UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA URBANIZAÇÃO NAS VAZÕES DE DRENAGEM NA BACIA DO RIO JACARECICA EM MACEIÓ-AL

Mestrando:

Guilherme Rocha Peplau

Orientador:

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

RECIFE, PE – 2005

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

GUILHERME ROCHA PEPLAU

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Alagoas, 2002

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA URBANIZAÇÃO NAS VAZÕES DE DRENAGEM NA BACIA DO RIO JACARECICA EM MACEIÓ/AL.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

RECIFE, PE

Julho de 2005

Peplau, Guilherme Rocha

Influência da variação da urbanização nas vazões de drenagem da Bacia do Rio Jacarecica em Maceió/AL / Guilherme Rocha Peplau. – Recife: O Autor, 2005.

iii, 144 folhas: il., fig., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2005.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Hidrologia – Uso e ocupação do solo – Modelagem hidrológica 2. Vazões de drenagem – Bacia do Rio Jacarecica, Maceió (AL) - Urbanização. 3. Projeto de macrodrenagem – Tabuleiro dos Martins (AL) – Transposição de Bacias. I. Título.

628.1.037	**CDU (2.ed.)**	**UFPE**
628.1	**CDU (22.ed.)**	**BC2005-416**

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA URBANIZAÇÃO NAS VAZÕES DE DRENAGEM NA BACIA DO RIO JACARECICA EM MACEIÓ/AL.

GUILHERME ROCHA PEPLAU

Banca Examinadora:

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Ph.D.

Suzana Maria Gico Lima Montenegro
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Ph.D.

Vladimir Caramori Borges de Souza
Departamento de Águas e Energia da Universidade Federal de Alagoas, DSc.

RECIFE, PE

E agora, eis o que diz o Senhor, aquele que te criou, e te formou: Nada temas, pois eu te resgato, eu te chamo pelo nome, és meu. Se tiveres de atravessar a água, estarei contigo. E os rios não te submergirão; se caminhares pelo fogo, não te queimarás, e a chama não te consumirá. Porque és precioso a meus olhos, porque eu te aprecio e te amo, permuto reinos por ti, entrego nações em troca de ti. Fica, tranquilo, pois estou contigo. ***Adaptado de Is 43, 1-5.***

DEDICATÓRIA

À fonte de todo amor: Deus. À minha mãe Graça Maria e aos meus irmãos Geto e Guga, com muito amor.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus Uno e Trino, pelo dom da vida e a graça de experimentar esse infinito Amor do alto, que anima, dá coragem e me faz ter esperança na construção de um mundo de paz e fraternidade. Sem me esquecer da minha querida mãezinha do céu, Maria de Nazaré.

Ao Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral pela orientação e incentivo, e a todos os professores do DAE–UFAL e GRH–UFPE que me inspiraram nesse caminho das águas.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL, pela confiança nessa pesquisa e pela bolsa de estudo concedida.

Ao DAE-UFAL por disponibilizar a base cartográfica de Maceió; à EMBRAPA Solos-Recife-PE, por ceder o mapa pedológico; ao IMA-AL pelas fotografias aéreas.

A minha família: Graça, Geto e Guga, pela saudade na distância e alegria no reencontro. Por todo amor que nos fez suportar as dificuldades nesse período e pela formação de caráter, dignidade e decência que carregarei comigo.

A minha namorada Alexsandra, pelo companheirismo, compreensão, paciência, confiança, incentivo e amor em todos os momentos, além da inestimável ajuda nos trabalhos de campo.

A Leonardo e Kleber, que por amizade deixaram horas preciosas do fim de semana, para me auxiliarem nas visitas a campo. A Clebenilson pelo auxílio com o MATLAB e Carlos Ruberto pela ajuda com o IPHS1.

Aos amigos do Treinamento de Liderança Cristã (TLC) por serem pérolas na minha vida e por toda a ajuda financeira necessária, antes da obtenção da bolsa de estudo. Jamais esquecerei tão grandiosa expressão do amor do Cristo que nos uniu.

À família do amigo Maurício Pimenta, que me acolheu em sua casa nos primeiros meses dessa jornada; e ao amigo Marcos Antônio que a partir de então me permitiu dividir consigo o espaço de seu apartamento.

A todos os companheiros do Grupo de Recursos Hídricos, em especial Tereza, Ânderson, Josilene, Célio, Luana, Marília, pelo propício ambiente de trabalho, por toda ajuda e pela amizade conquistada e também pela colaboração de Ricardo Cantarelli, nos trabalhos de geoprocessamento.

A Antônia, Frei Magnus Henrique e toda a comunidade dos frades capuchinhos em Recife, que me ofereceram seus ouvidos e souberam me aconselhar com sabedoria e fé.

RESUMO

A urbanização intensifica as transformações do uso e ocupação do solo, causando efeitos diretos sobre os recursos hídricos no meio ambiente antrópico. A impermeabilização dos solos promove sensíveis mudanças nas respostas hidrológicas nas áreas urbanas, sendo os principais efeitos o aumento e antecipação da vazão máxima do escoamento superficial e a diminuição da infiltração, ocasionando inundações e alagamentos.

O crescimento das metrópoles no Brasil tem acontecido por meio da expansão irregular de periferia com pouca obediência da regulamentação urbana, além da ocupação irregular de áreas públicas por população de baixa renda em áreas inadequadas como encostas e várzeas de inundação.

A bacia do rio Jacarecica (25,65 km^2), localizada na periferia de Maceió-AL, vem sofrendo ocupação urbana em processo acelerado e de maneira inadequada. Com a transposição de águas pluviais do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins (PMTM), o rio Jacarecica sofre acréscimo de vazão e alteração da qualidade de suas águas.

O presente trabalho quantifica as vazões de escoamento superficial da bacia do rio Jacarecica, através de simulações atreladas a chuvas intensas para cenários de urbanização, discutindo as condições de drenagem local, através da análise do uso e ocupação do solo e também com o funcionamento do PMTM.

As simulações foram realizadas através do programa IPHS1 com os algoritmos: SCS para o escoamento superficial; método Muskingum-Cunge para a propagação em rios e do método de Puls para escoamento em reservatórios.

O esperado aumento das vazões de pico foi confirmado pelas simulações, comparando os cenários de urbanização em 1988, 2004 e uma estimativa para 2015. Os aumentos temporais de vazão foram tanto maiores quanto se combinavam menores tempos de retorno com a precipitação de menor duração, mostrando que a resposta (hidrograma) a precipitações mais intensas é mais sensível a mudanças na variável *Curve Number*. A vazão de pico do rio Jacarecica foi pouco modificada devido ao PMTM, mas em compensação o volume de água aumentou. Estando as águas provenientes do PMTM potencialmente contaminadas, os reflexos seriam sentidos sobre a biota do rio e de seu entorno, além do impacto negativo na praia de Jacarecica, freqüentada pelos moradores locais.

ABSTRACT

The urbanization intensifies the transformations of the land-use, causing changes on the water resources in the anthropic environment. Soil impermeabilization provokes changes in the hydrologic answers in urban areas, and main effects are: the increase and antecipation of discharge peak of superficial drainage and decrease of infiltration, causing inundations.

The metropolises growth in Brazil has been happening through the irregular expansion of periphery with little obedience of urban regulation, besides the irregular occupation of public areas by population of low income in inadequate areas such as hillsides and riverbanks.

Jacarecica river basin (25,65 Km^2), located in Maceió-AL periphery, suffers urban occupation in accelerated process and in an inadequate way. With the deviation of pluvial waters of the Project of Macrodrainage of Martins' Board (PMTM), the river Jacarecica suffers discharge increment and alteration of the quality of its waters.

The present work quantifies the discharge of superficial drainage of the Jacarecica river basin, using simulations of storm waters for urbanization sceneries, discussing the conditions of local drainage, through the analysis of the land-use and also with the operation of PMTM.

The simulations were accomplished by the program IPHS1 with the algorithms: SCS for the superficial drainage; Muskingum-Cunge for the propagation in rivers and Puls method for reservoirs.

The expected increase of the discharge peak was confirmed by simulations, comparing urbanization in 1988, 2004 and estimate for 2015. The temporary increase of discharge were so much larger as they combined smaller times of return with the precipitation of smaller duration, showing that the answer (hydrographs) to more intense precipitations are more sensitive to changes in Curve Number variable. Discharge peak of Jacarecica river was little modified due to PMTM, but the volume of water increased very much. Waters from PMTM are generally polluted, the impacts would be felt on the biota of the river and riverbanks, besides the negative impact in Jacarecica beach, frequented by local residents.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
LISTA DE SIGLAS
LISTA DE SÍMBOLOS
AGRADECIMENTOS i
RESUMO ii
ABSTRACT iii

1 INTRODUÇÃO **01**
1.1 Objetivos 02
1.2 Metodologia 03
1.3 Estrutura do documento 04

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **06**
2.1 Resumo da evolução do enfoque sobre a drenagem pluvial 06
2.2 A infra-estrutura e o paradigma da drenagem urbana no Brasil 06
2.2.1 O Sistema de Drenagem 09
2.3 Alterações hidrológicas decorrentes da urbanização 10
2.3.1 Inundações ribeirinhas 11
2.3.2 Inundações agravadas pela urbanização 13
2.3.3 Conseqüências das enchentes nos meios urbanos 17
2.3.3.1 Prejuízos Ambientais 18
2.3.3.2 Prejuízos Econômicos 20
2.4 A Sustentabilidade do Sistema de Drenagem 21
2.4.1 Resumo da tecnologia de medidas de controle de enchentes 22
2.4.1.1 Estruturais compensatórias 22
2.4.1.2 Não-estruturais 24
2.5 Análise Hidráulico-Hidrológica do escoamento superficial 26
2.6 Modelagem computacional de bacias hidrográficas 28
2.6.1 Algumas aplicações de modelos hidrológicos 32
2.7 Trabalhos recentes realizados na área de estudo 33

3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 36
3.1 Localização 36
3.2 População 37
3.3 Clima 37
3.4 Relevo 39
3.5 Vegetação 40
3.6 Solos 40
3.7 Hidrografia 41
3.7.1 Macrodrenagem da bacia do rio Jacarecica 42
3.7.2 Microdrenagem da bacia do rio Jacarecica 43
3.7.3 Regiões hidrográficas 44
3.8 A Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins 45
3.8.1 A Bacia do Tabuleiro dos Martins 45
3.8.2 Resumo do Projeto 46
3.9 Uso e ocupação do solo 48
3.10 Degradação ambiental da bacia 49

4 MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO JACARECICA 53
4.1 O modelo IPHS1 53
4.2 Fundamentação teórica dos algoritmos utilizados na modelagem hidrológica 56
4.2.1 Transformação Chuva-Vazão - Separação do escoamento – Propagação do escoamento superficial - O Modelo do Soil Conservation Service 56
4.2.2 Propagação do escoamento em canais – Muskingum-Cunge Linear 62
4.2.2.1 Método Muskingum 62
4.2.2.2 Método Muskingum-Cunge 63
4.2.3 Escoamento em reservatório 64
4.3 Precipitação 65
4.4 Discretização da bacia 67
4.5 Estimativa do Curve Number – SCS 71
4.5.1 Enquadramento dos Solos 71
4.5.2 CN urbano 73
4.5.3 CN rural 75

4.6 Tempo de concentração 77
4.7 Propagação no canal principal 77
4.8 Seções de interesse 78
4.9 Modelagem com o advento da transposição das águas pluviais do Tabuleiro dos Martins 80
4.9.1 Precipitação 81
4.9.2 Discretização da bacia, parâmetro Curve-number (CN) e tempo de concentração 82
4.9.3 Canais e túneis de escoamento 82
4.9.4 Reservatórios de amortização de cheia 84

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 85
5.1 Cenários de ocupação e CN médios 85
5.1.1 Área urbana 85
5.1.2 Área rural 86
5.1.3 Valores de Curve Number adotados 91
5.1.4 Discussão 94
5.2 Correção do tempo de concentração 94
5.3 Simulações da vazão 96
5.3.1 Rede de fluxo 96
5.3.2 Resultados das simulações 99
5.3.3 Discussão 104
5.3.4 Resultados e discussões das simulações incluindo o Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins 105
5.4. Considerações sobre a degradação ambiental na bacia 110

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 112

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 115

8 ANEXOS 124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	-	Número de desastres atribuídos a enchentes de 1975 a 2001.	11
Figura 2	-	Efeito da inundação ribeirinha aliada ao desenvolvimento urbano das várzeas de um rio	12
Figura 3	-	Comparação da forma de hidrogramas urbano e rural	14
Figura 4	-	Processo de impacto na drenagem urbana	14
Figura 5	-	Alterações provocadas por atividades antrópicas numa bacia hidrográfica	16
Figura 6	-	Número de pessoas mortas devido a enchentes entre 1975 e 2001	18
Figura 7	-	Ciclo de contaminação da água em meio urbano	19
Figura 8	-	Pessoas atingidas por catástrofes, segmentadas em classes sociais.	20
Figura 9	-	Perdas econômicas por desastres em países pobres e ricos, em quantificação total e em relação ao PIB	21
Figura 10	-	Etapas do Plano Diretor de Drenagem Urbana	26
Figura 11	-	Diferentes escalas espaço-tempo para vários fenômenos	27
Figura 12	-	Estruturas de discretização de modelos hidrológicos precipitação-vazão.	30
Figura 13	-	Fluxograma dos modelos hidrológicos precipitação-vazão	31
Figura 14a	-	Início da inundação no médio Jacarecica em 01/06/2004	34
Figura 14b	-	Mesmo local após chegada da onda de cheia.	34
Figura 15	-	Local do desemboque da obra do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins, na bacia do rio Jacarecica com destaque para a erosão provocada pela liberação das águas.	35
Figura 16	-	Localização de Alagoas, Maceió e da bacia do rio Jacarecica	36
Figura 17	-	Climas do estado de Alagoas	38
Figura 18	-	Médias pluviométricas mensais para a cidade de Maceió	38
Figura 19	-	Curvas de nível da bacia do rio Jacarecica (em destaque) e seu entorno	40
Figura 20	-	Classificação pedológica dos solos da bacia do rio Jacarecica	41
Figura 21	-	Ordenamento dos canais preferenciais de escoamento na bacia do rio Jacarecica, segundo classificação de Strahler	43
Figura 22	-	Local onde existem escada (a) e canaleta (b) em logradouros com rede de microdrenagem urbana.	44
Figura 23	-	Regiões Hidrográficas da bacia do rio Jacarecica	45
Figura 24	-	Enchente do dia 01/06/04 na área do DILC	48
Figura 25	-	Esquema simplificado da macrodrenagem e local de desemboque na bacia do rio Jacarecica	47
Figura 26	-	Malha urbana de parte da cidade de Maceió em 1998	49

Figura 27	-	Exemplos da degradação ambiental na bacia do rio Jacarecica. a) lixo em encosta; b) resíduos de processamento de minério; c) exploração de saibro; d) manilhas abandonadas e lixo; e) exploração de saibro; f) esgotos despejados na rua; g) assoreamento.	51
Figura 28	-	Hidrograma unitário proposto pelo SCS.	59
Figura 29	-	Discretização das micro-bacias do rio Jacarecica	68
Figura 30	-	Ponte na AL 101 sobre o Rio Jacarecica em Maceió, considerada como exutório para o estudo.	70
Figura 31	-	Tipos de solos da bacia do rio Jacarecica classificados segundo o SCS.	72
Figura 32	-	Fotografia aérea da cidade de Maceió com detalhe do contorno de parte da bacia do rio Jacarecica	74
Figura 33	-	Obtenção da malha urbana em Arcview 3.2a para 1988. a) Ocupação levantada em 2004; b) Fotografia aérea de 1988; c) Ocupação estimada para 1988 em Arcview 3.2a.	74
Figura 34	-	Localização na bacia de pontos onde foram realizadas fotografias	75
Figura 35	-	Mapa em ArcView e fotografia F31 de encosta em talvegue da microbacia Serraria 1, vista Sudoeste, obtida das coordenadas UTM (201699;8937124).	76
Figura 36	-	Localização das seções de interesse para análise da vazão no rio Jacarecica	78
Figura 37	-	Desembocadura do riacho das Pedras considerada seção de interesse para as simulações.	79
Figura 38	-	Situação próxima à seção 3, devido às chuvas ocorridas em 01/06/2004.	80
Figura 39	-	Rede de fluxo para as simulações considerando o Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins	81
Figura 40	-	Localização das sub-bacias, reservatórios de amortecimento de cheias (lagoas), túneis (T) e canais (C) na rede de fluxo do PMTM.	83
Figura 41	-	a) Ocupação urbana em 1988; b) Ocupação urbana em 2004; c) Ocupação urbana em 2015 (em vermelho as prováveis áreas de ocupação futuras).	85
Figura 42	-	Culturas frutíferas diversas e plantação de hortaliças. a) Micro-bacia Pedras; b) Micro-bacia Antares	87
Figura 43	-	a) Raro cultivo de cana-de-açúcar em talvegue em fase de plantio (Micro-bacia Recantos); b) Cultivo de cana-de-açúcar em estágio inicial de crescimento (Micro-bacia Sítios)	88
Figura 44	-	Ocorrência de vegetação primária. a) Micro-bacia Serraria 1; b) Micro-bacia Recantos.	88

Figura 45	-	Ocorrência de vegetação secundária. a) Micro-bacia Médio 2; b) Micro-bacia Via expressa 1.	89
Figura 46	-	a) Ocorrência de pastagem na micro-bacia Pedras, em estação seca; b) Cultura de coco em área de pastagem na micro-bacia Miramar.	90
Figura 47	-	Uso e ocupação do solo na bacia do rio Jacarecica em 2004	90
Figura 48	-	Esquema da rede de fluxo do programa IPHS1 utilizada para a simulação no rio Jacarecica.	96
Figura 49	-	Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 60 minutos, seção 1.	97
Figura 50	-	Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 90 minutos, seção 1.	97
Figura 51	-	Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 210 minutos, seção 1.	98
Figura 52	-	Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 60 minutos, seção 2.	98
Figura 53	-	Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 90 minutos, seção 2.	99
Figura 54	-	Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 210 minutos, seção 2.	99
Figura 55	-	Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 60 minutos, seção 3.	100
Figura 56	-	Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 90 minutos, seção 3.	100
Figura 57	-	Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 210 minutos, seção 3.	101
Figura 58	-	Hidrogramas para as diferentes seções com o uso e ocupação do solo de 2004, chuva de 60 minutos, Tr = 10 anos.	103
Figura 59	-	Hidrogramas para as diferentes seções com o uso e ocupação do solo de 2004, chuva de 210 minutos, Tr = 10 anos.	103

Figura 60	-	Hidrogramas com a transposição proposta pelo PMTM para o uso e ocupação do solo do possível cenário em 2015, na bacia do rio Jacarecica, chuva de 60 minutos, Tr = 10 anos, seção 1.	106
Figura 61	-	Hidrogramas com a transposição proposta pelo PMTM para o uso e ocupação do solo do possível cenário em 2015, na bacia do rio Jacarecica, chuva de 60 minutos, Tr = 10 anos, seção 2.	107
Figura 62	-	Comparação de hidrogramas com e sem a transposição proposta pelo PMTM para o uso e ocupação do solo do possível cenário em 2015, na bacia do rio Jacarecica, chuva de 60 minutos, Tr = 10 anos, seção 3.	108
Figura 63	-	Hietograma da precipitação efetiva na micro-bacia PC Ponte do rio Jacarecica, para uma precipitação de 2 dias com Tr = 25 anos e intervalo de discretização de 15 minutos.	109
Figura 64	-	Hidrogramas simulados para comparação do escoamento superficial para a bacia do rio Jacarecica com os reservatórios em funcionamento do PMTM cheios e vazios, e o escoamento sem a transposição.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Crescimento da população brasileira e a taxa de urbanização	07
Tabela 2	-	Tempo de retorno para sistemas urbanos	10
Tabela 3	-	População total dos bairros que possuem território na bacia do rio Jacarecica	37
Tabela 4	-	Classificação hidrológica dos solos segundo o SCS	57
Tabela 5	-	Correção de CN para outras condições iniciais de umidade	60
Tabela 6	-	Precipitação de 60 minutos discretizada a cada 5 minutos para a cidade de Maceió/AL	66
Tabela 7	-	Precipitação de 90 minutos discretizada a cada 5 minutos para a cidade de Maceió/AL	66
Tabela 8	-	Caracterização morfológica das micro-bacias do rio Jacarecica.	87
Tabela 9	-	Caracterização dos sub-trechos do canal principal do rio Jacarecica	77
Tabela 10	-	Características fisiográficas das sub-bacias contribuintes com CN médio e tempos de concentração correspondentes.	82
Tabela 11	-	Características dos canais entre as sub-bacias e os reservatórios considerados para a modelagem.	83
Tabela 12	-	Características dos túneis entre os reservatórios e túnel de desemboque considerados para a modelagem.	83
Tabela 13	-	Valores de CN correspondentes à ocupação rural	87
Tabela 14	-	Porcentagens correspondentes a cada tipo de ocupação da bacia do rio Jacarecica	91
Tabela 15	-	Levantamento de áreas urbanas e rurais para as micro-bacias do rio Jacarecica	92
Tabela 16	-	Áreas urbanas e rurais para bacia do rio Jacarecica para cada situação em estudo.	93
Tabela 17	-	Variável CN das micro-bacias do rio Jacarecica	93
Tabela 18	-	CN médio da bacia do rio Jacarecica para cada situação em estudo	94
Tabela 19	-	Associação dos valores de *Curve Number* (CN) com as áreas impermeáveis correspondentes.	95
Tabela 20	-	Tempos de concentração corrigidos para os cenários de urbanização em 1988, 2004 e 2015.	95
Tabela 21	-	Picos de vazão nas seções de interesse para TR = 5 anos	101
Tabela 22	-	Picos de vazão nas seções de interesse para TR = 10 anos	102
Tabela 23	-	Picos de vazão nas seções de interesse para TR = 25 anos	102
Tabela 24	-	Tempo de ocorrência do pico de vazão em seções onde ocorreram diferenças de cinco ou mais minutos.	102

LISTA DE SIGLAS

ABRH	-	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
AMC	-	Condição Média de Umidade Antecedente
APP	-	Área de Preservação Permanente
CN	-	*Curve Number*
CNRH	-	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	-	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	-	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DILC	-	Distrito Industrial Luiz Cavalcante
EMBRAPA	-	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	-	*Global Positioning System*
HU	-	Hidrograma Unitário
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	-	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
LID	-	*Low Impact Development*
MDT	-	Modelo Digital do Terreno
OD	-	Oxigênio Dissolvido
ONU	-	Organização das Nações Unidas
PC	-	Ponto de Controle
PDDU	-	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PIB	-	Produto Interno Bruto
PMTM	-	Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins
PNRH	-	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNS	-	Política Nacional de Saneamento Básico
SCS	-	*Soil Conservation Service*
SEINFRA	-	Secretaria de Infra-Estrutura do Estado de Alagoas
SIG	-	Sistema de Informações Geográficas

LISTA DE SÍMBOLOS

km	-	Quilômetro
km^2	-	Quilômetro quadrado
Q	-	Precipitação Efetiva (método SCS) ou Lâmina superficial acumulada (mm)
P	-	Precipitação Total
Ia	-	Perdas Iniciais
S	-	Armazenamento do solo (método SCS)
D	-	Duração da precipitação (h)
t_r	-	Tempo de pico da bacia (h)
t_p	-	Tempo de ascensão do HU (h)
t_e	-	Tempo de recessão do HU (h)
q_p	-	Vazão de pico da bacia (h)
t_c	-	Tempo de concentração da bacia (h)
Tr	-	Tempo de retorno ou de recorrência
L	-	Comprimento do talvegue (m)
A	-	Área
h	-	Diferença de cotas (m)
S	-	Declividade
AI	-	Porcentagem da área impermeabilizada
CTM	-	Porcentagem do comprimento do talvegue modificado
FA	-	Fator de ajuste
dS	-	Variação do armazenamento
dt	-	Variação do tempo
I	-	Vazão de Entrada (Muskingum-Cunge)
O	-	Vazão de Saída (Muskingum-Cunge)
K	-	Parâmetro representativo do tempo de deslocamento da onda no trecho de propagação (Muskingum-Cunge)
X	-	Parâmetro que pondera a influência das vazões de entrada e saída do trecho na função de armazenamento (Muskingum-Cunge)
Q	-	Vazão
q	-	Vazão específica por unidade de largura do canal
q_p	-	Vazão de pico
S_o	-	Declividade de fundo do canal
c	-	Celeridade da onda
n	-	Rugosidade de Manning

1 INTRODUÇÃO

O estudo da hidrologia das cidades está diretamente relacionado com o risco de cheias e os prejuízos destas decorrentes já que esta questão é de interesse público e, segundo Hundecha e Bárdossy (2004), a quantificação dos efeitos das mudanças do uso do solo na dinâmica do escoamento superficial numa bacia tem sido uma interessante área de estudos para hidrólogos nesses últimos anos.

