA5	$pe2.q4+pe3.q3+pe4.q2+pe5.q1$
QA6	$pe3.q4+pe4.q3+pe5.q2+pe6.q1$
QA7	$pe4.q4+pe5.q3+pe6.q2+pe7.q1$
QA8	$pe5.q4+pe6.q3+pe7.q2+pe8.q1$
QA9	$pe6.q4+pe7.q3+pe8.q2$
QA10	$pe7.q4+pe8.q3$
QA11	$pe8.q4$
QA12	0

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)