As enchentes acontecem naturalmente de modo periódico, devido a chuvas intensas aliadas a condições favoráveis de solo e conformação morfológica, levando os rios e canais preferenciais de escoamento a extravasarem o seu leito menor inundando as várzeas e depressões.

Com a urbanização, intensificaram-se as transformações do uso e ocupação do solo, causando efeitos diretos sobre os recursos hídricos no meio ambiente antrópico, alterando o ciclo hidrológico. Barros *et al*. (2003) reconhecem a importância da estimativa de vazões críticas para o gerenciamento de uma bacia, como parte das medidas não-estruturais de drenagem urbana.

Devido à impermeabilização dos solos, as respostas hidrológicas nas áreas urbanas são sensivelmente modificadas, sendo os principais efeitos o aumento do escoamento superficial (vazão máxima e volume), a antecipação dos picos de vazão e a diminuição da infiltração, acarretando inundações e alagamentos.

O processo de ocupação urbana ainda resulta em aumentos da demanda por água e da carga poluidora, alteração na sedimentologia, rebaixamento de reservas subterrâneas e mudanças no micro-clima local.

Além disso, a práxis de escoar as águas pluviais o mais rapidamente possível, através de dutos e redes agrava as condições de drenagem a jusante, também provocando alagamentos, oferecendo os mais variados transtornos para a população.

O crescimento das metrópoles no Brasil tem acontecido por meio da expansão irregular de periferia com pouca obediência da regulamentação urbana, além da ocupação irregular de áreas públicas por população de baixa renda em áreas inadequadas como encostas e várzeas de inundação. Assim o atual modelo de desenvolvimento urbano considera a infra-estrutura e seu espaço dentro de uma visão que não contempla as inundações ou o escoamento pluviais.

Foi decretado na lei 9.433 (BRASIL, 1997), que, dentre outros, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), no art.2º, no inciso III, que é objetivo da PNRH: "*a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais".*

O desafio ante as enchentes provocadas pela urbanização requer do poder público ações planejadas e integradas com o aparelhamento urbano, com intervenções estruturais (obras de melhoramento em geral) e não-estruturais (práticas de gerenciamento com políticas e ações para uma melhor convivência com as enchentes) de modo a prevenir, disciplinar e mitigar inadequações de uso e ocupação do solo urbano.

A cidade de Maceió, capital de Alagoas, faz parte do conjunto das cidades com problemas de infra-estrutura urbana de saneamento. Alagamentos e desabamentos de encostas tornaram-se uma infeliz rotina anual nas épocas mais chuvosas. Esse fato está diretamente associado ao processo de urbanização sem as devidas precauções relacionadas com o aumento do escoamento pluvial.

A bacia do rio Jacarecica (25,65 km^2), localizada na periferia de Maceió, vem sofrendo ocupação urbana em processo acelerado em diferentes localidades, de maneira inadequada. As atividades antrópicas vêm acontecendo num quadro negativo de crescentes impactos ao meio ambiente local, sendo as modificações no regime de escoamento das águas de drenagem pluvial e fluvial um reflexo parcial desse processo bastante complexo. Portanto, para o tipo de estudo proposto, a bacia do rio Jacarecica é uma área bastante propícia.

Com a transposição de águas pluviais da área endorréica com aproximadamente 50 km^2 do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins (PMTM), o rio Jacarecica sofre acréscimo de volume e alteração da qualidade de suas águas e os impactos negativos causados pela transposição das águas necessitam de uma melhor investigação.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo contribuir para a quantificação das vazões na drenagem para a bacia do rio Jacarecica, através da simulação do escoamento superficial devido a chuvas intensas para cenários de urbanização, visando discutir as condições de drenagem local, através da análise do uso e

ocupação do solo e da consideração da transposição de águas pluviais proposta pelo Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins.

Para alcançar esse objetivo principal, alguns objetivos intermediários foram perseguidos. Esses objetivos específicos são:

- Discutir os problemas decorrentes da urbanização para a drenagem urbana na bacia em estudo;
- Contribuir para o conhecimento das características fisiográficas e de uso e ocupação do solo local, bem como apontar atividades antrópicas degradantes do meio ambiente;
- Aprimorar a análise hidrológica do sistema de drenagem local, através da estimativa de parâmetros diversos para aplicação em modelos computacionais;
- Aplicar técnicas de geoprocessamento para incorporar a variabilidade espacial no estudo da drenagem da bacia, através da discretização da bacia em unidades menores e a obtenção de variáveis dependentes da morfologia local;
- Analisar o escoamento simulado para diferentes precipitações em pontos de importância específica no contexto da bacia nos cenários propostos;
- Verificar e discutir os hidrogramas resultantes para diferentes precipitações na bacia do rio Jacarecica quando da operação do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins;

1.2 Metodologia

Para atingir os objetivos foram programadas as seguintes etapas:

- Pesquisa bibliográfica em fontes diversas sobre os assuntos julgados pertinentes ao trabalho;
- Análise de fotografias aéreas, mapas e cartas da bacia, objetivando realizar os levantamentos: da evolução do processo de urbanização, condições de relevo, tipo de solo, cobertura vegetal e uso do solo;
- Análise das condições hidrológicas do local, com visitas de campo, para a determinação de parâmetros a serem aplicados no modelo e para o

entendimento do processo de ocupação e uso do solo com a finalidade de realizar prognóstico de ocupação futura;

- Uso de técnicas de geoprocessamento para a discretização da bacia e obtenção de parâmetros fisiográficos para a modelagem, além da determinação espacial das áreas levantadas (rurais e urbanas) e das áreas referentes aos tipos de solo encontrados;
- Modelagem hidrológica da bacia do rio Jacarecica e do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins para estimativa das vazões do canal principal por modelo chuva-vazão através de simulações computacionais;

Para a confecção deste trabalho, foram utilizados vários aplicativos computacionais. No trabalho com o mapa digital foram utilizados os softwares Autocad 2002 e Arcview 3.2a, sendo este último o programa escolhido para o processamento de informações geográficas. O IPHS1 foi usado para as simulações dos processos hidrológicos envolvidos. A manipulação de planilhas e gráficos foi executada através do programa Microsoft Excel e para a interpolação de valores intermediários para o valor do Curve Number residencial, o programa Student MATLAB, foi a ferramenta escolhida.

1.3 Estrutura do documento

No próximo capítulo, é realizada uma revisão bibliográfica sobre questões pertinentes à problemática da drenagem urbana, com a contextualização sobre: a evolução do seu enfoque com a mudança de paradigmas ao longo das últimas décadas; a questão da evolução da urbanização e o panorama da drenagem no Brasil; as interferências urbanas na hidrologia aliadas aos diferentes tipos de enchentes nas cidades e respectivos impactos; a sustentabilidade na drenagem; os métodos utilizados para descrever o escoamento superficial em áreas urbanas; a modelagem computacional de bacias hidrográficas; os trabalhos publicados sobre a área em estudo.

O terceiro capítulo aborda a descrição da área em estudo (bacia do rio Jacarecica), com sua localização, clima, população dos bairros integrantes, relevo, hidrografia, solos, o uso e ocupação do solo na bacia, reflexões sobre a degradação

ambiental na bacia e uma breve caracterização do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins (PMTM).

No capítulo 4, será descrita a metodologia utilizada para a modelagem hidrológica da bacia do rio Jacarecica e de forma resumida do PMTM, englobando os assuntos pertinentes à fundamentação teórica dos modelos utilizados no programa IPHS1 e a definição dos diversos parâmetros de entrada para a simulação de vazão do escoamento superficial.

O capítulo 5 trata dos resultados das simulações de vazão para os cenários adotados de evolução da malha urbana e também com o advento da transposição de águas pluviais através do PMTM e os comentários a respeito.

As conclusões do trabalho estão no capítulo 6, assim como as recomendações para estudos futuros concernentes às necessidades encontradas para o melhor entendimento dos processos hidrológicos na bacia do rio Jacarecica e sobre o PMTM.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resumo da evolução do enfoque sobre a drenagem pluvial

De acordo com Debo e Reese (1995), há cem anos atrás a preocupação primária com água de superfície era a de escoar as planícies inundáveis, brejos e pântanos para permitir o desenvolvimento agrícola.

O crescimento suburbano entre 1950 e 1970 provocou um aumento das estruturas de drenagem que visavam a rápida retirada da água da chuva de casas e quadras, com a intenção de fornecer proteção às propriedades e estradas.

Ao longo da parte posterior deste período ficou claro que freqüentes inundações localizadas eram causadas pelo tipo de desenvolvimento urbano e conseqüentes ações de drenagem, sendo a partir de então reconhecido como boa prática a construção de bacias de detenção de cheias. A detenção logo se tornou uma exigência de desenvolvimento padrão em muitas das áreas urbanas mais progressivas (DEBO; REESE, 1995).

Mais recentemente, um enfoque atualizado requer que os desenvolvimentos privado e público nas cidades sejam realizados com atividades de baixo impacto na drenagem. Estas medidas de baixo impacto evitariam na fonte o aumento dos picos de vazão.

Hoje em dia, com o desenvolvimento de computadores pessoais, aumentaram a habilidade e a flexibilidade de soluções para planejar sistemas de drenagem, com maior precisão e rapidez, sendo atualmente de vital importância o uso dessas ferramentas de previsão, projeto e prognóstico da infra-estrutura urbana.

2.2 A infra-estrutura e o paradigma da drenagem urbana no Brasil

O Brasil vem apresentando, ao longo dos anos, um crescimento significativo da população urbana provocando aumento da densidade demográfica. Esse processo foi acelerado, de acordo com Tucci (1995), começando mais efetivamente na década de 60, gerando uma população praticamente sem infra-estrutura urbana, principalmente na década de 80.

Pedrosa (1996) afirma ser a falta de condições de trabalho, nas áreas subdesenvolvidas, que levou o homem do campo para os centros urbanos. A

oportunidade de melhores condições de vida em geral e a relativa maior disponibilidade de empregos oferecidos por indústrias e empresas de comércio e serviços, podem ser apontados como alguns dos responsáveis pelo êxodo rural nas regiões pobres do país.

No Brasil, hoje em dia, mais de 80% da população se concentra nas cidades, enquanto entre 1940 e 1960 esse número não passava dos 40% (ABRH, 2003). Essa pressão demográfica nas cidades desequilibra e promove desigualdades de condições de cobertura de infra-estrutura, já que a velocidade do fenômeno da urbanização dos municípios brasileiros é notavelmente maior do que a mobilidade dos órgãos de gestão pública em oferecer, principalmente no caso do saneamento ambiental, os serviços adequadamente. Na tabela 1 está a evolução da população urbana no Brasil a partir da década de 70.

Tabela 1 – Crescimento da população brasileira e a taxa de urbanização

Ano	População (Habitantes)	Parcela da população urbana (%)
1950	51.944.397	36,16
1960	70.992.343	45,08
1970	93.134.846	55,94
1980	119.002.706	67,59
1991	146.825.475	75,59
1996	157.070.475	78,36
2000	169.799.170	81,25

Fonte: IBGE (2005).

A urbanização, caracterizada pela concentração cada vez mais densa de população em aglomerações de caráter urbano (FERREIRA, 1986 *apud* LIRA, 2003), intensificou as transformações do uso e ocupação do solo causando efeitos diretos sobre os diferentes usos dos recursos hídricos no meio ambiente antrópico.

Segundo Tucci (2001b), o crescimento urbano no Brasil tem sido caracterizado por expansão irregular de periferia com pouca obediência da regulamentação urbana e normas específicas de loteamentos, além da ocupação irregular de áreas públicas por população de baixa renda. Isso vem dificultando o ordenamento das ações não-estruturais do controle ambiental urbano.

Essa forma de ocupação e uso do solo que é chamada de urbanização causa, segundo Fontes e Barbassa (2003), marcas permanentes especialmente nas respostas hidrológicas com conotação quantitativa nessas áreas, sendo os principais efeitos o aumento do escoamento superficial (vazão máxima e volume) e a diminuição da infiltração. Mas, numa visão holística, ainda cabem referências aos aumentos da demanda por água e da carga poluidora, alteração na sedimentologia, rebaixamento de reservas subterrâneas e mudanças no micro-clima local.

Com a ocupação urbana, o sistema natural de drenagem fluvial e pluvial da localidade é modificado, necessitando adequações. Essas intervenções deveriam ser projetadas levando em consideração a integração geral do sistema de infra-estrutura urbano, a partir do mais elementar compartimento, como o lote, por exemplo. De modo geral, a ocupação da maioria das cidades, ocorreu sem um planejamento eficaz, que contemplasse satisfatoriamente a questão da eficiência da drenagem das águas pluviais e fluviais urbanas. O sistema de drenagem de um núcleo habitacional, de acordo com BRASIL (2004), é o que mais destacadamente comprova a ineficiência no processo de expansão urbana, quando da ocorrência de precipitações intensas.

De acordo com Pompêo (2000), as ações em drenagem urbana são de caráter emergencial, esporádico e quase sempre definidas após a ocorrência de desastres, o que revela a indesejável cultura da falta de precaução ante os conhecidos prejuízos e transtornos causados pelas inundações. Souza e Tucci (2005) a respeito dessa conhecida e infeliz práxis afirmam que “a crítica concernente à prática convencional seria quanto à utilização de medidas que trabalham na reação em vez da prevenção”.

O próprio paradigma de anos atrás (e ainda de hoje, nas ações tomadas por órgãos gestores) de que as águas deveriam ser drenadas o mais rápido possível está em conflito com o conceito de uma gestão integrada das águas numa bacia hidrográfica. A respeito deste fato, Tucci (2000) diz ainda que para resolver este tipo de problema (inundações) o poder público tem investido somas consideráveis de recursos em obras de canalização, que na realidade tendem a agravar o problema pela amplificação para jusante das vazões máximas.

As precárias condições das cidades, em termos de infra-estrutura e planejamento no que diz respeito ao saneamento ambiental, que abrange também a questão do gerenciamento dos resíduos sólidos e do esgoto, agravam ainda mais a

questão do escoamento superficial das águas de chuvas intensas, tanto qualitativamente através dos inúmeros poluentes existentes no lixo e nas águas residuárias, tanto quantitativamente por contribuírem com a obstrução e aumento das vazões em canais.

Este cenário insustentável tem várias causas relacionadas com a ocupação do espaço urbano pela população e devido à gestão atual da drenagem a nível local. O desenvolvimento urbano considera a infra-estrutura e seu espaço dentro de uma visão que não contempla as inundações ou o escoamento pluviais. Quando considera, isto representa uma parte do projeto dentro de uma visão espacial e disciplinar limitada. O escoamento pluvial não pode ser analisado de forma separada de todos os outros condicionantes relacionados com o desenvolvimento urbano. O planejamento setorial tem sido a principal causa dos problemas gerados e dos investimentos inadequados. O planejamento das ações nas cidades deve incorporar uma visão integrada do desenvolvimento urbano e toda a infra-estrutura de água. Neste planejamento é essencial que os componentes institucionais legais de participação pública e gestão. Isto requer uma visão interdisciplinar com forte contribuição multidisciplinar no desenvolvimento da visão integrada (BRASIL, 2004).

2.2.1 O Sistema de Drenagem

Os Sistemas de Drenagem Urbana têm a função de promover a coleta, o escoamento e a disposição de águas de chuva nas cidades (BRASIL, 2003) e faz parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana (SÃO PAULO, 1986). Segundo Tucci (2003), os sistemas de drenagem são classificados como drenagem na fonte, microdrenagem e macrodrenagem.

A drenagem na fonte é definida pelo escoamento que ocorre no lote, condomínio ou empreendimento individualizado, estacionamentos, parques e passeios.

A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais a nível de loteamento ou de rede primária urbana. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado.

A macrodrenagem envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. Envolve áreas de pelo menos 2 km^2, não podendo esse valor ser

tomado como absoluto porque a malha urbana pode possuir as mais diferentes configurações.

As obras para atendimento da demanda por drenagem, em qualquer nível do sistema, dependem do risco ao qual se expõe a população e os bens materiais públicos e particulares e do custo da obra. Alguns critérios como tipo de ocupação e da natureza da obra, são tomados para definir o tempo de retorno relacionado com a probabilidade de freqüência (ou tempo de recorrência), que quer dizer, numa abordagem estatística, o número médio de anos durante o qual espera-se que a precipitação analisada seja igualada ou superada, usado no desenvolvimento dos cálculos hidrológicos de projetos de drenagem urbana. Na tabela 2, Tucci (2003) descreve os intervalos usuais para a escolha dos tempos de retorno em projetos de drenagem urbana.

Tabela 2 – Tempo de retorno para sistemas urbanos

Sistema	Característica	Intervalo (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 – 5
	Comercial	2 – 5
	Áreas de prédios públicos	2 – 5
	Aeroporto	5 – 10
	Áreas comerciais e avenidas	5 – 10
Macrodrenagem		10 – 25
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100

Fonte: Tucci (2003).

2.3 Alterações hidrológicas decorrentes da urbanização

O estudo da hidrologia das cidades necessariamente possui a preocupação constante com o risco de cheias e os prejuízos destas decorrentes. O foco da engenharia na questão das enchentes está diretamente relacionado à influência dessas ocorrências na vida da população local e refletem bem a ineficiência do escoamento das águas de chuva devido à falta do planejamento urbano.

O fenômeno das inundações, segundo Tucci (2003), é uma ocorrência tão antiga quanto as cidades ou qualquer ambiente urbano, e ocorre periodicamente nos cursos d’água, devido a chuvas de magnitude elevada. Pompêo (2000) afirma que as enchentes nas cidades podem ser decorrentes das chuvas intensas de elevado

período de retorno; ou devidas a transbordamentos de cursos d'água provocados por mudanças no equilíbrio no ciclo hidrológico em regiões à montante das áreas urbanas; ou ainda devido à própria urbanização.

BRASIL (2004) afirma também que a inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido a falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupa áreas onde a população utiliza para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, industria, entre outros. Resumindo, Porto (2003) afirma que a questão das cheias urbanas é um problema de alocação de espaço, entre a cheia que naturalmente ocorre e a ocupação do solo nas cidades sem levar em consideração esse fator.

Nos últimos anos, o número de desastres atribuídos à enchentes tem aumentado bastante segundo dados da ONU (2005) (figura 1). Muitos pesquisadores atribuem, analisando o problema em macro-escala, às mudanças climáticas recentes devido a fenômenos como o el Niño e la Niña que vem provocando desequilíbrios na meteorologia a nível global.

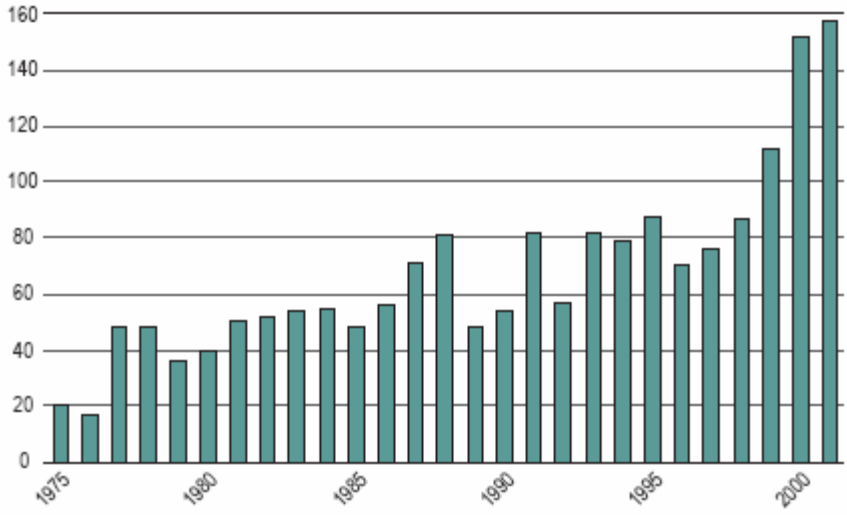


Figura 1 – Número de desastres atribuídos a enchentes de 1975 a 2001. Fonte: ONU (2005).

2.3.1 Inundações ribeirinhas

As enchentes naturais que extravasam a calha menor do rio e invadem seu leito maior são denominadas de inundações ribeirinhas. Essas enchentes acontecem geralmente em rios de médio e grande porte nas situações onde a

quantidade de água que chega à calha fluvial é superior a capacidade de drenagem desta.

Geralmente, o rio possui um ou mais leitos. O chamado leito menor é a seção normal do rio nos períodos de estiagem, o(s) leito(s) maior(es) ocupa(m) a topografia das várzeas. A invasão desses leitos maiores obstrui o escoamento, aumentando ainda mais o nível das inundações (figura 2) tanto à montante (efeito de remanso) quanto à jusante.

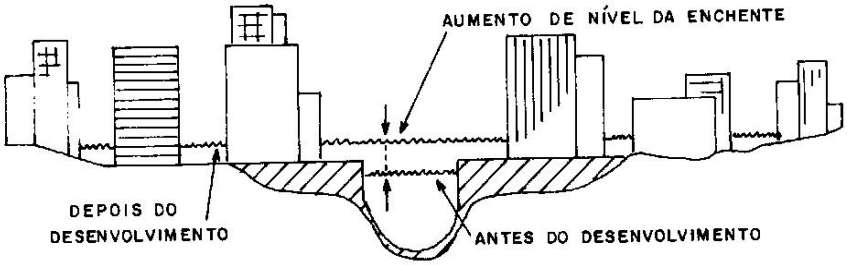


Figura 2 – Efeito da inundação ribeirinha aliada ao desenvolvimento urbano das várzeas de um rio. Fonte: Tucci (2001b).

Esse tipo de inundação, em áreas rurais e em diversos casos, é benéfica para a agricultura, pois fertilizam as várzeas, propiciando boas colheitas de culturas de charcos e vazantes. Essa verdadeira fonte de riqueza é um modelo de boa convivência entre a sociedade e os rios. Infelizmente, as cidades ribeirinhas não respeitaram essa condição natural dos cursos d'água e sua população, notadamente as mais carentes, passaram a ocupar essa área imprópria, ficando sujeita a inundações.

Os problemas decorrentes dessa situação devem-se ao grau de ocupação pela população e pelo aparelhamento urbano existente nessas várzeas. Para bacias maiores, o efeito da urbanização sobre esse tipo de enchente, segundo Pedrosa (1996), é pouco agravante, corroborando com Hollis (1975) *apud* Hundecha e Bárdossy (2004) que afirma que as pequenas enchentes naturais são aumentadas devido à urbanização, enquanto que para enchentes mais raras não há influência significativa.

A Lei 4.771/1965 (Código Florestal) e a Resolução nº 303 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) que estabelecem parâmetros, definições e limites referentes às Áreas de Preservação Permanente (APP), definem faixas limites de 30 a 500m a partir das margens de cursos d'água como APP, sendo assim, por força de lei, não é permitida a ocupação nessa faixa. Ressalta-se que nas áreas urbanas, a Lei 4.771/1965 (BRASIL, 1965) aponta para a responsabilidade do poder municipal através dos planos diretores e das leis de uso e ocupação do solo a observância destes princípios e limites.

2.3.2 Inundações agravadas pela urbanização

Na medida que a população impermeabiliza o solo e acelera o escoamento através de dutos e canais, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo inundações mais freqüentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pelo ravinamento natural. Esta inundação é devido à urbanização ou pela drenagem urbana (BRASIL, 2004).

Geralmente, esse tipo de inundação ocorre em cidades drenadas por pequenas bacias hidrográficas aliadas a um sistema de drenagem pluvial cujo objetivo é drenar as águas da chuva o mais rapidamente possível provocando, assim, uma diminuição do tempo de concentração natural do escoamento superficial na bacia e um maior volume de água escoada.

O comportamento do hidrograma (relação vazão *versus* tempo, resultado das interações dos componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica) urbano, dessa forma, é diferente do rural apresentando antecipação da ocorrência e aumento da vazão máxima (ou vazão de pico) e do volume de escoamento superficial (figura 3). Notam-se também variações maiores de vazão no hidrograma urbano.

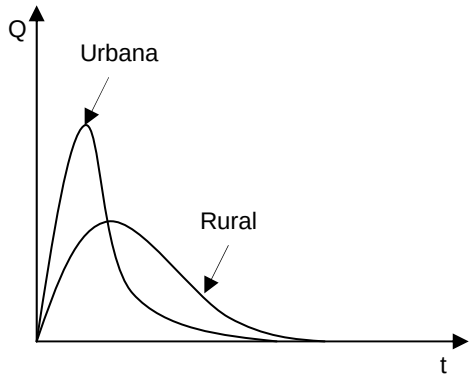


Figura 3 – Comparação da forma de hidrogramas urbano e rural. Fonte: Tucci (2001).

A diminuição da infiltração, além de ser uma conseqüência esperada da simples impermeabilização do solo, ainda tem como parcela de causa, a questão da canalização, que geralmente busca escoar toda a água captada pelo sistema de drenagem para a destinação final (rios, lagos, lagoas, mar) sem que essa água tenha a possibilidade de infiltrar no solo. A figura 4 resume alguns dos principais impactos provocados pela atividade antropogênica sem a devida cautela com relação aos recursos hídricos.

Figura 4 – Processo de impacto na drenagem urbana. Fonte: Sudersha (2002) *apud* BRASIL (2004).

O trabalho de Ando *et al*. (1984) sobre os processos hidrológicos numa bacia urbanizada, aponta algumas conseqüências do uso e ocupação do solo em áreas urbanas: i) que os efeitos da urbanização na vazão subterrânea são relativamente pequenos; ii) que a urbanização diminui a evapotranspiração; iii) que a diminuição da área de infiltração na bacia tem um grande efeito no processo de recarga dos aqüíferos.

A urbanização também afeta diretamente a erodibilidade do solo. Kertzman *et al*. (1991) *apud* Collares (2000) ao estudarem as erosões na bacia do médio Tietê, indicam as atividades sócio-econômicas como principais potencializadoras das erosões aceleradas. Os desmatamentos generalizados e as atuações antrópicas no sentido de concentrar o fluxo d'água, tais como obras de drenagem e arruamentos atuam diretamente na proliferação de ravinas e boçorocas.

Collares (2000) ainda afirma que uma das maiores conseqüências da erosão é o assoreamento que provoca nos cursos d'água e reservatórios. O principal impacto provocado pelos assoreamentos é o desequilíbrio das condições hidráulicas, o qual gera por sua vez: enchentes; perda da capacidade de armazenamento d'água, incremento de poluentes e prejuízos para o abastecimento e produção de energia. O mesmo autor ainda propõe no mesmo trabalho, uma cadeia de alterações provocadas pelo antropismo numa bacia hidrográfica (figura 5).

Figura 5 – Alterações provocadas por atividades antrópicas numa bacia hidrográfica. Fonte: Collares (2000).

O regime normal de chuvas nas cidades também pode ser alterado. Neste caso, acontece tanto o aumento da lâmina precipitada como das intensidades máximas, quanto menores forem as durações. Silveira (1997) abordou a questão e concluiu que a relação causa-efeito entre urbanização e aumento das precipitações, se não é comprovada, não quer dizer que não seja a hipótese mais provável. Essa hipótese, caso verídica, é mais um fator agravante atrelado às enchentes devido à urbanização, mas, segundo Alcântara *et al*. (2002), as conseqüências da

urbanização sobre o clima, contrariamente aos impactos hidrológicos, são de pequena escala, mas podem, em longo prazo, introduzir alterações significativas no balanço hídrico.

A principal causa desse fenômeno, segundo BRASIL (2004), é o aumento da absorção de radiação solar por parte da superfície, que aumenta a emissão de radiação térmica de volta para o ambiente, gerando calor. Esse aumento de temperatura também cria condições de movimento de ar ascendente que pode gerar aumento de precipitação.

Pompêo (2000) aponta também a obstrução de canalizações por detritos, lixo e sedimentos como uma das causas das inundações urbanas, além da inadequação dos projetos e obras de drenagem que acabam sendo executados.

Pedrosa (1996) afirma que a ampliação das enchentes e de sua freqüência devido às alterações sofridas pela bacia é mais sentida para menores tempos de retorno dos eventos chuvosos, e que se trata de um erro imaginar que a seqüência de grandes enchentes signifique que estas estão aumentando com o tempo ou que são conseqüências de modificações substanciais na bacia hidrográfica. Estas modificações podem ter efeitos sobre as enchentes de freqüência média ou pequena, mas tem efeito reduzido sobre as enchentes raras.

O ciclo hidrológico urbano é afetado também pela variação espacial da urbanização e da chuva. De acordo com Packman (1980) *apud* Pedrosa (1996), pode haver superposição de hidrogramas, caso o desenvolvimento ocorra nas cabeceiras, o que traria uma ampliação das enchentes, caso essa maior ocupação seja predominantemente na saída da bacia pode haver pico reduzido ou até pico duplo.

2.3.3 Conseqüências das inundações nos meios urbanos

As inundações urbanas, cuja principal causa é a má gestão do espaço urbano, trazem consigo uma série de problemas associados a diversos fatores influentes no cotidiano da população. O ciclo dos prejuízos é grande e de difícil mensuração, afetando grande número de pessoas, atividades produtivas, bens capitais e meio ambiente.

No entanto, sem parâmetros de mensuração ou escala de valor está a vida de milhares de pessoas que faleceram e virão a sucumbir vítimas das enchentes, este

configurado como o quadro (figura 6) mais dramático e triste do problema, pois a maioria dessas mortes poderiam de alguma forma ser evitadas.

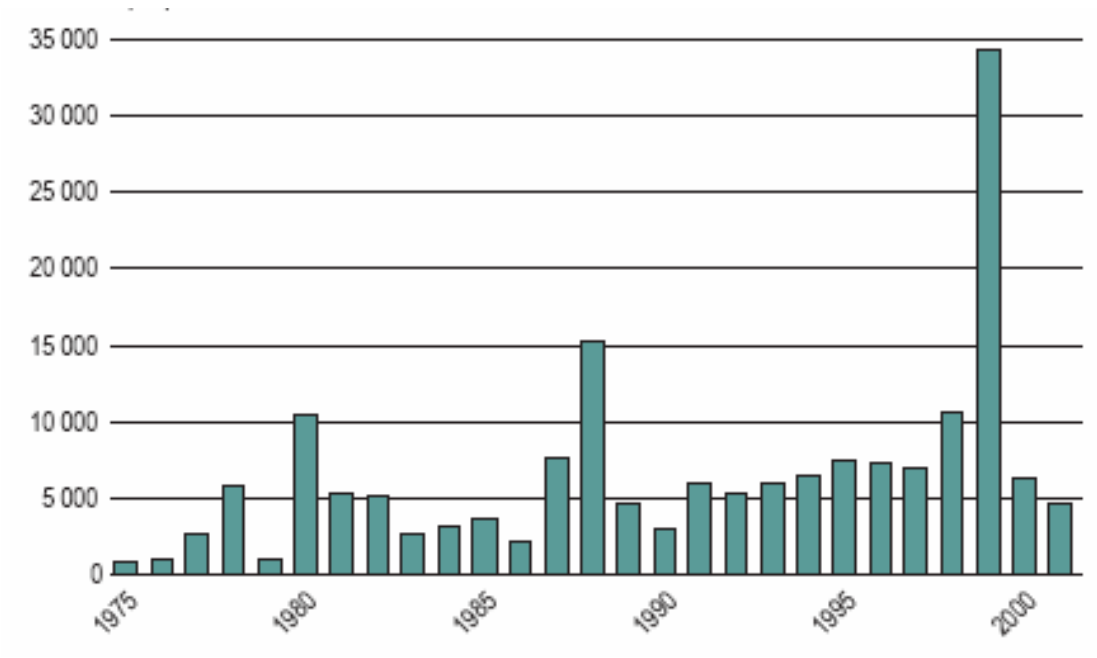


Figura 6 – Número de pessoas mortas devido a enchentes entre 1975 e 2001. Fonte: ONU (2005).

2.3.3.1 Prejuízos Ambientais

Com o aumento da urbanização e com o uso de produtos químicos na agricultura e no ambiente em geral, a água utilizada nas cidades, indústrias e na agricultura retorna aos rios totalmente contaminada. A conseqüência da expansão sem uma visão ambiental é a deterioração dos mananciais e a redução da cobertura de água segura para a população (BRASIL, 2004).

Benetti e Bidone (2001) afirmam que as águas pluviais têm um efeito de lavagem sobre o solo, conduzindo aos cursos d'água, impurezas e detritos encontrados em ruas e pavimentos. Os primeiros 15 minutos, especialmente são uma séria fonte de poluição.

A contaminação tanto química como biológica das águas urbanas é proveniente de efluentes urbanos como o esgoto cloacal, pluvial e os resíduos sólidos e deteriora as condições dos mananciais superficiais e subterrâneos. As enchentes carreiam e transportam esses poluentes afetando diretamente as pessoas, especialmente aquelas que sofrem com déficit acentuado de infra-estrutura

de saneamento, e o meio ambiente. As pesquisas sobre o comportamento dos contaminantes do escoamento superficial sobre o meio urbano, segundo Andrieu e Chocat (2004), passaram a atingir importância crucial, vide o contexto do aumento das inundações nas cidades.

BRASIL (2004) afirma que “a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial apresenta uma carga muito alta considerando a vazão envolvida”. Esse volume é mais significativo no início das enchentes. Os primeiros 25 mm de escoamento superficial geralmente transportam grande parte da carga poluente de origem pluvial (SCHUELLER, 1987 *apud* BRASIL, 2004).

Os principais poluentes encontrados no escoamento superficial urbano são: sedimentos, nutrientes, substâncias que consomem oxigênio, metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, bactérias e vírus patogênicos, que perfazem um ciclo de contaminação, passando por todas as fases do ciclo hidrológico (figura 7).

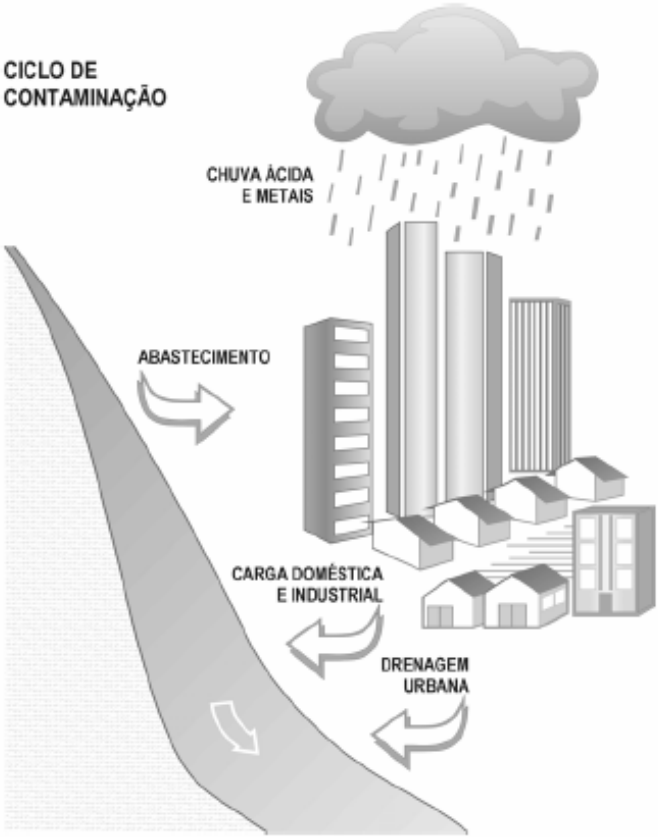


Figura 7 - Ciclo de contaminação da água em meio urbano. Fonte: BRASIL (2004).

Várias doenças de veiculação hídrica como febre amarela, cólera, dengue, leptospirose, etc, têm um aumento significativo de ocorrências devido às inundações. De acordo com os dados do Ministério da Saúde (BRASIL, 2005), cerca

de 3000 casos de Leptospirose (doença transmitida principalmente pela urina do rato) são diagnosticados por ano (com freqüência muito maior quando do acontecimento de inundações), sendo que destes, 10% chegam a falecer.

2.3.3.2 Prejuízos Econômicos

Ao invadir o passeio público, ruas, avenidas, casas, propriedades ou pela sua ação sobre as encostas desprovidas de proteção; a água proveniente das inundações causa transtornos e prejuízos diversos, tanto pela força da água pluvial e das chuvas, quanto pela sua contaminação.

Segundo dados da ONU (2005) milhões de pessoas no mundo sofrem prejuízos devido à catástrofes, mas não de maneira eqüitativa e sim segmentada em classes sociais (figura 8). Os países mais pobres também são os que mais sofrem os prejuízos econômicos causados pelas catástrofes (estando as enchentes em evidente destaque).

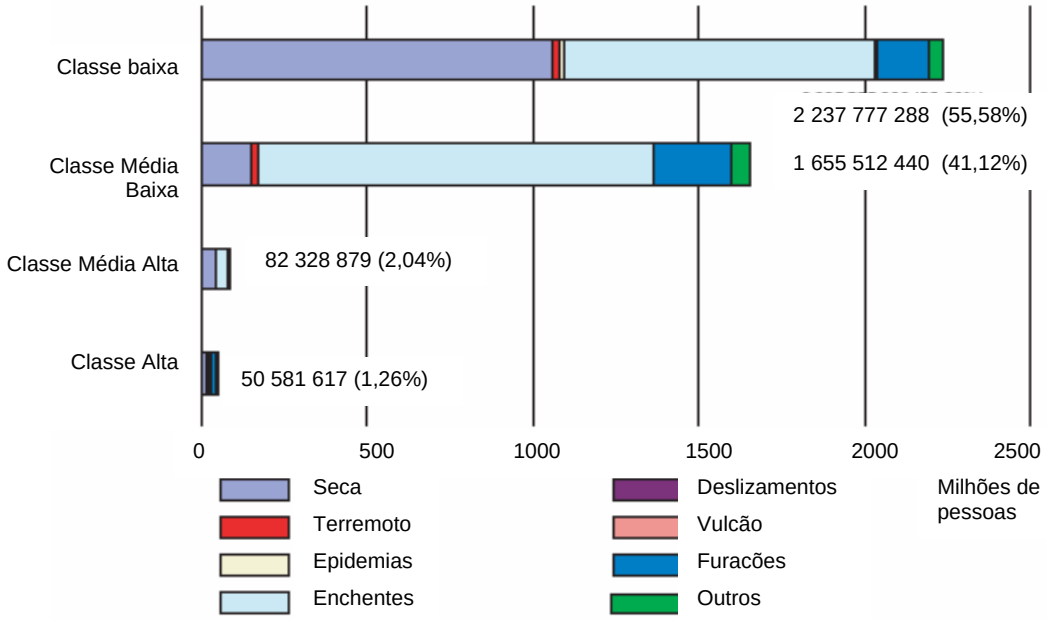


Figura 8 – Pessoas atingidas por catástrofes, segmentadas em classes sociais. Fonte: adaptado de ONU (2005).

A figura 9 apresenta um gráfico que relaciona o prejuízo econômico dos países ricos com os pobres em valores brutos e em percentual do Produto Interno do Bruto (PIB), revelando uma diferença considerável entre a influência econômica dos desastres por enchentes nesses dois grupos de países.

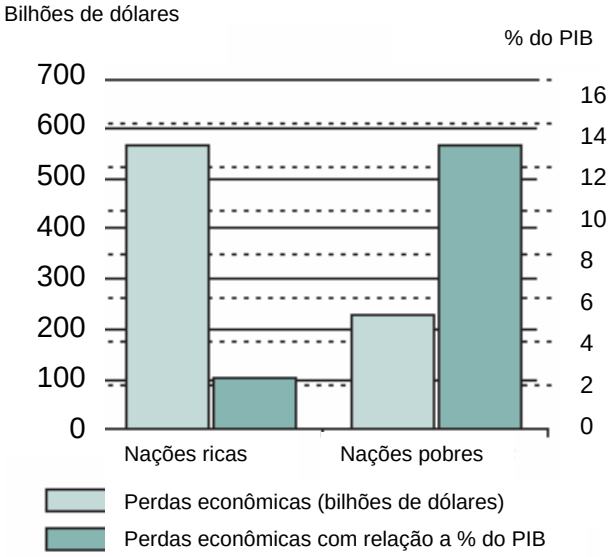


Figura 9 – Perdas econômicas por desastres em países pobres e ricos, em quantificação total e em relação ao PIB. Fonte: adaptado de ONU (2005).

2.4 A Sustentabilidade do Sistema de Drenagem

Quanto ao futuro das próximas gerações, devido ao estágio em que se encontram as mazelas ambientais e o desenvolvimento desenfreado, Pompêo e Gorniack (2005) afirmam que quando nos questionamos sobre esse tema está implícita a preocupação com a crise ambiental resultante de um estilo de desenvolvimento que vem degradando a natureza em nome de um modelo de produção que não reconhece os limites da biosfera, de tudo se apropria, e também não reconhece a natureza humana e ignora a diversidade cultural.

O conceito de sustentabilidade mais difundido é o que afirma que o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades (ONU, 1987). Agra *et al*. (2005) analisando o conceito proposto no relatório que “batizou” o Desenvolvimento Sustentável, destacam que ele é composto de dois conceitos-chave: (i) o conceito de “necessidades”, sobretudo as necessidades essenciais dos pobres no mundo, que devem receber a máxima prioridade; (ii) a noção das limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõe ao meio ambiente, impedindo-o de atender às necessidades presentes e futuras.

Daí, então, pode-se perceber que o conceito de sustentabilidade não diz respeito apenas ao impacto da atividade econômica no meio ambiente, mas desenvolvimento sustentável se refere principalmente às conseqüências dessa relação na qualidade de vida e no bem-estar da sociedade, tanto presente quanto futura. Assim, a atividade econômica, meio ambiente e bem-estar da sociedade formam o tripé básico no qual se apóia a idéia de desenvolvimento sustentável. A partir destes conceitos, deve-se buscar estabelecer um conceito de sustentabilidade aplicado a drenagem urbana (AGRA *et al*., 2005).

A proposição de uma drenagem urbana sustentável não é nem de longe simples. Costa Júnior (2003) *apud* Lira (2003) diz que essa proposta, hoje em dia, é inacessível, pois existe uma incompatibilidade muito elevada entre a produção e ocupação do meio urbano, e os sistemas de drenagem.

Agra *et al*. (2005) acrescentam que, na prática de muitos definidores de políticas públicas, o conceito de sustentabilidade na drenagem urbana geralmente está associado a medidas estruturais ou obras de controle do escoamento superficial urbano, como: bacias de detenção e/ou retenção de cheias, tanto a nível de lote e loteamentos como também a nível de bacias; pavimentos permeáveis; trincheiras, valas, poços e planos de infiltração; sem que muitas vezes essas soluções promovam adequada sustentabilidade do sistema de drenagem.

A questão do desenvolvimento sustentável está presente no debate nacional através do Projeto de Lei sobre o saneamento básico em trâmite (BRASIL, 2005), onde está inserida a drenagem urbana. A sustentabilidade é colocada como uma diretriz básica, pela garantia do caráter duradouro dos benefícios das ações, considerados os aspectos jurídico-institucionais, sociais, ambientais, energéticos e econômicos relevantes a elas associados.

2.4.1 Resumo da tecnologia de medidas de controle de enchentes

2.4.1.1 Estruturais compensatórias

Existem variadas soluções para a drenagem urbana, de acordo com a situação local. A intenção deste item não é descrever as técnicas usuais de obras de drenagem, e sim a concepção de alternativas mitigadoras sobre os efeitos da

urbanização e sobre a antiga postura de drenar águas de modo mais rápido possível.

A partir dos anos 1970 vêm sendo desenvolvidas as chamadas tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem, buscando neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental. Essas novas tecnologias baseiam-se, principalmente, na retenção temporária e na infiltração das águas precipitadas, visando assim, a diminuição do volume escoado e o rearranjo temporal das vazões e, conseqüentemente, reduzindo as probabilidades de inundações. Estas tecnologias podem assumir múltiplas formas como trincheiras, fossas, valas, pavimentos dotados de estruturas de reservação, poços, telhados armazenadores, bacias de detenção secas ou com água, etc. Além disso, estas tecnologias podem ser utilizadas em diferentes escalas, desde pequenas parcelas até o projeto de sistemas de drenagem para cidades inteiras e podem ser integradas ao meio ambiente e no tecido urbano, permitindo usos diversos pela população, como áreas de estacionamento, prática de esportes, parques, etc (Castro; Baptista, 2002)

A busca por soluções para compensar os impactos da urbanização, principalmente a impermeabilização e implantação de redes, sobre o padrão de escoamento tem levado para a engenharia a proposição das chamadas medidas de controle. Estas medidas tentam restituir a bacia à condição natural, anterior à implantação de empreendimentos que provocam o aumento do volume escoado, das velocidades de escoamento e de vazões máximas. Assim, elas atuam sobre o escoamento urbano, devolvendo a capacidade de armazenamento, através da implantação de reservatórios, ou devolvendo a capacidade de infiltração (Agra *et al*., 2005).

Souza (2005) discorre sobre o uso de técnicas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (*Low Impact Development,* LID) que buscam a criação de uma paisagem hidrológica funcional que imite a natureza por intermédio de:

a) Minimização de impactos por águas pluviais, incluindo diminuição de áreas impermeáveis, conservação de recursos e ecossistemas naturais, manutenção de cursos de drenagem, redução de encanamentos e minimização de movimentação de terra, ainda no planejamento;

b) Provimento de medidas de armazenamento uniformemente dispersas, pelo uso de práticas que retenham o escoamento, para mitigar ou restaurar distúrbios inevitáveis ao regime hidrológico;

c) Manutenção do tempo de concentração de pré-desenvolvimento por estrategicamente propagar fluxos e manter o tempo de deslocamento e o controle de descarga e;

d) Implementação de programas de educação pública efetiva para encorajar proprietários a usar medidas de prevenção à poluição e a manter práticas de gestão da paisagem hidrológica funcional no lote.

2.4.1.2 Não-estruturais

As medidas não estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes (TUCCI, 2001b). As medidas não estruturais de inundação podem ser agrupadas em: zoneamentos de áreas de inundação (definida no Plano Diretor da cidade), seguro de enchente, previsão e alerta de inundação.

Barros *et al*. (2003) reconhecem a importância da estimativa de vazões críticas para o gerenciamento de uma bacia, como parte das medidas não-estruturais de drenagem urbana.

São reconhecidamente as medidas mais econômicas, de acordo com BRASIL (2004). Na cidade de Denver em 1972, o custo de proteção com medidas estruturais de um quarto de determinada área era equivalente ao mesmo de medidas não-estruturais associadas à proteção dos três quartos restantes.

Na maioria das cidades brasileiras, apesar das comprovadas vantagens, as medidas não-estruturais são pouco comumente postas em prática e quando procuram ser, a população não colabora suficientemente e, apesar disso, o poder público muitas vezes permanece omisso.

De acordo com ABRH (2003), as ações não-estruturais incluem todas as formas de atividades que envolvem as práticas de gerenciamento e mudanças de comportamento da população e que no Brasil, as agências nacionais que influenciam a Política estão reconhecendo a necessidade de se adotar os princípios da drenagem urbana sustentável.

A Constituição Federal do Brasil (BRASIL, 1988), em seu artigo 21, estabelece a competência da União para planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e inundações. Foi decretado na lei 9.433 (BRASIL, 1997), que, dentre outros, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), no art.2º, no inciso III, que é objetivo da PNRH: "*a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais".*

O Estatuto da Cidade, aprovado em 2001 (BRASIL, 2001), institui medidas jurídicas para a adoção das medidas não estruturais na drenagem, sendo um dos instrumentos o direito de preempção (artigos 25 a 27) que trata da preferência, por parte do poder público, para compra de imóveis do seu interesse, no momento de sua venda, estando no conjunto desses bens imóveis, as edificações construídas em locais impróprios, sujeitos a inundações.

O Projeto de Lei (BRASIL, 2005) que institui as diretrizes básicas para os serviços públicos de saneamento básico e Política Nacional de Saneamento Básico (PNS), atualmente em trâmite no Congresso Nacional, afirma que é obrigação do poder público promover a salubridade ambiental[1], especialmente mediante políticas, ações e a provisão universal e equânime dos serviços públicos necessários.

O funcionamento dos sistemas de drenagem está atrelado legalmente aos aspectos relacionados à gestão integrada dos recursos hídricos, controle da poluição ambiental e dotação de infra-estrutura urbana.

Um dos principais instrumentos para planejamento da drenagem da cidade deve ser o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU), inserido no contexto das demais legislações e códigos vigentes que regem a organização do espaço público municipal e no Plano de Recursos Hídricos da bacia na qual está inserido. O PDDU é o conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem minimizando o impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais (ABRH, 2003).

As etapas de desenvolvimento do PDDU (figura 10), segundo ABRH (2003) devem obedecer as seguintes fases:

---

[1] Salubridade ambiental: qualidade das condições em que vivem populações urbanas e rurais no que diz respeito à sua capacidade de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de doenças relacionadas com o meio ambiente, bem como de favorecer o pleno gozo da saúde e o bem-estar (BRASIL, 2005).

a) Concepção – trata do levantamento de dados existentes, envolvendo coleta de campo, diagnósticos e legislação pertinentes;
b) Medidas – de acordo com o diagnóstico realizado, algumas medidas emergenciais estruturais e não-estruturais podem ser tomadas e outras planejadas;
c) Produtos – produtos necessários à implementação das medidas de curto, médio e longo prazos, com detalhamento do plano de ações, plano de obras, legislação, manuais, etc.
d) Programas – trata do monitoramento, coleta de dados e estudos adicionais

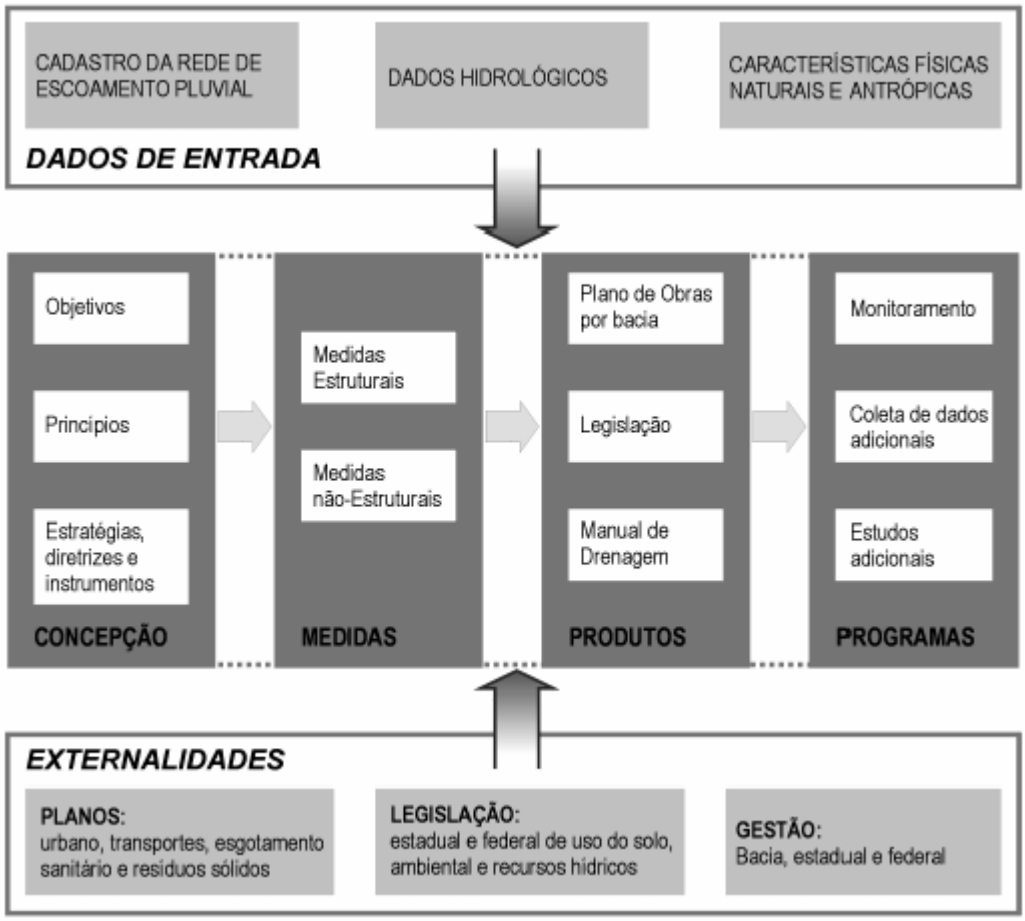


Figura 10 – Etapas do Plano Diretor de Drenagem Urbana. Fonte: ABRH (2003).

2.5. Análise Hidráulico-Hidrológica do escoamento superficial

A natureza apresenta uma complexa distribuição espacial de suas propriedades, dependentes da escala tempo-espaço da observação do fenômeno. Segundo Klemes (1983) *apud* Mendes e Cirilo (2001) a causa do pouco entendimento humano da escala hidrológica, deve-se ao fato desta estar fora da

compreensão dos fenômenos de uma escala humana. Na figura 11, estão as diferentes escalas para diversos fenômenos e nota-se a pouca intercessão dos fenômenos hidrológicos com a compreensão humana.

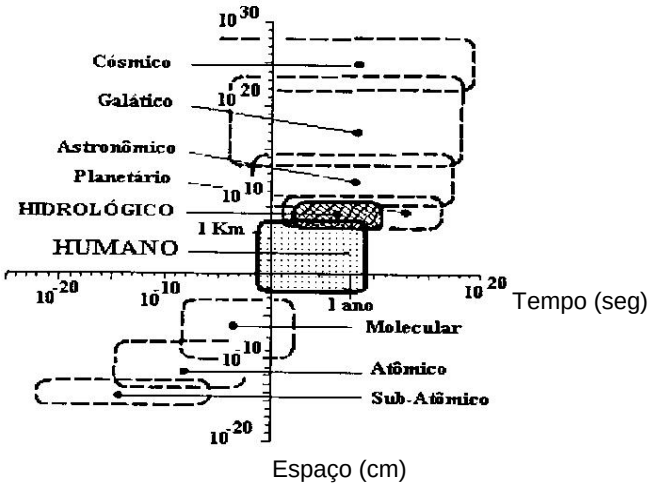


Figura 11 – Diferentes escalas espaço-tempo para vários fenômenos. Fonte: Klemes (1983) *apud* Mendes e Cirilo (2001).

Apesar da possibilidade de um maior conhecimento sobre as características de áreas antrópicas, a hidrologia urbana está longe da simplicidade: o ambiente é altamente heterogêneo em termos de uso, ocupação e características hídricas dos solos e outros fatores que influenciam todos os processos que incluem o ciclo da água nas cidades: chuva, escoamento de superfície, infiltração e movimento de água em subsolos urbanos, interações entre águas de superfície e subterrâneas, interações entre a rede de drenagem e os lençóis subterrâneos, e evapotranspiração em áreas urbanas (ANDRIEU e CHOCAT, 2004).

Tucci (1998) define o escoamento superficial como sendo a parte do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida. O escoamento superficial interage e depende de um grande número de fatores, são eles, segundo Tucci (2001a): o relevo; a cobertura da bacia; modificações artificiais no rio; distribuição, duração e intensidade da precipitação e; solo. Portanto, para qualquer tentativa de representar fisicamente (através de números) esse escoamento, faz-se necessário uma modelagem que aborde esses fatores.

A realidade da escassez de dados hidrológicos leva a simplificações de cálculo para a quantificação da previsão do escoamento superficial numa bacia.

Existem, na literatura, várias formulações para quantificar as complexas interações que compõem o escoamento superficial.

De acordo com Lira (2003), um dos primeiros modelos apresentados para representar a propagação do escoamento superficial na bacia foi o Hidrograma Unitário (HU). O HU é um processo de transformação de precipitação efetiva em escoamento superficial através de um modelo linear.

Os Hidrogramas Unitários Sintéticos são classificados como empíricos e conceituais. Os primeiros não dependem de qualquer curva teórica e consideram apenas alguns parâmetros cuja correlação é realizada a partir de características da bacia. Enquadrados neste caso estão os modelos de cálculo dos hidrogramas de Snyder, regionalização de Diaz e Tucci, Triangular do *Soil Conservation Service* (SCS) (TUCCI, 2001a), entre outros .

Os modelos conceituais obedecem a um certo tipo de curva, representando conceitualmente o fenômeno físico de transformação chuva-vazão. Entre estes se encontra os hidrogramas de Nash e Gray. (PORTO e RIGHETTO, 1995 *apud* LIRA, 2003).

A quantificação da separação entre a precipitação total da que gera o escoamento superficial (precipitação efetiva) foi formulada por vários algoritmos, entre eles estão o HEC, que avalia a taxa de perdas por uma função que relaciona a taxa de perdas da chuva com as perdas acumuladas; o método da curva-número do SCS; método de Horton; Green e Ampt; método do índice $\emptyset$, definido por uma capacidade de infiltração constante no tempo; método de Holtan; entre outros.

A avaliação do escoamento em canais pode ser realizada por vários métodos, dentre eles, destaca-se na literatura o modelo Muskingum e suas variações.

2.6. Modelagem computacional de bacias hidrográficas

Modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas (TUCCI, 1998). Dentre esses, se pode enquadrar os processos hidrológicos, através de modelos de simulação, tornando-se esses modelos alternativos capazes de sintetizar, com razoável realismo, alguns dos diversos processos do ciclo hidrológico em uma dada bacia hidrográfica.

Saliente-se, porém, que qualquer modelo, por mais sofisticado e elaborado que seja, é apenas uma analogia, porque é diferente do “Mundo Real” (MENDES; CIRILO, 2001), mas são representações úteis que generalizam e simplificam aspectos da “realidade”.

Os modelos precipitação-vazão devem descrever a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressões no solo, o fluxo através do solo pela infiltração, percolação e água subterrânea, principais estruturas de modelos utilizadas para representar os escoamentos superficiais e nos rios. A estrutura desses modelos é baseada nos seguintes elementos de acordo com Tucci (1998): i) discretização da bacia hidrográfica; ii) variáveis de entrada; iii) estrutura básica da integração dos processos; iv) aquisição dos dados físicos das bacias; v) determinação dos parâmetros.

Para a discretização da bacia, os modelos utilizam critérios de sub-divisão espacial para representar a bacia (figura 12), de um modo geral numa das seguintes estruturas:

- Concentrado: toda a bacia é representada por uma precipitação média e os processos hidrológicos por variáveis concentradas no espaço. Essa discretização é usada geralmente para bacias pequenas onde a distribuição espacial dos parâmetros e variáveis não comprometem os resultados;
- Distribuído por sub-bacias: permite a subdivisão das bacias em sub-bacias, de acordo com a drenagem principal da mesma. A subdivisão é baseada na disponibilidade de dados, locais de interesse e variabilidade de parâmetros físicos;
- Distribuído por módulos: realizadas por formas geométricas como quadrados, retângulos, sem relação direta com a forma da bacia, mas caracterizando internamente os componentes dos processos. Possui um melhor detalhamento com relação ao anterior tanto mais quanto menores forem os módulos, mas por outro lado, o elevado número desses módulos, prejudica o entendimento dos processos e ajuste dos parâmetros pelo usuário.

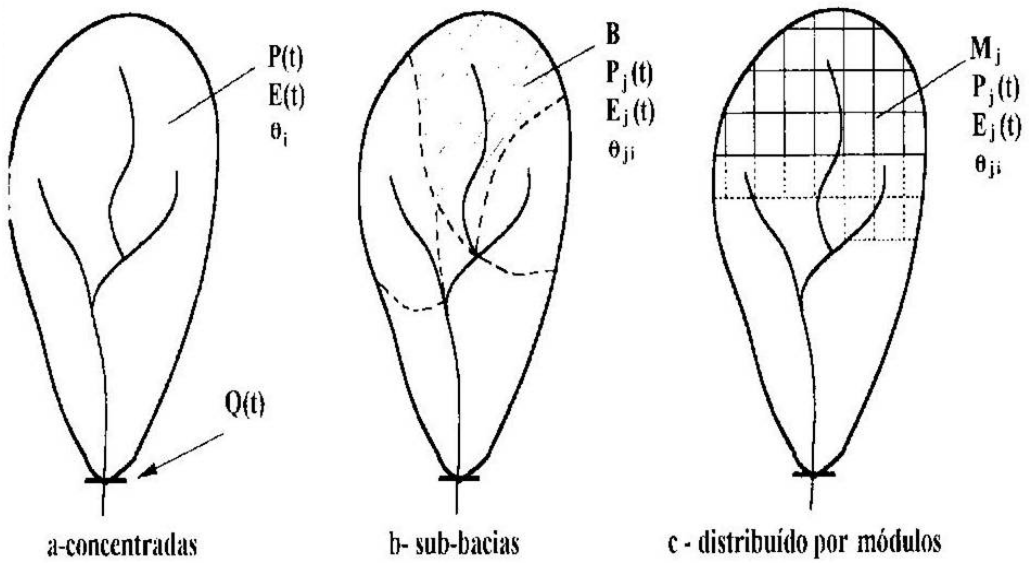


Figura 12 – Estruturas de discretização de modelos hidrológicos precipitação-vazão. Fonte: Tucci (1998).

As variáveis de entrada geralmente são a precipitação e a evapotranspiração, A precipitação é a principal variável e com maior disponibilidade de dados, apesar de limitações como a densidade insuficiente de postos, a falta de dados num intervalo menor que 1 dia e o tamanho das séries.

Na figura 13 é explicada em fluxograma, a estrutura na qual estão integrados os processos para representar o ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão. Usualmente essa estrutura é separada em dois módulos:

- bacia: simula o balanço vertical dos fluxos e o escoamento na sub-bacia ou no módulo;
- canal: simula o escoamento em rios e canais definidos, propagando a vazão de montante e recebendo a contribuição do módulo da bacia.

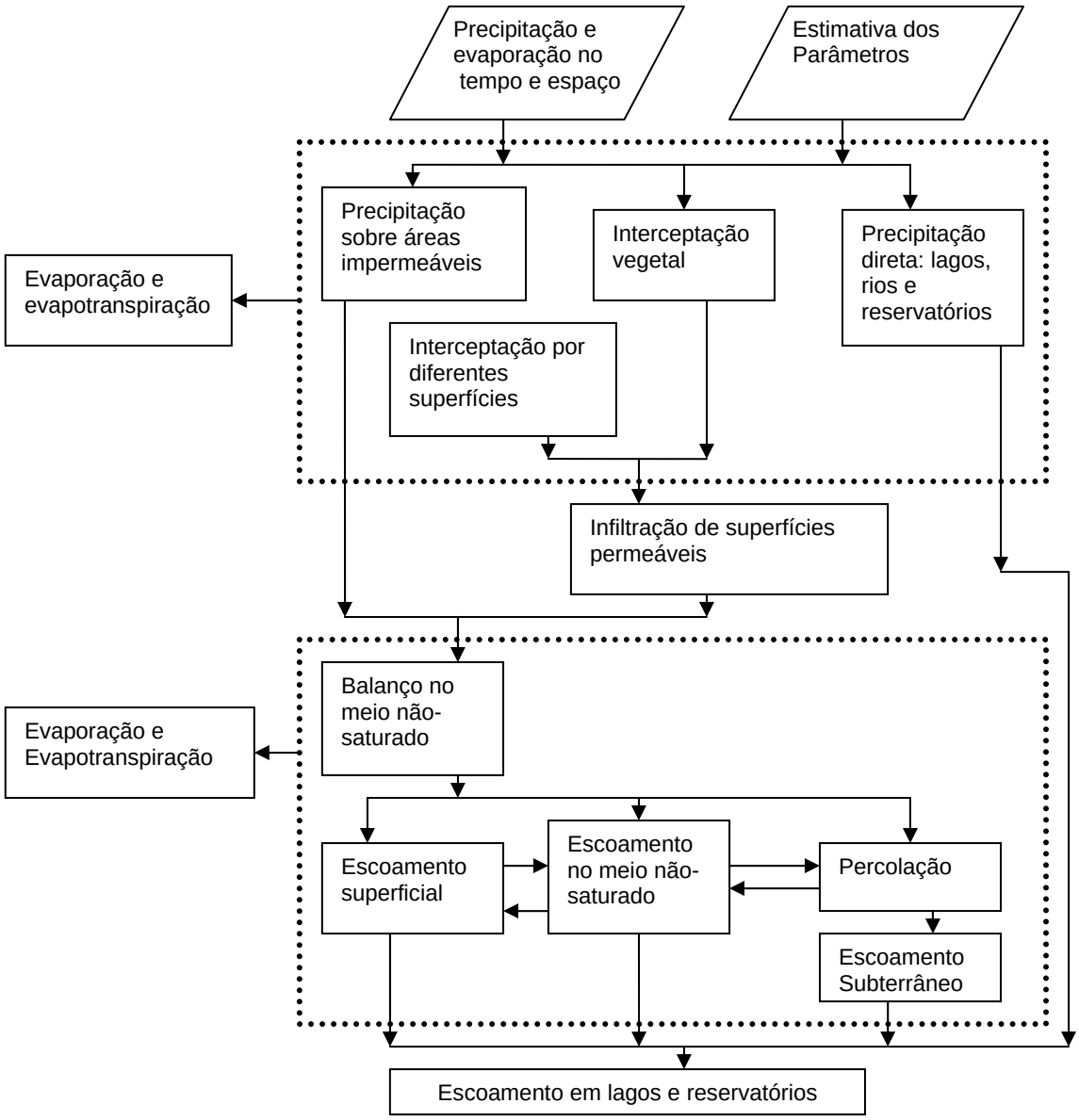


Figura 13 – Fluxograma dos modelos hidrológicos precipitação-vazão. Fonte: Tucci (1998).

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto têm sido importantes ferramentas na aquisição de dados físicos de bacias hidrográficas. Os SIGs estimam com base nos *layers*[2] de solo, cobertura (uso e ocupação do solo) e outras características físicas, alguns parâmetros da modelagem. Os Modelos Digitais do Terreno (MDT) ajustam os pontos altimétricos da bacia, permitindo a determinação de áreas de drenagem, comprimento de talvegues e declividades para os módulos de discretização. A respeito, Valeo e Moin (2000) afirmam a

[2] *Layers* neste caso são as camadas temáticas de interesse que o programa de SIG admite e processa a fim de obter resultados específicos para modelagem.

necessidade de não poupar esforços para integrar SIG com a modelagem hidrológica em áreas urbanas.

Com relação à determinação de parâmetros para o modelo, existem alguns estimados com base nas características físicas e outros que devem ser ajustados com base em dados observados das variáveis de entrada e saída. Uma das ferramentas que oferece credibilidade à algumas estimativas é a utilização de processamento de imagens de satélites.

O uso de imagens multiespectrais registradas por satélites tais como, Landsat, SPOT, ERS1, NOAA, QuickBird ou similares, tem-se mostrado como uma valiosa técnica para a extração dos dados destinados às várias aplicações de pesquisa de recursos naturais. Segundo Góes *et al*. (2003), a utilização de imagens de satélite tem trazido benefícios significativos para o estudo dos recursos hídricos. Modelos numéricos do terreno para a simulação dos processos físicos, identificação de cobertura vegetal e cultivos no ambiente rural, cadastramento de pequenos reservatórios, uso e ocupação do solo urbano são exemplos de informações espacialmente distribuídas que podem ser geradas a partir das imagens.

2.6.1 Algumas aplicações de modelos hidrológicos

No Brasil e no mundo, são inúmeras aplicações de modelos hidrológicos precipitação-vazão associadas a processamento computacional. Cada um desses modelos procura atingir objetivos específicos e requerem aparato de informática de acordo com suas possibilidades. As aplicações desses modelos dependem, segundo Tucci (1998), dos objetivos do estudo; das características da bacia e do rio, da disponibilidade de dados e da familiaridade do usuário com modelo.

Rodriguez *et al*. (2003) modelaram hidrogramas unitários para 3 bacias urbanas da França utilizando os bancos de dados cadastrais das cidades, existentes para fins de cobranças de impostos (incluindo informações topográficas) integrados a um SIG, a partir dos modelos SWMM e MOUSE, que utilizam as equações de Saint Venant.

Melo *et al*. (2002) utilizaram o modelo HEC-Geo-HMS e HEC-HMS para modelagem hidrológica de chuva-vazão e o modelo HEC-Geo-HAS e HEC-HAS para modelagem hidráulica de perfis de linha d’água. Os programas integrados processaram estudos de transformação chuva-vazão, onda de cheia,

comportamento hidráulico das seções do rio e elaboração e mapeamento de zonas inundáveis na bacia do rio Cocó em Fortaleza-CE, tudo em integração a bancos de dados em SIG.

Lira (2003) desenvolveu um programa denominado EESC, que utiliza os algoritmos do SCS, Diaz e Tucci, e Nash, para avaliar as condições de macrodrenagem da cidade de São Carlos-SP.

Moreira *et al*. (2003) utilizaram a metodologia tempo-área de Clark para a determinação do hidrograma de cheia numa pequena bacia urbana de Natal-RN, associada ao uso de geoprocessamento.

Barros *et al*. (2003) utilizaram o IPHS1 a partir do algoritmo do IPH2 para o escoamento superficial, a fim de realizar o mapeamento de inundação da bacia do córrego do Gregório em São Carlos-SP.

Hundecha e Bárdossy (2004) estudaram o efeito das mudanças do uso do solo na bacia do rio Reno, aplicando parâmetros de regionalização num modelo conceitual chuva-vazão distribuído, chamado HBV-IWS, que usa sub-bacias como unidades hidrológicas.

Araújo Filho (2004) aplicou o modelo TOPMODEL para estudos de transformação chuva-vazão, utilizando modelo digital do terreno para incluir o relevo da bacia no cálculo da vazão. O TOPMODEL é um modelo distribuído em relação à topografia do terreno e possibilita o acoplamento com técnicas de geoprocessamento.

2.7 Trabalhos recentes realizados na área de estudo

A bacia do rio Jacarecica vem sendo objeto de estudos de pesquisa em outras áreas do conhecimento, mas principalmente sobre a ótica da hidrologia, devido principalmente à sua importância no contexto ambiental e da drenagem na cidade de Maceió.

Agra e Silva Jr. (1998) e Agra *et al*. (2001) discutiram os impactos ambientais decorrentes do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins (PMTM), onde concluíram que os impactos sobre a vazão de pico do hidrograma sob a ponte da AL 101 Norte, na época corrente não seriam consideráveis, mas que o volume do hidrograma aumentaria significativamente, além de apontarem sobre os impactos na

área de mangue na foz e os indícios de poluição existentes nas lagoas de detenção do PMTM.

Peplau *et al*. (2004) analisaram a cheia de 01/06/2004 na bacia e simularam uma hipotética liberação de água proveniente da transposição de águas pluviais da bacia do Tabuleiro dos Martins para o rio Jacarecica, levando em consideração as características da ocupação urbana. A simulação foi realizada através do modelo ABC6 e mostrou que a calha fluvial do rio não suportaria (como isso aconteceu de fato – figuras 14a e 14b) uma vazão devido à liberação d'água numa situação de reservatórios cheios, e ao mesmo tempo constatou o funcionamento irregular da obra do PMTM (figuras 15a e 15b).

a) b)

Figura 14 – a) Início da inundação no médio Jacarecica em 01/06/2004 (Ecopark – Parque aquático); b) Mesmo local após chegada da onda de cheia. Fonte: Ecopark (2004).

Esse fato também foi constatado por Lins (2005), que além de propor uma simulação quantitativa (utilizando o modelo IPHS1), realizou um estudo de qualidade de água na bacia através do modelo QUAL 2E. As amostras de água do rio Jacarecica foram tomadas entre setembro de 2004 e janeiro de 2005 e revelam a degradação ambiental que a bacia vem sofrendo.

a)

b)

Figuras 15a e 15b – Local do desemboque da obra do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins, na bacia do rio Jacarecica com destaque para a erosão provocada pela liberação das águas.

Peplau e Cabral (2005) trataram da influência do aumento de urbanização sobre a vazão numa sub-bacia na cabeceira do rio Jacarecica em Maceió, cuja expansão urbana vem acontecendo de maneira desordenada, concluindo que a urbanização estimada variou de 58% para 70,25% em 16 anos, e por causa disso os picos de vazão tiveram aumento variando de 30,11% (chuva de 60 min, Tr = 5 anos) a 11,31% (chuva de 90 min, Tr = 25 anos) e os picos de vazão sofreram antecipação temporal.

3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

Alagoas está situada no Nordeste brasileiro, limita-se ao norte com o estado de Pernambuco, ao sul com Sergipe, a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com Pernambuco e Bahia. Possui uma área territorial estimada em 27.767,66 km^2.

O município de Maceió está localizado no litoral médio do Estado de Alagoas, entre os paralelos de 9º 20’ S e 9º 45’ S e os meridianos de 35º 30’ W e 36º 50’ W Gr. O município possui uma superfície territorial de 510,65 km² (IBGE, 2005), dos quais 191,79 km² correspondem à área urbana. A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio Jacarecica, inserida totalmente no município de Maceió (figura 16), entre as coordenadas 35º 40’ e 35º Longitude Oeste e 9º 35’ e 9º 40’ Latitude Sul (ALAGOAS, 1998). Sua área foi estimada em 25,65 km^2 e seu canal principal possui cerca de 13 km de extensão, sendo suas nascentes situadas nas grotas próximas ao conjunto residencial Henrique Equelman e sua foz na praia de Jacarecica.

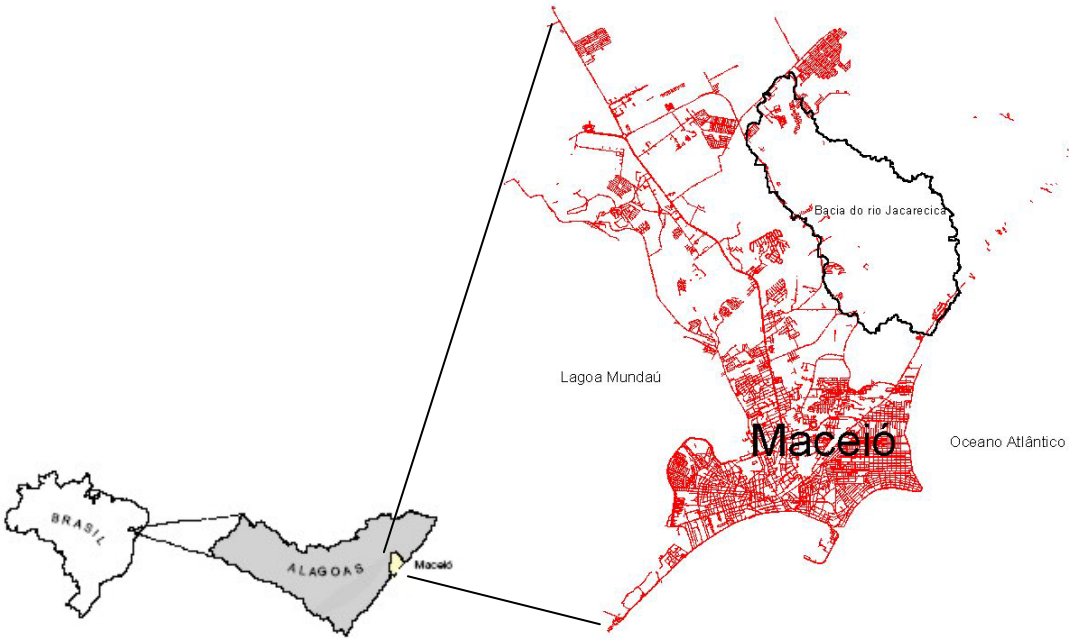


Figura 16 – Localização de Alagoas, Maceió e da bacia do rio Jacarecica.

3.2 População

A população total de Alagoas foi estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no censo demográfico de 2000 em 2.822.621 habitantes (IBGE, 2005), e uma densidade demográfica de 101,65 hab/km^2. Maceió respondia na época por 28,26% da população total do estado, com 797.759 habitantes e numa estimativa mais recente, segundo o IBGE (2005), a cidade possuía 884.320 habitantes.

Maceió possui 49 bairros, sendo que destes, seis possuem território na bacia do rio Jacarecica, nenhum totalmente inserido, são eles: Jacarecica, São Jorge, Serraria, Barro Duro, Antares e Benedito Bentes. Na tabela 3 está a população referente a cada bairro, ressaltando que esses números não representam a população da bacia, sendo essa apenas uma parte do indicado na tabela 3.

Tabela 3 – População total dos bairros que possuem território na bacia do rio Jacarecica

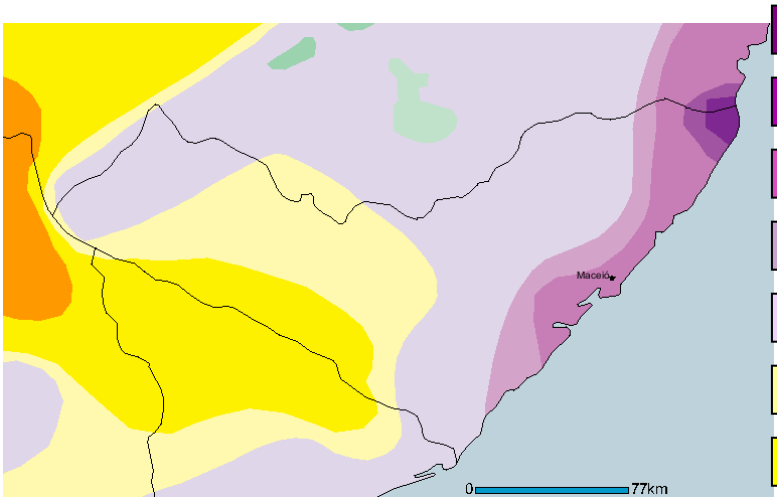
Bairro	População (hab)
Antares	9.193
Barro Duro	10.597
Benedito Bentes	67.964
Jacarecica	5.093
São Jorge	4.309
Serraria	16.170
Total	113.326

Fonte: Censo Demográfico 2000 (IBGE, 2005).

3.3 Clima

O clima de Maceió é do tipo AS’, segundo a classificação de Köppen, também classificado como úmido e sub-úmido (ALAGOAS, 1994) com temperaturas médias variando de 25 a 26,4º C e a pluviosidade média anual com base nas Normais Climatológicas de 1931 a 1960, é de 1653mm (CASAL, 1978 *apud* IMA-GTZ, 1993).

A figura 17 mostra os climas existentes em Alagoas e as características de cada um, segundo IBGE (2005).



Super úmido	Sem seca	> 18°C (sempre)
Super úmido	Sub-seca	> 18°C (sempre)
Úmido	1 a 2 meses secos	> 18°C (sempre)
Úmido	3 meses secos	> 18°C (sempre)
Semi-úmido	4 a 5 meses secos	> 18°C (sempre)
Semi-árido	6 meses secos	> 18°C (sempre)
Semi-árido	7 a 8 meses secos	> 18°C (sempre)

Figura 17 - Climas do estado de Alagoas. Fonte: IBGE (2005)

A série histórica de precipitação para Maceió (ALAGOAS, 1998) aponta para os meses de maio e junho como os de índice pluviométricos mais altos. Na figura 18, está a série histórica das médias pluviométricas.

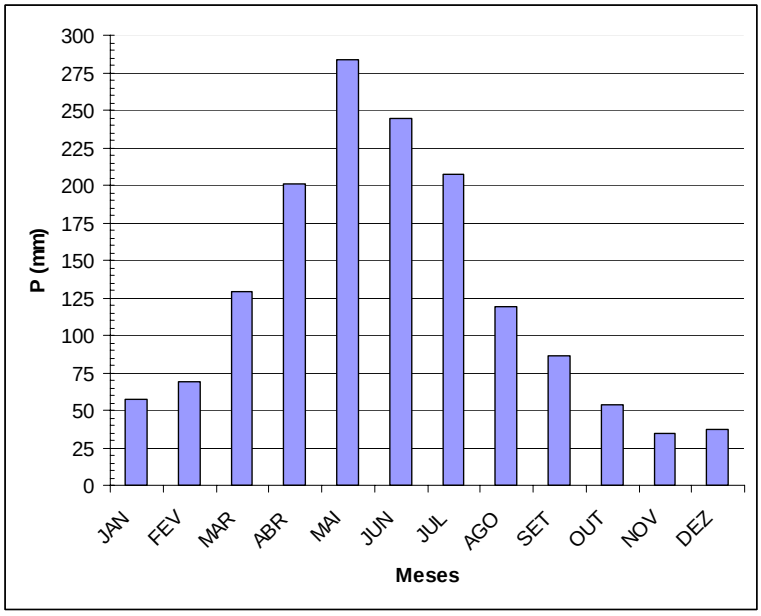


Figura 18 – Médias pluviométricas mensais para a cidade de Maceió. Fonte: ALAGOAS (1998).

A taxa de insolação da região é bastante elevada, com média anual de 2.760 horas. As médias mensais de insolação variam de 180,3 horas em junho a 281,8 horas em janeiro. A umidade relativa do ar na bacia é elevada, apresentando média anual de 79,7%, com média máxima de 82,2% em maio, e mínima em novembro de 76,7%. (ARAÚJO, 2004).

De acordo com ALAGOAS (1993), a evaporação potencial média anual no vale do Prataji é de 1.113mm. Sendo a bacia do rio Prataji bem próxima da bacia do rio Jacarecica, esse valor pode ser considerado para a área em estudo.

3.4 Relevo

Quanto ao relevo, a cidade de Maceió localiza-se com sua maior área territorial na região denominada de Tabuleiros, mas existem também a planície litorânea e a zona de transição. A largura do Tabuleiro varia de 20 até 40 quilômetros. Sua altitude regular é de 40 a 50 metros sobre o nível do mar, na frente dos penhascos, e de 200 metros no interior, nas superfícies das Chãs. A estrutura acha-se cortada verticalmente pelos rios que descem do interior. As lagoas, na parte sul da cidade, estão nos grandes compartimentos abertos para o mar (AGRA *et al.*, 2002).

A morfologia da bacia em estudo caracteriza-se pela alta declividade no alto curso do rio, que passa a ser mais suave à medida que o rio avança em direção ao oceano através da planície litorânea. Em geral as encostas são bastante íngremes e definidas rumo aos talvegues, tornando a bacia do rio Jacarecica, o que pode-se chamar de “bacia encravada ou bem encaixada” (figura 19).

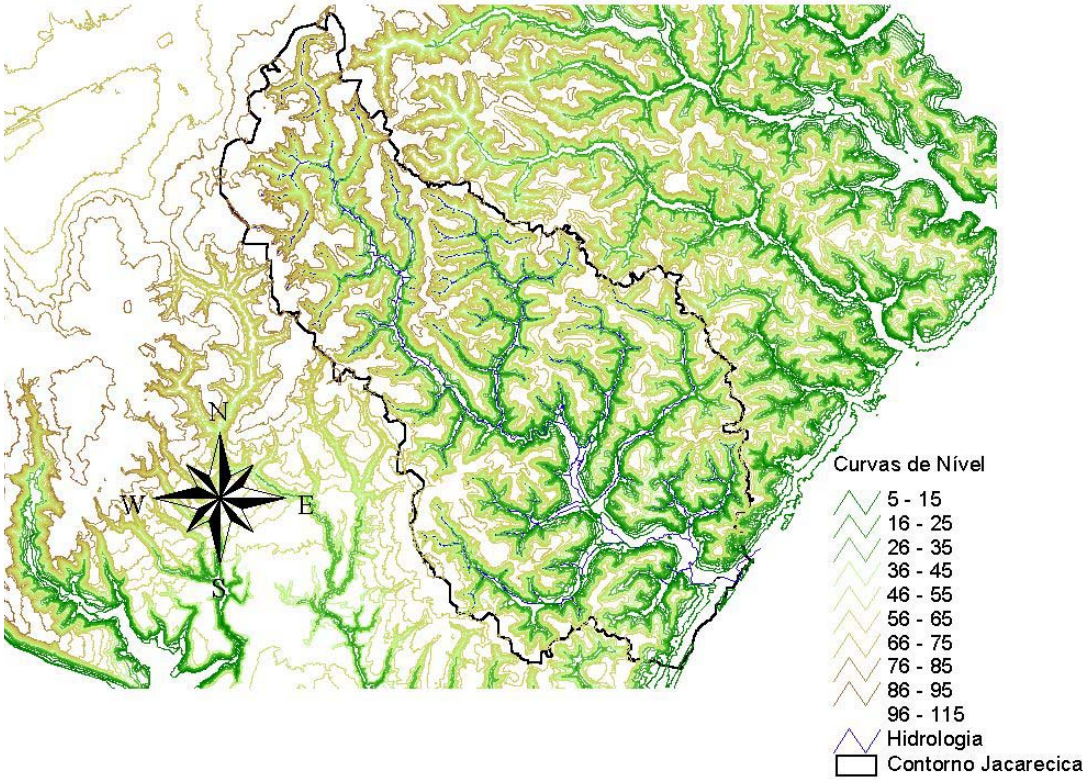


Figura 19 – Curvas de nível da bacia do rio Jacarecica (em destaque) e seu entorno.

3.5 Vegetação

A principal cobertura vegetal primitiva em Maceió era a Mata Atlântica (Floresta Tropical Chuvosa), porém, desta, só existem resquícios, em locais de difícil acesso ou ocorrências pontuais em grotas com altas declividades.

O município possui grande área rural e nesta pode-se encontrar principalmente cultivos de frutíferas (notadamente coco, manga e caju), hortaliças, cana-de-açúcar, pastos e vegetação secundária (capoeira). Porém, a degradação vem avançando também sobre essas áreas, começando pelas mais próximas da zona urbana.

No item 4.5.3, a vegetação na bacia do rio Jacarecica, será melhor detalhada.

3.6 Solos

A cidade de Maceió possui, segundo o IBGE (2005), a predominância da classificação pedológica de solos denominada LA-5 (Latossolo Amarelo), que são solos profundos ou muito profundos, bem drenados e com baixo gradiente textural.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) realizou um levantamento mais detalhado dos solos da cidade e confirmou a predominância do Latossolo Amarelo, considerado como o mais importante solo dos tabuleiros, estando relacionado com o manto sedimentar argiloso referido ao Grupo Barreiras do Terciário.

Para a bacia do rio Jacarecica, a classificação pedológica da EMBRAPA (2005) (figura 20), está no anexo D, por conter informações por demais específicas para cada tipo encontrado.

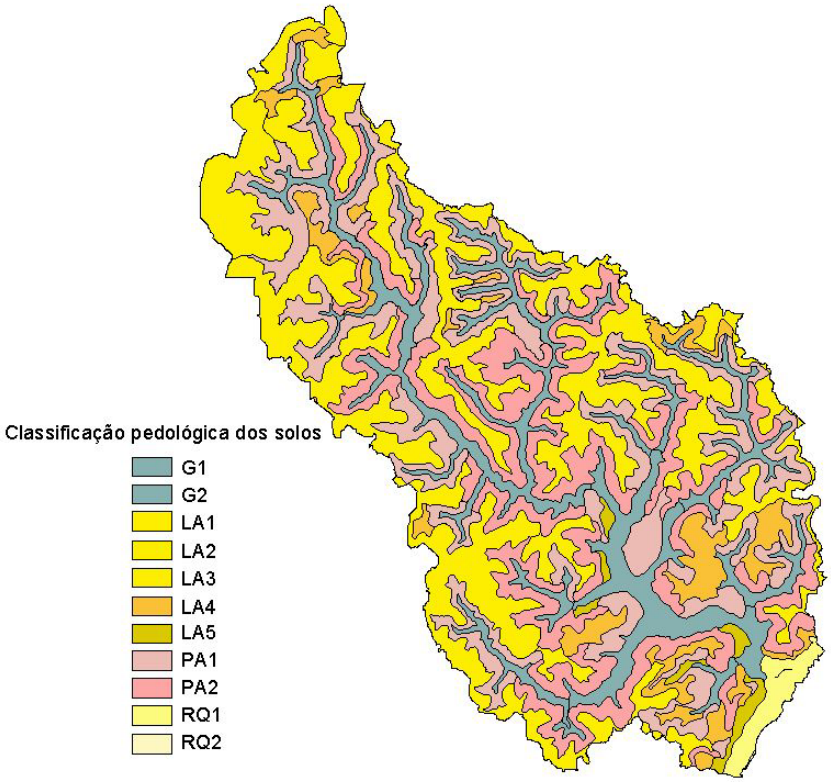


Figura 20 – Classificação pedológica dos solos da bacia do rio Jacarecica. Fonte: EMBRAPA (2005).

3.7 Hidrografia

Maceió possui várias bacias hidrográficas, algumas vertem para o Atlântico e outras para a lagoa Mundaú. Entre as principais estão a bacia do Riacho Reginaldo (foz na praia da Avenida, Centro), a bacia do Riacho do Silva (foz na Lagoa Mundaú, em Bebedouro), a bacia do Tabuleiro dos Martins, a bacia do rio Jacarecica, a bacia

do Riacho Doce (foz na praia homônima) e a bacia do rio Pratagy (foz na praia da Sereia).

3.7.1 Macrodrenagem da bacia do rio Jacarecica

As principais linhas de talvegues naturais da bacia foram obtidas a partir do mapa digital de 1998 (MACEIÓ, 1999) e processadas para caracterização morfológica geral e subdivisão da bacia. Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, através do software Arcview 3.2a para o mapa de relevo contendo curvas de nível (de 5 em 5 metros) e pontos cotados, além da rede hidrográfica.

O referido mapa foi vetorizado com relação às curvas de nível, atribuindo a cada uma o seu valor e processado para resultar o Modelo Digital do Terreno (MDT), onde a partir deste pôde-se através do aplicativo PrePro, realizar a subdivisão automática das subbacias, através dos divisores d'água.

O rio Jacarecica, segundo a classificação de Strahler, é de 4ª ordem (figura 21), a calha fluvial em geral é bastante rasa e possui vazões básicas médias da ordem de menos de 1 m^3/s, já em seu baixo curso. Os afluentes principais que possuem denominação são o riacho das Pedras, o riacho da Caveira e o riacho São João e todos estes estão na margem esquerda do rio.

A maioria dos talvegues na margem direita não possuem cursos d'água permanentes, pois estes acontecem nas maiores áreas de contribuição, que ficam na margem oposta.

As águas da bacia são geralmente utilizadas para irrigação de pequenos cultivos agrícolas e fruticultura, mas também foram identificados outros usos, como abastecimento humano (em pequenos sítios), dessedentação animal e diluição de efluentes (caso dos esgotos lançados difusamente e da futura transposição pelo projeto da Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins).

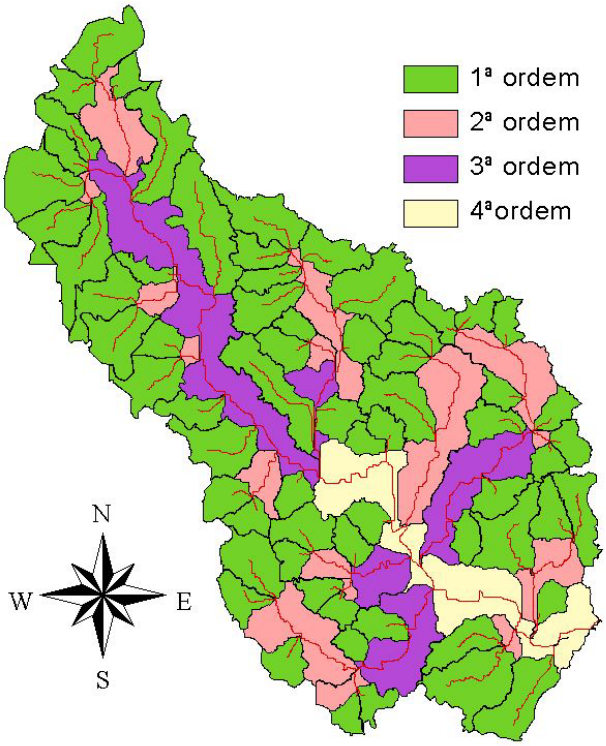


Figura 21 – Ordenamento dos canais preferenciais de escoamento na bacia do rio Jacarecica, segundo classificação de Strahler.

3.7.2 Microdrenagem da bacia do rio Jacarecica

Do ponto de vista da microdrenagem, apenas alguns logradouros possuem sistema de coleta e transporte de águas pluviais até algum ponto de lançamento para a macrodrenagem, de maneira correta. Esses possuem pavimentação com sarjeta, bocas de lobo e rede coletora que através de dispositivos de dissipação de energia (escada) ou canaletas (figura 22) que levam o escoamento superficial captado para grotas, elementos físicos naturais de macrodrenagem.

a) b)

Figura 22 – Local onde existem escada (a) e canaleta (b) em logradouros com rede de microdrenagem urbana.

3.7.3 Regiões hidrográficas

A resolução nº 30, de 11 de dezembro de 2002, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2002) define a codificação e a metodologia para subdivisão de bacias hidrográficas. O rio Jacarecica fica na região de nível 1 denominada como Região Hidrográfica Costeira do Atlântico Norte, cujo código é representado pelo número 7.

A partir daí, cada bacia é dividida em 9 regiões hidrográficas tendo por regra de subdivisão, em primeiro lugar separar as 4 maiores áreas contribuintes do rio principal (sem contar a bacia de cabeceira), a que serão atribuídos adicionalmente ao código de nível 1, o algarismo par, crescente de jusante para montante.

Os algarismos ímpares são justamente as áreas situadas entre essas maiores bacias contribuintes, começando pela área próxima à foz do rio principal (algarismo adicional 1) até a cabeceira da bacia (algarismo adicional 9).

A forma final das sub-bacias divididas segundo a resolução nº 30 do CNRH (figura 23) passou por ajustes manuais após a discretização automatizada pela hidrografia explicitada no mapa digital, que traziam pequenas imprecisões comparado ao talvegue processado pelo ArcView 3.2a.

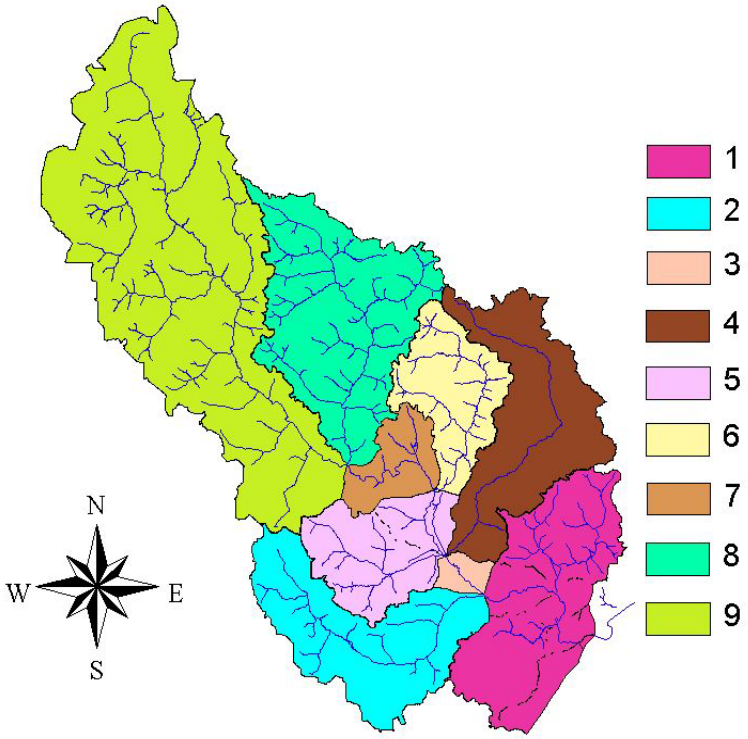


Figura 23 – Regiões Hidrográficas da bacia do rio Jacarecica, de acordo com o critério do CNRH (2002).

3.8 A Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins

3.8.1 A Bacia do Tabuleiro dos Martins

A bacia do Tabuleiro dos Martins tem uma área de aproximadamente 50 km^2, onde observam-se cotas variando de 115 m na parte mais alta, norte - noroeste, e menos de 70 m na parte mais baixa. A bacia não possui cursos d'água permanentes, e sim alguns canais preferenciais para o escoamento das águas da bacia por alguns talvegues existentes.

A urbanização da bacia encontra-se em fase acelerada, uma vez que vários loteamentos continuam sendo executados. Atualmente, existem áreas institucionais (públicas), residenciais e uma industrial, que se situa na parte mais baixa da região.

Essa região tem propensão natural para a ocorrência de cheias, por ser uma bacia fechada (endorréica), sem saída natural das águas pluviais, que se acumulam no seu interior. Portanto, é normal se esperar que ocorram enchentes anualmente na região quando da ocorrência dos períodos chuvosos, sendo que a magnitude dessas

enchentes depende das características da precipitação, como sua distribuição temporal e espacial, sua duração e intensidade, entre outros.

A impermeabilização do solo, pela ocupação urbana na bacia, reduziu a área de infiltração, ampliando o volume de escoamento superficial, provocando o aumento da freqüência e da magnitude dos problemas de inundação, devido aos intensos afluxos d'água, durante os períodos chuvosos.

Para agravar mais a situação, esse processo de urbanização não considerou o grau de risco de inundação dos diversos locais da bacia, de forma que ocorre ocupação urbana em locais de grande risco de enchentes e plantações em locais de baixo risco. O exemplo mais marcante dessa falha foi a construção do Distrito Industrial Luiz Cavalcante (DILC) na área de menor cota da bacia, ou seja, na área de maior risco de ocorrer enchentes (ver figura 24).

Figura 24 - Enchente do dia 01/06/04 na área do DILC. Fonte: O Jornal (2004).

3.8.2 Resumo do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins

Para solucionar o problema das enchentes na bacia do Tabuleiro dos Martins, notadamente no DILC, tem sido gradativamente implantado o Projeto de "*Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins"* (PMTM), que consta de bacias de detenção (ou amortização de cheias) interligadas por canais. Através de um túnel, prevê-se o esgotamento das águas retidas para o rio Jacarecica (ver figura 25).

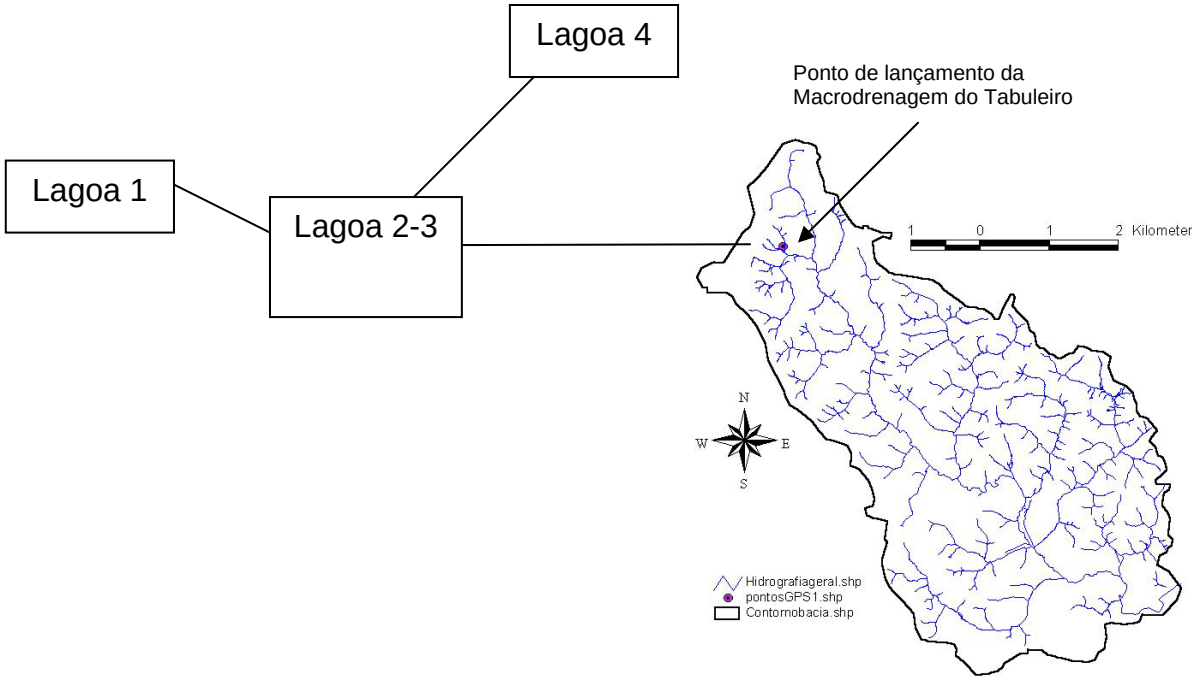


Figura 25 - Esquema do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins e local de lançamento na bacia do rio Jacarecica.

A região do Grande Tabuleiro, com exceção de algumas ruas, não possui sistema de drenagem (galerias, bocas de lobo, etc) de águas pluviais, portanto, a maioria das águas pluviais escoa naturalmente sobre a sua superfície, até a parte mais baixa da bacia, onde estão localizadas duas lagoas, inseridas na região do Distrito Industrial, Conjunto Habitacional Salvador Lyra, e no Graciliano Ramos denominadas de Lagoa 1, Lagoa 2-3[3] e Lagoa 4. A Lagoa 1 foi projetada para uma capacidade de 865.000 m^3, enquanto que a lagoa 2-3 teve projetado o seu armazenamento em 1.080.000 m^3.

A lagoa 4 foi introduzida e ligada ao sistema em caráter de emergência devido às chuvas e os problemas de alagamento ocorridos em junho de 2004 e não foi divulgada a capacidade real desta. Essa lagoa estava projetada oficialmente para receber um volume de 1.136.827 m^3.

O Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins, atualmente, totaliza três lagoas interligadas por túneis ou canais. Todo o escoamento convergirá para a lagoa 2-3, de onde parte um túnel em direção a bacia do rio Jacarecica. Parte desta

[3] Possui essa denominação no projeto em função da ampliação, a que foi submetida à lagoa situada no conjunto habitacional Salvador Lyra, chamada anteriormente de Lagoa 2.

obra já foi executada, principalmente os túneis, a ampliação da capacidade da lagoa 1 e também a execução/ampliação da lagoa 2-3, além da construção da lagoa 4.

3.9 Uso e ocupação do solo

O antropismo está presente em praticamente toda a área da bacia do rio Jacarecica, considerada como sendo do tipo peri urbana, que quer dizer na periferia da cidade.

A ocupação urbana acontece principalmente, nas partes sul e sudoeste da bacia nos topos dos morros e divisor de águas com a bacia do riacho Reginaldo e do Tabuleiro dos Martins, próximo à foz (conjuntos residenciais do bairro de Jacarecica) e no oeste e noroeste, alguns poucos logradouros ocupam também os vales e grotas.

De modo geral, a urbanização da bacia se estende por áreas residenciais, mas existem vias públicas de grande fluxo (a Via Expressa, por exemplo) que promovem o desenvolvimento do comércio no entorno dessas avenidas, verdadeiros corredores de atividades múltiplas. A figura 26 mostra parte das ruas principais e pequenas vias (trilhas ou “caminhos”) de Maceió no ano de 1998 e o contorno da bacia do rio Jacarecica.

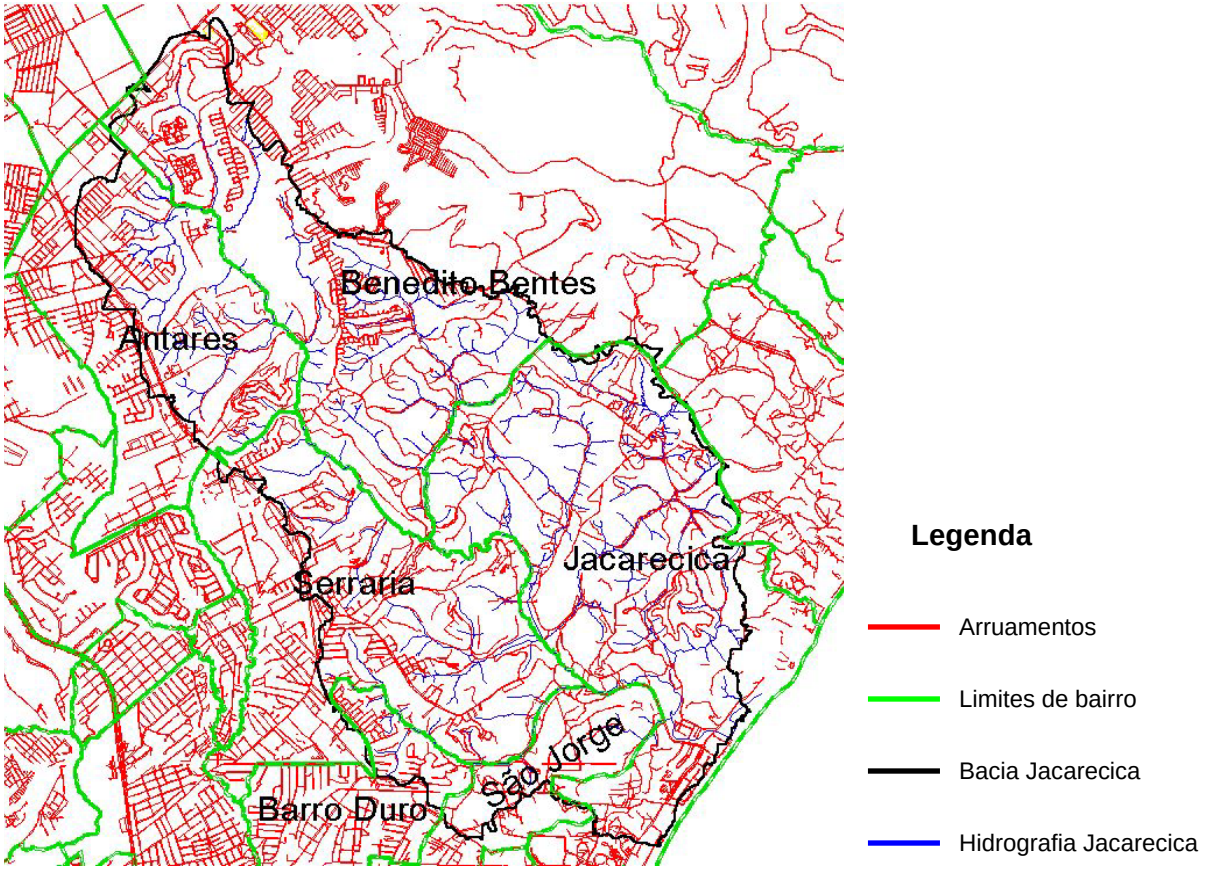


Figura 26 – Malha urbana de parte da cidade de Maceió em 1998.

Com o crescimento populacional e a alternativa barata de ocupação da periferia da cidade, a bacia do rio Jacarecica, principalmente ao oeste e noroeste (cabeceira), foi sendo urbanizada de modo inadequado e sem a devida infra-estrutura de saneamento, o que vem acarretando problemas ambientais, estes mais detalhadamente expostos no item subseqüente.

A maior parte da bacia do rio Jacarecica não está inserida num contexto de urbanização, mas ainda sim de forte influência antrópica. É o caso do uso da bacia para pequenos e médios cultivos, pecuária, extração mineral, além de propriedades privadas como sítios e chácaras.

3.10 Degradação ambiental da bacia

De acordo com o trabalho realizado por Lins (2005), o diagnóstico da bacia para os aspectos qualitativos dos recursos hídricos não atende aos requisitos

exigidos de acordo com o Decreto Estadual 3.766 de 1978[4]. Para diversas amostras, as concentrações principalmente de OD, DBO e Fósforo foram muito distantes dos limites estabelecidos até para rios de Classe 1 segundo a Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005).

A figura 27 mostra flagrantes de diferentes tipos de degradação que vêm acontecendo paulatinamente na área. A figura 27.a, refere-se aos resíduos sólidos jogados em uma grota, próximo ao colégio Santíssima Trindade em São Jorge. A figura 27.b é um reservatório improvisado de terra para resíduos do processamento de mármore e granito. A figura 27.c foi tirada a partir do conjunto Benedito Bentes 2 e mostra a grande erosão abaixo do condomínio Monte Verde, causada pela exploração de saibro. A figura 27.d revela o descaso público quanto à drenagem, manilhas abandonadas e lixo, atrapalhando o fluxo de água. A figura 27.e mostra outra área de erosão abaixo do conjunto cabo Luís Pedro 3. A figura 27.f trata do mesmo conjunto da anterior e mostra a tubulação de esgotos das casas, lançados diretamente no solo. A figura 27.g revela bancos de sedimentos, podendo representar indícios de assoreamento devido à erosão das barreiras à montante (figura 27.e) sobre o riacho das Pedras.

Ainda existem outros exemplos nas mais diversas localidades da bacia. A reportagem “Rio Jacarecica será novo Salgadinho[5]” publicada no jornal Gazeta de Alagoas de 19/09/2004 (ALMEIDA, 2004) alerta para o perigo da poluição das águas, que no canal principal visivelmente já se encontra em estado avançado. A quantidade e qualidade das águas de um rio é a resposta de todas as ações à montante numa bacia hidrográfica. No caso do rio Jacarecica a situação é preocupante. Lins (2005) afirma que por se tratar de pequena área de drenagem, vazões básicas baixas, e pequeno comprimento principal do rio, a qualquer lançamento de efluentes, é admitida a alteração do regime de qualidade da água da bacia.

---

[4] Esse decreto baseia-se nos padrões estabelecidos pela portaria Nº GM-003 e enquadra as águas do rio Jacarecica na classe 1, ou seja à época, na classe dos rios cujas águas se destinam ao abastecimento doméstico, sem ou com prévia desinfecção. Hoje, pela resolução do CONAMA Nº357 (2005), este enquadramento seria o de Classe Especial.

[5] Nome popular do riacho Reginaldo, que já há algum tempo em Maceió é sinônimo de esgoto a céu aberto.

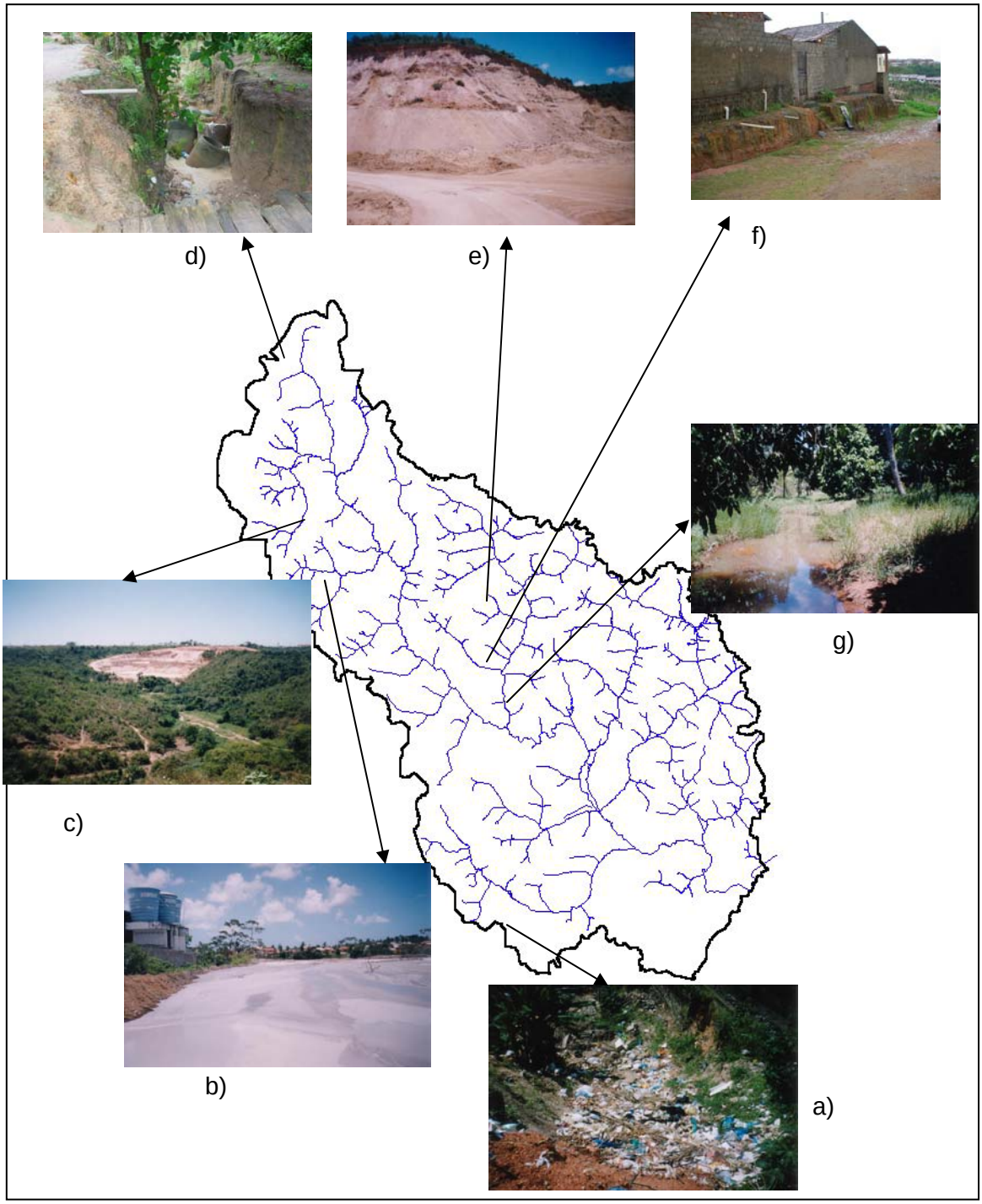


Figura 27 – Exemplos da degradação ambiental na bacia do rio Jacarecica. a) lixo em encosta; b) resíduos de processamento de minério; c) exploração de saibro; d) manilhas abandonadas e lixo; e) exploração de saibro; f) esgotos despejados na rua; g) assoreamento.

O fato de que resultados da análise da água proveniente da transposição de águas oriundas do projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins, realizados por Lins (2005) concluíram que as concentrações de Nitrito e Nitrato são as mais

altas na bacia e a de fosfato ficou muito acima dos padrões o que pode ser um indicativo de eutrofização. Essa constatação confirma a suspeita de que a água proveniente da Macrodrenagem do Tabuleiro provavelmente continha, entre outros poluentes, esgoto doméstico.

4 MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO JACARECICA

Tucci (1998) destaca alguns pontos para a escolha do modelo precipitação-vazão a ser adotado para a simulação de cenários, que foram decisivos para definição da modelagem hidrológica neste trabalho por possuírem peculiaridades que estão de acordo com as afirmações abaixo:

- Na determinação da cheia de projeto em bacias urbanas, o modelo deve ser capaz de representar áreas permeáveis e impermeáveis, permitir utilizar um intervalo de tempo pequeno (5 minutos a 1 hora);
- O modelo deve permitir alterações nos parâmetros de acordo com os cenários de urbanização;
- O melhor modelo será aquele que o usuário tiver maior sensibilidade sobre os parâmetros e sobre o efeito dos processos no hidrograma de uma bacia.

Modelos foram estudados como o Análise de Bacias Complexas - ABC6 (OLIVEIRA *et al*., 1999) e o Sistema de Informações para Gestão do Meio Ambiente - SIGMA (GRH, 2001), sendo, principalmente, as 1º e 3º ponderações acima que justificam a escolha do programa IPHS1 para as simulações realizadas e dos algoritmos do SCS para o escoamento superficial, do método Muskingum-Cunge para a propagação em rios e do método de Puls para escoamento em reservatórios.

4.1 O modelo IPHS1

Tucci *et al*. (1989) *apud* Viegas Filho *et al.* (2001) apresentaram um modelo de transformação hidrológica Precipitação-Vazão denominado IPHS1, que consiste de um sistema computacional modulado que permite ao usuário, através da seleção de alguns dos modelos de uso já consagrados na literatura, construir o seu próprio. Utilizando como base a Metodologia de Modelagem Orientada a Objetos aplicada a Sistemas de Recursos Hídricos, foi desenvolvida a versão WINDOWS encapsulando a versão DOS, através de uma interface inteligente.

O modelo IPHS1 permite representar a discretização do sistema em dois módulos básicos: bacia e rio. A sua característica modular permite a subdivisão da bacia em um grande número de sub-bacias, incluindo-se barragens e sua operação. A estrutura modular do sistema IPHS1 tem como objetivo:

a) melhor compreensão dos processos hidrológicos e dos algoritmos clássicos utilizados para sua simulação;
b) oferecer alternativas de escolha do melhor conjunto de algoritmos para uma bacia específica.

Internamente, o sistema está modulado segundo “operações hidrológicas”, oferecendo as opções de: escoamento em rios; propagação em reservatórios, transformação precipitação-vazão na bacia; entrada, soma e derivação de hidrogramas. Para cada uma dessas opções são fornecidos as características físicas e os dados históricos.

O sistema em sua versão WINDOWS é formado por três componentes: i) leitura de dados e manejo de arquivos; ii) modelos; e iii) impressão e graficação.

A primeira componente permite gerar os arquivos de informação que contém parâmetros, dados hidrológicos e/ou características físicas da bacia, de acordo com as necessidades do usuário.

A segunda componente divide-se em dois módulos: i) Módulo Bacia ; e ii) Módulo Rio. Cada módulo está formado por sub-módulos que realizam operações hidrológicas específicas. Por sua vez, cada sub-módulo apresenta como opções diferentes algoritmos de cálculo.

O módulo Bacia possui a seguinte configuração:

<u>Precipitação:</u>
- precipitação seqüencial fornecida pelo usuário;
- precipitação acumulada de projeto obtida de relações IDF.

<u>Separação de escoamento</u>:
- algoritmo de Horton modificado;
- equação de Holtan;
- método Exponencial (HEC-I);
- método de relações funcionais ou da curva número (SCS);
- índice Φ.

Escoamento superficial:

- método de Clark;
- hidrograma unitário fornecido;
- hidrograma unitário triangular do SCS;
- método de Nash modificado (HYMO).

Escoamento subterrâneo:

- reservatório linear simples;

O Módulo rio é dividido em três partes: i) escoamento em rios; ii) escoamento em reservatório; e iii) derivação de vazões.

Para o escoamento em rios propriamente tem-se as seguintes opções:

- Modelo Muskingum;
- Modelo Muskingum-Cunge Linear;
- Modelo Muskingum-Cunge Não-linear;
- Modelo Muskingum-Cunge Não-linear com planície de inundação;
- Modelo Muskingum-Cunge Não-linear adaptado para condutos fechados.

Para o escoamento em reservatório é utilizado o método de Puls, oferecendo como opções: fornecimento das características das estruturas de saída da água (orifícios, vertedores) ou diretamente a vazão de saída, operação de comportas, operação de um *by-pass* que permita a operação de reservatórios *off-line*.

O sistema oferece para a derivação de vazões, um algoritmo para simular a separação do fluxo ou divergência produzida por um canal de derivação sem estrutura de controle, neste caso a derivação pode ser diretamente em função das características dos canais, ou mediante uma percentagem fixa.

A terceira parte do sistema é a de saída que tem por finalidade apresentar os dados utilizados e os resultados numéricos e gráficos, quando solicitados.

4.2 Fundamentação teórica dos algoritmos utilizados na modelagem hidrológica

4.2.1 Transformação Chuva-Vazão - Separação do escoamento – Propagação do escoamento superficial - O Modelo do *Soil Conservation Service*

Dentre as diversas opções de algoritmos do módulo Bacia, presentes no programa IPHS1, o mais adequado para os dados de entrada disponíveis para a área de estudo foi o método da curva número do *Soil Conservation Service* (SCS).

A metodologia desenvolvida pelo *Soil Conservation Service* é largamente reconhecida e utilizada para simulações de hidrogramas de cheias e projeto de obras hidráulicas e segundo Germano & Tucci (1995), um modelo de projeto "apenas busca situações críticas prováveis de ocorrer".

As vantagens do método, segundo Pedrosa (1996), são: i) parâmetro único (*Curve Number* - CN); ii) ampla difusão, com abundante bibliografia sobre experiências de sua utilização; iii) relacionado com características da bacia. Já as principais desvantagens são: i) não considera percolação,não permitindo avaliar escoamento sub-superficial; ii) não considera a recuperação da capacidade de infiltração. A referência tomada por base para a descrição deste método foi Tucci (2001a).

A estrutura do modelo apresenta os seguintes algoritmos:

- Precipitação de projeto;
- Determinação do volume superficial;
- Propagação do escoamento na bacia.

A determinação do volume superficial ou precipitação efetiva (parcela da precipitação não infiltrada) é realizada através da seguinte expressão:

$$Q = \frac{\left(P - Ia^2\right)}{P + S - Ia} \qquad (1)$$

onde: Q – Lâmina superficial acumulada em milímetros (mm); P – Precipitação total acumulada em mm; *Ia* – Perdas iniciais; S – Armazenamento no solo.

O método adota que as perdas iniciais correspondentes a quantidade de precipitação que não gera escoamento, representam em média 20% da capacidade de armazenamento do solo, ou seja, *Ia* = 0,2S, que substituindo na equação 1, obtém-se:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2S)^2}{P + 0{,}8S} \tag{2}$$

Esta equação somente é válida para uma chuva que produza escoamento, ou seja, P > 0,2S, caso contrário, Q = 0.

Para determinar o armazenamento do solo ou a capacidade máxima da camada superior do solo (S), relaciona-se esse parâmetro com um fator *Curve Number* (CN), de valor estabelecido numa escala de 1 a 100 em função da cobertura e características de permeabilidade do solo.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{3}$$

Esse fator CN é tabelado, tratando diferentemente enfoques rurais e urbanos das bacias hidrográficas com base no tipo, cobertura e uso do solo e nas condições de umidade antecedente da bacia. Essas tabelas são largamente reproduzidas nos livros de hidrologia e neste trabalho optou-se por dispensar a sua apresentação.

Os tipos de solos são classificados em ordem crescente de acordo com a permeabilidade nos tipos A, B, C e D respectivamente e descritos na tabela 4.

Tabela 4 – Classificação hidrológica dos solos segundo o SCS

Propriedades	**Tipos de solos da classificação do SCS**			
	A	**B**	**C**	**D**
Escoamento Superficial	Baixo	Baixo	Acima da média	Alto
Infiltração	Alta	Superior a Média	Abaixo da média	Muito baixa
Solos	Arenosos profundos com pouco silte e argila	Arenosos menos profundos que o do tipo A	Argiloso pouco profundo	Argila expansiva e pouco profunda

Fonte: Tucci, 2001a.

A tabela 5 apresenta as correções para situações diferentes da média. As condições consideradas são as seguintes:

- AMC I – situação em que os solos estão secos. A precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é menor que 36 mm, na estação de crescimento e 13 mm em outro período;
- AMC II – situação média em que os solos correspondem à umidade da capacidade de campo;
- AMC III – situações em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo encontra-se saturado. No período de crescimento, as precipitações acumuladas nos cinco dias anteriores, são maiores que 53 mm e no outro maior que 28 mm.

Tabela 5 – Correção de CN para outras condições iniciais de umidade.

Valores Médios	Valores corrigidos (AMC I)	Valores corrigidos (AMC III)
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

Fonte: Tucci (2001a)

Ponce (1989) *apud* Pedrosa (1996) aconselha que para obter bons resultados com o método do SCS, é necessário utilizá-lo de forma criteriosa, com particular atenção para suas capacidades e limitações.

Germano e Tucci (1995) afirmam que a definição do parâmetro CN tem um grau importante de subjetividade devido a grande variabilidade de características de uma bacia e a importância que cada usuário dá à discretização. Os resultados de vazão máxima e volume são altamente sensíveis ao valor de CN, o que torna mais importante o cuidado na estimativa desse parâmetro, ainda mais numa bacia urbana onde a variabilidade espacial é grande e onde se conhece mais facilmente a mancha urbana e dificilmente é conhecida à área impermeável, pois que não são de valores coincidentes e conduzem a diferentes valores de CN.

A propagação do escoamento superficial através da bacia pode ser realizada através do volume gerado pela separação do escoamento, propagado até o rio através de um Hidrograma Unitário (HU).

O hidrograma unitário sintético do SCS foi desenvolvido baseado na análise de um grande número de bacias de diferentes tamanhos e localidades geográficas, tendo sido aplicado em muitos países em bacias de tamanho médio (PONCE, 1989 *apud* PEDROSA, 1996). Este hidrograma possui a forma de um triângulo (figura 28).

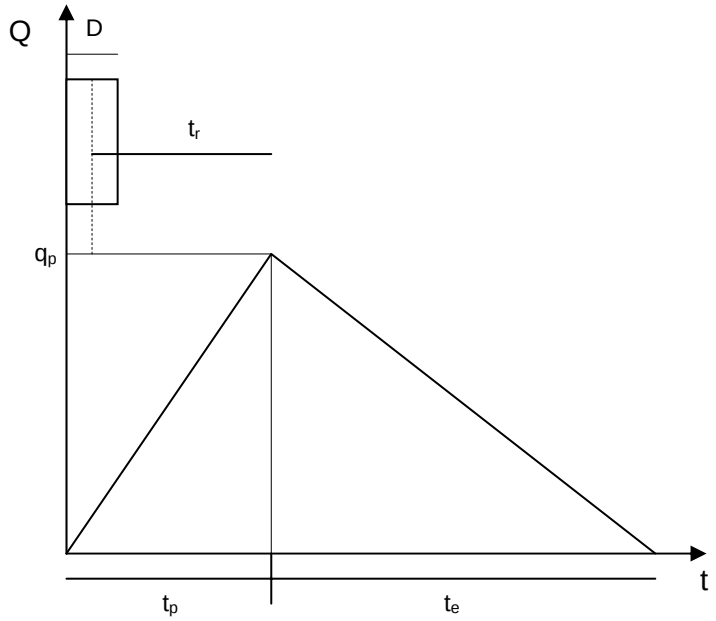


Figura 28 – Hidrograma unitário proposto pelo SCS. Fonte: Tucci, 2001a

sendo: D = duração da precipitação (h); t_r = tempo de pico da bacia (h). O tempo de pico da bacia é o tempo contado a partir do centro de massa da precipitação até que seja atingido o ápice da vazão de pico (q_p).

A área do triângulo é igual ao volume precipitado Q, conforme descreve a equação 4 abaixo,

$$\frac{q_p t_p}{2} + \frac{q_p t_e}{2} = Q \tag{4}$$

que reorganizada, resulta em

$$q_p = \frac{2Q}{t_p + t_e} \tag{5}$$

onde Q é o volume precipitado (m^3), q_p é a vazão do pico do HU (m^3/s), t_p é o tempo de ascensão do HU, contado a partir do início da precipitação até a vazão de pico do HU (h); e t_e é o tempo de recessão do HU (h). A sugestão do SCS é que se faça o t_e = 1,67 t_p (CHOW *et al*., 1988 *apud* PEDROSA, 1996), transformando a última equação em

$$q_p = \frac{2Q}{(2{,}67)t_p} \tag{6}$$

Para a precipitação de 1 cm , sobre uma bacia de área A (km^2), a equação 6, transforma-se em

$$q_p = \frac{2{,}08A}{t_p} \tag{7}$$

onde t_p é definido por

$$t_p = \frac{D}{2} + t_r \tag{8}$$

sendo D a duração da precipitação (h) e t_r é o tempo de pico da bacia (h). Em geral utiliza-se t_r = 0,6 t_c, onde t_c é o tempo de concentração (h).

Existem várias formulações empíricas de cálculo para definição do tempo de concentração e o tempo de pico de uma bacia hidrográfica. Algumas metodologias

se enquadram melhor para casos específicos. Dentre as formulações propostas na literatura, foi adotada a elaborada por Kirpich (equação 11) que se mostrou adequada para a bacia do rio Jacarecica de acordo com as justificativas que se seguem:

$$t_c = 0{,}0196.\left(\frac{L^3}{h}\right)^{0{,}385} \qquad (11)$$

onde: L - comprimento do talvegue (m) e h – diferença de cotas (m).

- Foi obtida em pequenas bacias rurais com canais bem definidos e declividades altas. É de se esperar, portanto, que forneça bons resultados nestas condições. Canais bem definidos indicam que os escoamentos ao longo de seu curso prevalecem sobre os escoamentos em superfícies. Indicam também que as bacias não são muito pequenas (provavelmente A > 2,5 km²);
- Silveira (2005), realizou um estudo comparativo de desempenhos de fórmulas de tempo de concentração. Quanto à utilização da metodologia de Kirpich, que obteve destacado desempenho, o autor afirma que: "... ela (fórmula de Kirpich) pode ser usada com bons resultados em bacias rurais de médio e grande porte..." sugerindo que tal desempenho deve-se a grande estabilidade de fatores como a rugosidade.

A fórmula do SCS (equação 12), utilizada por Pedrosa (1996) em sua caracterização da bacia do Tabuleiro dos Martins, foi desenvolvida em bacias rurais com áreas de drenagem de até 8 km². Verifica-se que o tempo de concentração é muito sensível ao valor de CN e, como este parâmetro é um indicador das condições da superfície do solo, a fórmula do SCS aplica-se a situações em que o escoamento em superfície é predominante. Essa fórmula só apresenta resultados compatíveis com as outras para CN próximos de 100 e para valores de L menores do que 10 km, o que geralmente corresponde a bacias com área de drenagem inferiores a 15 km².

Essa fórmula superestima o valor do tempo de concentração em comparação com as expressões de Kirpich e Dooge e para valores baixos de CN.

$$t_c = 0{,}43.\frac{L^{0,8}}{S^{0,5}}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7} \qquad (12)$$

Para aplicação em bacias urbanas, o SCS sugere procedimentos para ajuste em função da área impermeabilizada e da parcela dos canais que sofreram modificações. Essa adequação é realizada através de dois índices, que são: i) porcentagem do comprimento do talvegue modificado (CTM); ii) e porcentagem de área impermeável (AI). A equação 13 expressa o fator de ajuste do t_c,

$$FA = 1 - PRCT(-6789 + 335CN - 0{,}4298CN^2 - 0{,}02185CN^3)10^{-6} \qquad (13)$$

onde FA é um fator de ajuste, e PRCT é um índice de modificação da bacia. O tempo de concentração é corrigido fazendo PRCT = AI e/ou PRCT = CTM, respectivamente na equação 14. O t_c já corrigido, portanto, tomaria o seguinte valor,

$$t_c \text{ (fase urbana)} = t_c \text{ (fase rural) } FA_1\ FA_2 \qquad (14)$$

onde FA_1 é o fator de ajuste decorrente da impermeabilização do solo da bacia e FA_2 é o fator de ajuste decorrente da modificação do talvegue.

4.2.2 Propagação do escoamento em canais – Muskingum-Cunge Linear

O método de Muskingum-Cunge surgiu a partir de propostas feitas por Cunge em 1969, transformando o método Muskingum original em um modelo de difusão. Para um melhor entendimento da metodologia será explicitado primeiro o método original (Muskingum) e a seguir a formulação sugerida por Cunge, segundo Villanueva *et al*.(2004).

4.2.2.1 Método Muskingum

Esse método, desenvolvido por McCarty em 1940 no rio Muskingum, está baseado na equação de continuidade concentrada (15) e em uma função empírica

(16) que relaciona o armazenamento (S) com as vazões de entrada (I) e de saída (O) no trecho de propagação.

$$\frac{dS}{dt} = I - O \tag{15}$$

$$S = K.\left[X.I + (1 - X).O\right] \tag{16}$$

Substituindo (16) em (15) e discretizando, resulta:

$$O_2 = C_1.I_1 + C_2.I_2 + C_3 O_1 \tag{17}$$

com:

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1 \tag{18}$$

onde: O_1 e O_2 são as vazões de saída do trecho de canal ao início e ao final do intervalo de tempo; I_1 e I_2 são as vazões de entrada ao início e fim do intervalo de tempo; *K* é o parâmetro representativo do tempo de deslocamento da onda no trecho de propagação, *X* é o parâmetro que pondera a influência das vazões de entrada e saída do trecho na função de armazenamento; C_1, C_2 e C_3 são coeficientes resultantes da discretização que dependem de *K, X* e Δt.

4.2.2.2 Método Muskingum-Cunge

Os parâmetros *K* e *X* para este método podem ser estimados com base nas características físicas do trecho de propagação e com base na discretização, utilizando as seguintes equações:

$$X = 0{,}5 - \frac{q}{2.S_0.c.\Delta_x} \tag{19}$$

$$K = \frac{\Delta_x}{c} \tag{20}$$

onde: q é a vazão específica por unidade de largura do canal; S_0 é a declividade de fundo do canal; c é a celeridade da onda.

A celeridade da onda é obtida pela expressão:

$$c = \frac{1}{B} \cdot \frac{dQ}{dh} \tag{21}$$

Utilizando a equação de Manning (canais prismáticos) para calcular a vazão total Q, a celeridade pode ser estimada por:

$$c = \frac{5}{3} \cdot \frac{S_o^{\,0,3} . q^{0,4}}{n^{0,6}} \tag{22}$$

O modelo IPHS1 permite a utilização linear e não linear desse método com contribuição lateral distribuída. Na aplicação linear é necessário definir uma vazão específica de referência q_o, (geralmente adotada como 2/3 da vazão específica de pico do hidrograma de montante). Com q_o e as características físicas do canal, o modelo estima a celeridade média da onda de cheia com a equação (22). Os parâmetros K e X constantes são estimados com as equações (19) e (20) uma vez adotada a discretização temporal e espacial.

A principal limitação deste método é que os efeitos de jusante sobre o escoamento de montante não são considerados.

4.2.3 Escoamento em reservatório

Para modelagem do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins (PMTM), é necessário que haja a simulação dos reservatórios de detenção de cheias. O método de Puls foi integrado ao modelo IPHS1 e sua descrição será feita a seguir, segundo Villanueva *et al*. (2004).

O método de Puls para escoamento em reservatório está baseado na equação de continuidade concentrada (15), sem contribuição lateral; e a relação da vazão de saída do reservatório em função do armazenamento O=f(S) (considerando a linha de água do reservatório horizontal). Discretizando a equação da continuidade (15) num intervalo Δ_t:

$$\frac{S_2}{\Delta_t} + 0{,}5.O_2 = \frac{S_1}{\Delta_t} - 0{,}5.O_1 + 0{,}5(I_1 + I_2) \tag{23}$$

onde I_1 e I_2 são as vazões de entrada ao reservatório ao início e ao final do intervalo de tempo; O_1 e O_2 são as vazões de saída ao início e ao fim do intervalo de tempo; S_1 e S_2 são os armazenamentos ao início e ao final do intervalo de tempo.

O termo da direita da equação (acima) é conhecido ao início de cada intervalo de tempo. Para conhecer O_2 é necessário utilizar a relação:

$$O_2 = f.\left(\frac{S}{\Delta_t} + 0{,}5.O_2\right) \tag{24}$$

construída a partir da relação O = f(S) conhecida.

O modelo permite que a relação (24) seja calculada a partir da relação cota-volume do reservatório e das características das estruturas de saída de água (coeficiente de descarga de vertedor ou descarregador de fundo, largura e cota da crista do vertedor, etc.).

Alternativamente, o IPHS1 simula a operação de diferentes estruturas extravasoras. Nesse caso, deve-se fornecer o número de operações previstas (no máximo 10), o intervalo de tempo que produz as alterações e a relação O= f(S) válida para cada movimentação.

4.3 Precipitação

Na quantificação das chuvas e sua variabilidade temporal (intensidades), utilizou-se a equação baseada na relação Intensidade-Duração-Frequência (curvas I-D-F) de chuvas intensas proposta por Pfafstetter (1957) para a cidade de Maceió. O uso dessa equação é válido para tempos de duração (t) no intervalo de 5 minutos até 6 dias e tempo de retorno (Tr) de 0,2 até 100 ou mais anos.

Foram analisadas as durações estimadas dos eventos de 60 e 90 minutos (tabelas 6 e 7), discretizados em intervalos de 5 minutos. Essa escolha deve-se ao

fato de que as respostas da modelagem hidrológica a partir dessa precipitação serem significativas para a análise do efeito da urbanização sobre o escoamento superficial da bacia.

Outra simulação adotou o evento de 210 minutos, que corresponde aproximadamente ao tempo de concentração da bacia do rio Jacarecica como um todo. Essa variável foi calculada por Kirpich com o resultado de 209 minutos, até o exutório adotado.

- Nas simulações foram adotados os Tr's de 5, 10 e 25 anos, devido às características e os riscos de danos por inundação na bacia do rio Jacarecica

Tabela 6 – Precipitação de 60 minutos discretizada a cada 5 minutos para a cidade de Maceió/AL

Tempo (min)	**TR 5 anos**	**TR 10 anos**	**TR 25 anos**
	P(mm)	**P(mm)**	**P(mm)**
0 – 5	2,89	3,66	4,66
5 – 10	2,97	3,67	4,56
10 – 15	3,18	3,80	4,62
15 – 20	3,56	4,14	4,93
20 – 25	4,91	5,55	6,41
25 – 30	9,13	9,84	10,87
30 – 35	6,16	6,79	7,67
35 – 40	4,02	4,59	5,37
40 – 45	3,26	3,86	4,67
45 – 50	3,05	3,71	4,56
50 – 55	2,92	3,65	4,59
55 - 60	2,88	3,69	4,74
Precipitação total	48,93	56,95	67,65

Tabela 7 – Precipitação de 90 minutos discretizada a cada 5 minutos para a cidade de Maceió/AL (continua).

Tempo (min)	**TR 5 anos**	**TR 10 anos**	**TR 25 anos**
	P(mm)	**P(mm)**	**P(mm)**
0 – 5	1,28	1,53	1,89
5 – 10	1,42	1,69	2,07
10 – 15	1,60	1,90	2,31
15 – 20	2,89	3,66	4,66
20 – 25	2,97	3,67	4,56
25 – 30	3,18	3,80	4,62
30 – 35	3,56	4,14	4,93
40 – 45	9,13	9,84	10,87
45 – 50	6,16	6,79	7,67
50 – 55	4,02	4,59	5,37
55 – 60	3,26	3,86	4,67
60 – 65	3,05	3,71	4,56
65 – 70	2,92	3,65	4,59

Tabela 7 – Precipitação de 90 minutos discretizada a cada 5 minutos para a cidade de Maceió/AL (continuação).

Tempo (min)	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 25 anos
	P(mm)	P(mm)	P(mm)
70 – 75	2,88	3,69	4,74
75 – 80	1,50	1,79	2,18
80 – 85	1,35	1,61	1,97
85 - 90	1,22	1,47	1,81
Precipitação total	57,30	66,94	79,88

O IPHS1 realiza o reordenamento automático da posição do pico da tormenta de projeto por blocos alternados e no quarto quartil, na metodologia do Bureau of Reclamation (descrita em Tucci, 2001a) podendo, então, ser gerados hietogramas com 2 picos. A metodologia dos blocos alternados consiste, segundo Zahed Filho e Marcellini (1995) *apud* Pedrosa (1996), do seguinte:

- Definida a duração e o intervalo da precipitação usa-se as curvas Intensidade-Duração-Freqüência (i-d-f), para determinar a intensidade da chuva para cada intervalo e conseqüentemente as lâminas precipitadas (acumuladas);
- Determina-se os incrementos das lâminas acumuladas em cada intervalo;
- Rearruma-se os incrementos de forma que o pico da precipitação fique a 25, 50 ou 75% da duração da tormenta e, em seguida, os blocos restantes são dispostos em ordem decrescente, de forma alternada (direita-esquerda) em relação ao pico da tormenta.

4.4 Discretização da bacia

A partir da divisão da bacia do rio Jacarecica em regiões hidrográficas, segundo a Resolução nº 30 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2004) (CNRH, 2004), foi realizada nova subdivisão para que a precisão resultante de um maior detalhamento para a determinação das vazões seja privilegiada, principalmente em áreas onde a urbanização aparece de modo mais contundente. O principal critério adotado para essa nova subdivisão foram os encontros dos talvegues e afluentes das grotas com o canal principal.

Então, com a finalidade de uma melhor caracterização do escoamento superficial, a bacia do rio Jacarecica foi subdividida em 32 micro-bacias (figura 29), de acordo com características morfológicas. Os nomes dessas micro-bacias foram

atribuídos pelo autor desta pesquisa (com exceção das micro-bacias da Caveira, do Riacho das Pedras e do Riacho São João), de acordo com sua localização em relação aos bairros e conjuntos importantes no local (Miramar, Serraria 1, Serraria 2, Ecopark, Antares, Benedito Bentes, Moacir Andrade, Conjunto Jacarecica), ocupação dispersa de sítios ou chácaras (Sítios e Recantos) e com referência à principal avenida da bacia (Via Expressa 1, 2, 3 e 4).

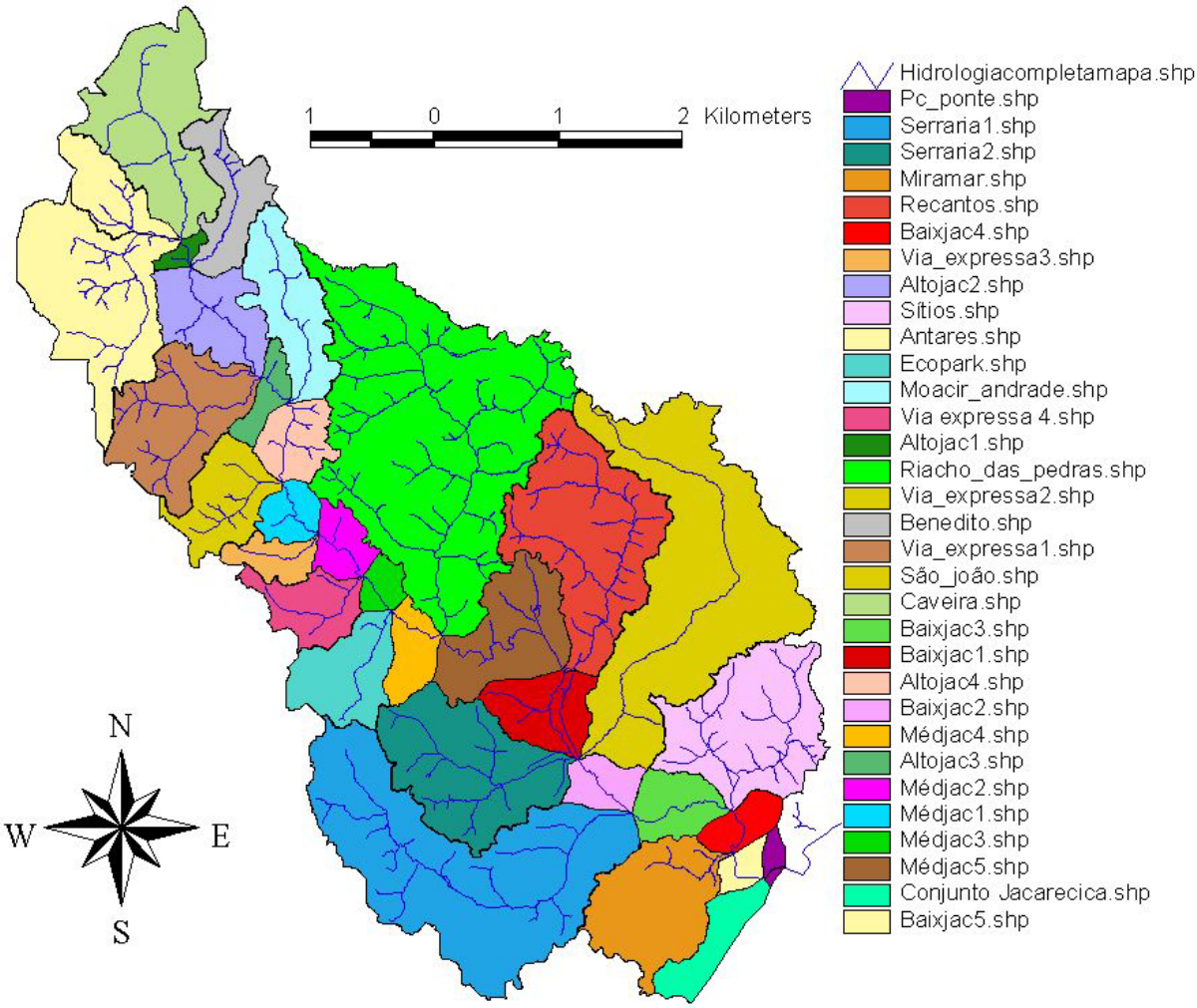


Figura 29 – Discretização das micro-bacias do rio Jacarecica

As micro-bacias que se situam como área contribuinte do canal principal foram consideradas e subdivididas em alto, médio e baixo Jacarecica e subdivididas em ordem numérica da maior para a menor cota. Dentre estas há uma última bacia que foi denominada de PC Ponte (PC: Ponto de Controle), por conta do exutório considerado para as simulações ser sob a ponte da rodovia AL 101 em Jacarecica (figura 30).

Figura 30 – Ponte na AL 101 sobre o Rio Jacarecica em Maceió, considerada como exutório para o estudo.

As principais informações da morfologia de cada micro-bacia estão na tabela 8, cujas características de comprimentos de talvegues e declividades foram obtidas do mapa digital (MACEIÓ, 1998).

Tabela 8 – Caracterização morfológica das micro-bacias do rio Jacarecica.

Micro-bacia	Região Hidrográfica	Área de drenagem (Km^2)	% da área total	Talvegue (m)	Declividade média global (m/Km)
Conjunto Jacarecica	1	0,32	1,27	682	4,40
Miramar	1	0,88	3,51	1268	43,38
Serraria 1	2	2,65	10,56	3172	20,49
Serraria 2	5	1,23	4,90	1978	32,86
Ecopark	9	0,54	2,15	1190	46,22
Via expressa 4	9	0,38	1,51	1080	55,55
Via expressa 3	9	0,2	0,80	757	79,26
Via expressa 2	9	0,51	2,03	1185	50,63
Via expressa 1	9	0,95	3,78	1689	33,64
Antares	9	1,72	6,85	2459	40,65
Caveira	9	1,19	4,74	1896	25,89
Benedito Bentes	9	0,47	1,87	1096	40,65
Moacir Andrade	9	0,66	2,63	1541	42,42
Riacho das Pedras	8	3,74	14,90	3840	16,93
Recantos	6	1,55	6,18	2263	28,72
São João	4	2,78	11,08	3214	21,78
Sítios	1	1,22	4,86	1880	36,17
Alto 1	9	0,07	0,28	338	5,77
Alto 2	9	0,56	2,23	1312	7,34
Alto 3	9	0,18	0,72	620	2,32
Alto 4	9	0,32	1,27	885	5,65
Médio 1	9	0,20	0,80	620	8,06
Médio 2	9	0,23	0,92	598	2,51
Médio 3	9	0,13	0,52	512	2,93
Médio 4	9	0,26	1,04	774	1,55
Médio 5	7	0,79	3,15	1505	3,46
Baixo 1	5	0,45	1,79	1077	4,64
Baixo 2	3	0,22	0,88	702	2,14
Baixo 3	1	0,33	1,31	895	1,68
Baixo 4	1	0,20	0,80	490	2,04
Baixo 5	1	0,11	0,44	416	2,40
Pc Ponte	1	0,06	0,24	331	2,42

4.5 Estimativa do *Curve Number* – SCS

No modelo hidrológico para escoamento superficial realizado pelo *Soil Conservation Service* (SCS), a variável CN responde sozinha, num único valor, pela questão do ciclo hidrológico terrestre ligado ao tipo, uso e ocupação do solo numa bacia hidrográfica. Existe também na definição desse valor, uma certa subjetividade além do que já foi exposto no item 4.2.1 sobre o problema da sensibilidade desse parâmetro para o resultado da modelagem, portanto para se estimar essa parâmetro, deve-se buscar o maior número de informações possíveis, com a finalidade de minimizar erros.

Com essa intenção foram realizadas visitas de campo em 2004, para avaliar a área impermeabilizada (levando em consideração a pavimentação das ruas), verificar o tipo de uso e ocupação do solo e localizar espacialmente, através de coordenadas geográficas, as áreas consideradas urbanizadas e verificar também as condições de cobertura vegetal das áreas peri urbanas e rurais.

Esses levantamentos de campo, porém, só dizem respeito ao CN para o cenário em 2004. A definição dos parâmetros para os anos de 1988 e o prognóstico para 2015, além de outros detalhes, serão explicados no decorrer dos sub-itens 6.3.1 e 6.3.2 seguintes, que abordam respectivamente os aspectos urbanos e rurais para a definição do CN para cada micro-bacia.

As áreas urbanas e rurais foram levantadas de acordo com as possibilidades oferecidas pelo uso de fotografias, equipamento de *Global Positioning System* (GPS), mapas e por inspeções de campo, já que não foi possível a utilização de imagens de satélite apropriadas para esse tipo de estudo.

4.5.1 Enquadramento dos Solos

A partir do mapa pedológico, buscou-se uma correlação entre a pedologia encontrada e a classificação hidrológica dos solos proposta pelo *Soil Conservation Service* (SCS) com localização e tipologia descritos.

Araújo (2001) realizou essa correlação para analisar o escoamento superficial na fazenda Nossa Senhora do Rosário em Pequeira-PE, partindo da premissa de que solos que apresentam as mesmas características, quando sujeitos a chuvas intensas respondem de forma similar no escoamento superficial.

O trabalho de Braga (2001) também propôs uma relação entre a pedologia local e o enquadramento realizado pelo SCS para a bacia do rio Tapacurá em Pernambuco.

A correlação para a bacia do rio Jacarecica foi realizada através da comparação feita entre a pedologia e a classificação hidrológica realizada nos dois trabalhos, assegurando atribuir as classes de modo a combinar situações semelhantes com as referências. A figura 31 mostra os tipos de solo da bacia do rio Jacarecica, de acordo com a classificação do SCS.

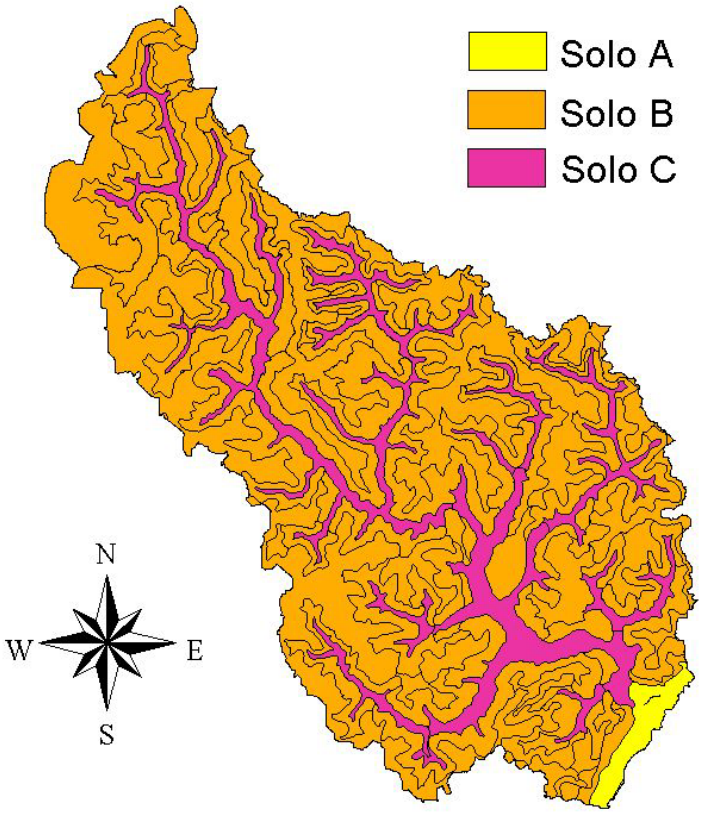


Figura 31 – Tipos de solos da bacia do rio Jacarecica classificados segundo o SCS.

Na modelagem foi utilizada a condição de umidade antecedente do solo descrita como AMC II, em que a umidade dos solos corresponde à umidade da capacidade de campo. Optou-se por tal escolha devido a ser essa umidade representar uma situação intermediária.

4.5.2 CN urbano

Com o auxílio de *Global Positioning System* (GPS)[6] de navegação e caderneta de campo, foram localizados e levantados 90 tipos diferentes de ocupação urbana na bacia, caracterizados quanto a aspectos de drenagem e impermeabilização da área, expressos na tabela de valores para CN's urbanos.

O uso dos GPS e-trex e e-trex Ventura, do fabricante Garmin, pode ser considerado adequado para os levantamentos, tendo em vista o nível de precisão exigida neste tipo e condições de trabalho.

Assim, a cada caracterização diferente de ocupação (diferentes loteamentos, conjuntos habitacionais, vilas, etc.) foi atribuído um valor de CN sendo realizadas considerações de acordo com o padrão das edificações e pavimentação das ruas.

Após estimativa da área final, pode acontecer que uma unidade de ocupação (um loteamento, por exemplo) possua território em mais de uma micro-bacia. Neste caso é realizada a partição da área correspondente a cada uma das micro-bacias da qual pertence o logradouro em questão.

Os divisores da bacia e das micro-bacias foram identificados no mapa digital e sua caracterização foi realizada através das informações do levantamento de campo realizado, que caracteriza a ocupação para o cenário em 2004, e estão descritos como complementos de ocupação no anexo B.

Objetivando uma melhor análise da influência do aumento da urbanização sobre o escoamento superficial na bacia em estudo, foi realizada comparação com a situação em 1988 e foi realizada uma simulação de cenário para 2015.

No caso da avaliação do cenário da ocupação urbana em 1988, foram utilizadas fotografias aéreas (figura 32) da região na época cedidas para o estudo pelo Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (ALAGOAS, 1989). Essas fotografias em preto e branco foram executadas pela AERODATA S.A. - Engenharia de Aerolevantamentos e originalmente pertenciam ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA – ALAGOAS, na escala 1:17500, com distância focal de 153,176m numa câmara Zeiss RmK

---

[6] O GPS é um sistema de satélites controlado pelo Departamento de Defesa Americano, a princípio desenvolvido para a navegação e posteriormente estendido ao posicionamento geodésico. Esse sistema fornece sinais de rádio oriundos de satélites, especialmente codificados, que podem ser processados, permitindo o cálculo, no receptor, da posição, velocidade e tempo.

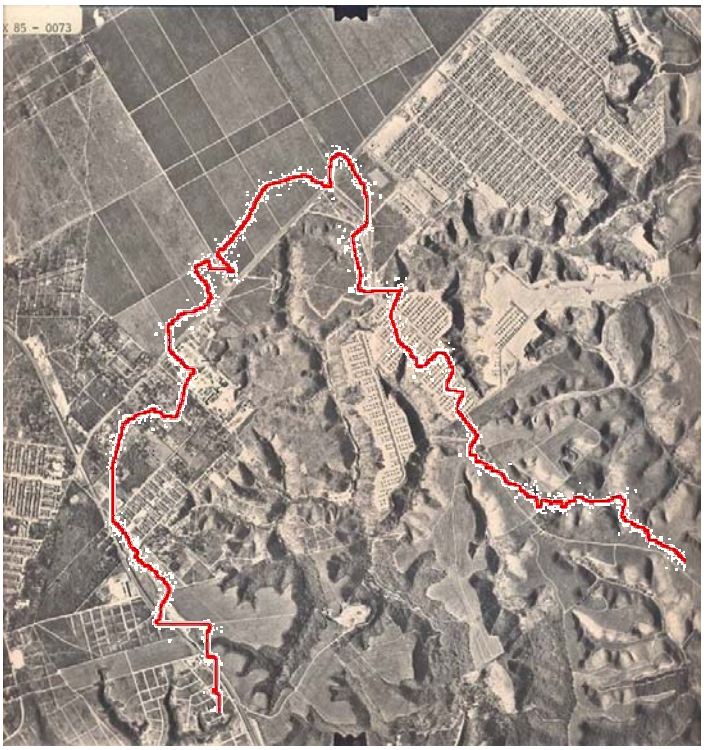


Figura 32 – Fotografia aérea da cidade de Maceió com detalhe do contorno de parte da bacia do rio Jacarecica. Fonte: ALAGOAS, 1989.

De um modo geral a configuração dos locais urbanizados em 1988 foi obtida subtraindo-se do mapa as áreas urbanizadas levantadas em 2004 que visualmente não existem na fotografia aérea (figura 33), mantendo, no entanto, a área urbana coincidente como inalterada.

a) b) c)

Figura 33 – Obtenção da malha urbana em Arcview 3.2a para 1988. a) Ocupação levantada em 2004; b) Fotografia aérea de 1988 (Fonte: ALAGOAS, 1989); c) Ocupação estimada para 1988 em Arcview 3.2a.

4.5.3 CN rural

A caracterização das áreas foi realizada levando em consideração os registros fotográficos das visitas de campo. Os pontos de onde foram efetuadas as fotografias estão georeferenciados e possuem um escopo total de 118 registros fotográficos (figura 34) que capturam principalmente a ocupação das encostas.

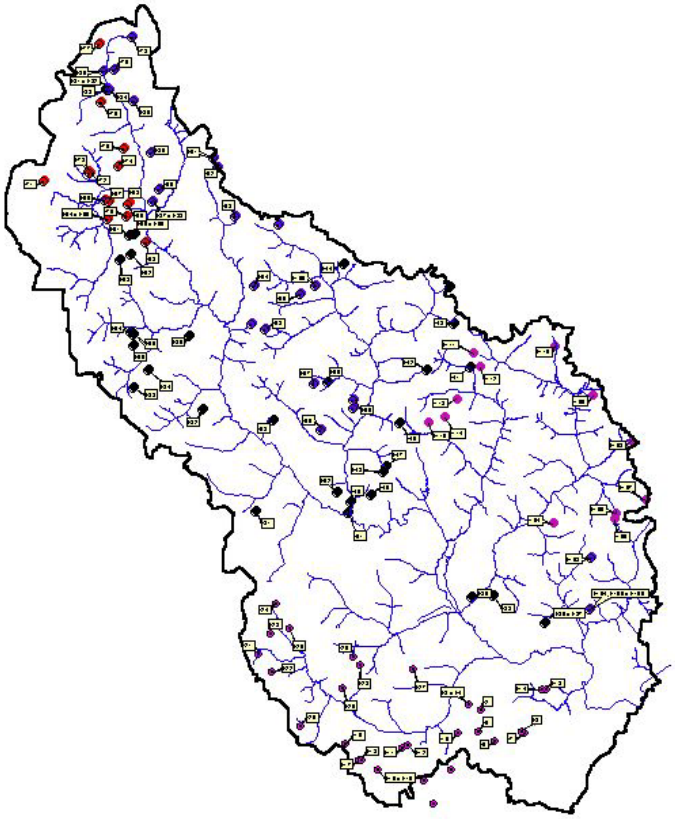


Figura 34 – Localização na bacia de pontos onde foram realizadas fotografias.

Na figura 35 está um exemplo, onde a partir da localização espacial do ponto de onde foi realizada a fotografia e da direção relacionada, foi possível reconhecer no mapa da área fotografada. A partir dessa informação visual, é escolhido e localizado o tipo de cobertura vegetal da área focalizada e assim transferida para o mapa temático de uso e ocupação do solo para as áreas rurais.

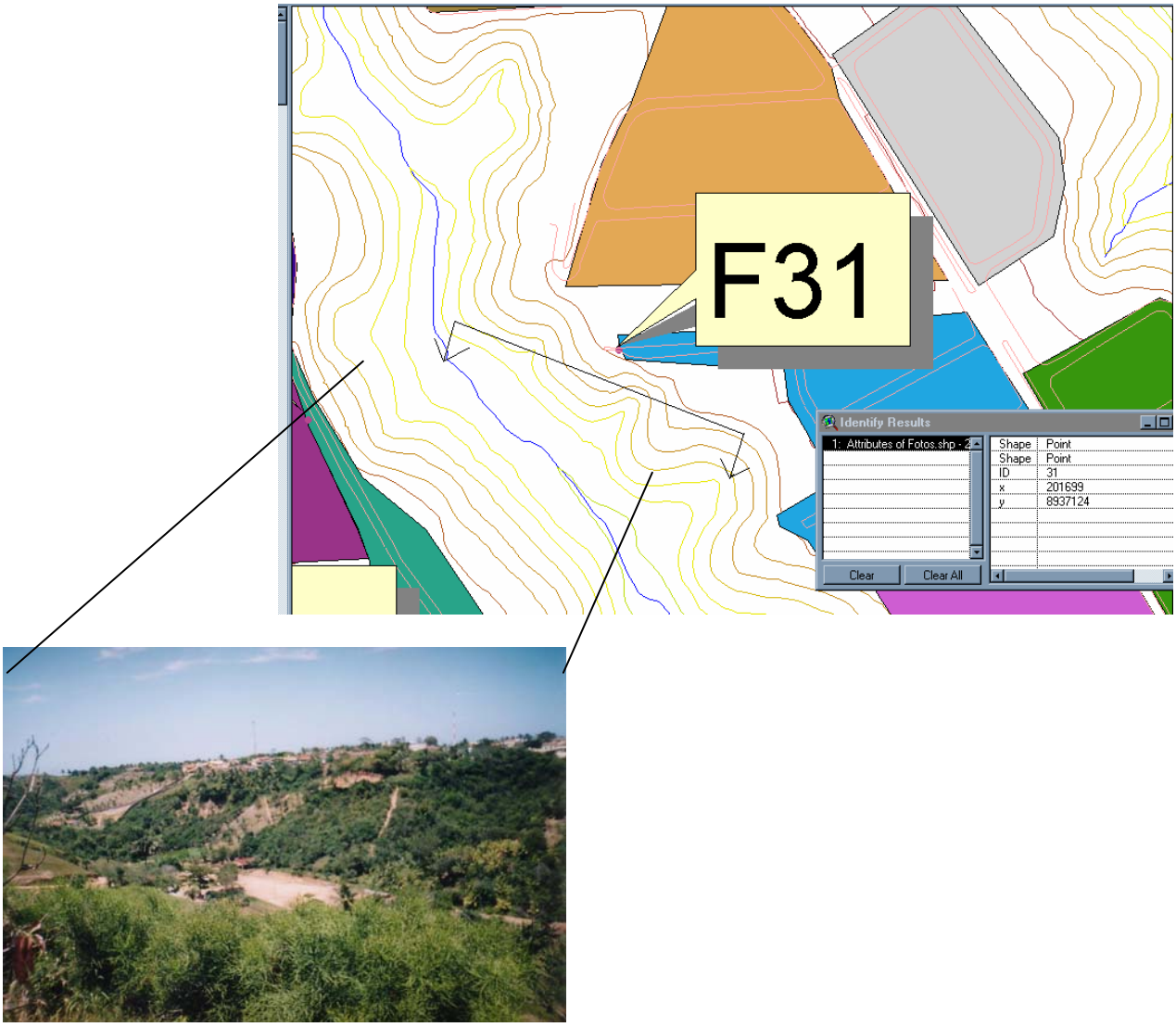


Figura 35 – Mapa em ArcView e fotografia F31 de encosta em talvegue da microbacia Serraria 1, vista Sudoeste, obtida das coordenadas UTM (201699;8937124).

A figura 35 também revela o nível de dificuldade no enquadramento da vegetação mostrada na fotografia (considerado no caso como capoeira e policultura), o que leva à conclusão de que este é um processo laborioso e aproximativo, diante da extensão territorial da bacia e da variabilidade das condições de cobertura vegetal existentes.

4.6 Tempo de concentração

A estimativa do tempo de concentração foi realizada de acordo com a formulação de Kirpich descrita em 4.2.1, e adaptada para áreas urbanas através da proposição de correção do SCS. Na aplicação, o parâmetro PRCT da equação 13 representa apenas a porcentagem de área impermeável, pois, nas micro-bacias, a modificação do talvegue não foi considerada, uma vez que nos canais não houve alterações que possam ser significativas.

O cálculo da porcentagem de área impermeável foi realizado através da adaptação da tabela do SCS, para o CN urbano residencial (predominante nas áreas urbanas).

4.7 Propagação no canal principal

Pela forma de discretização das micro-bacias, o rio Jacarecica teve seu canal principal dividido em 15 sub-trechos. As descrições das características do canal principal referentes à altura, largura e rugosidade foram adaptados a partir do trabalho de Lins (2005) e estão na tabela 9. As demais variáveis foram estimadas a partir do mapa digital.

A propagação do escoamento foi considerada e aplicada na modelagem através do método Muskingum-Cunge Linear (item 4.2.2.2). Objetivando resultados utilizando diferentes metodologias de cálculo, também foram realizadas simulações através do modelo Muskingum-Cunge com planície de inundação, mas estas apresentaram problemas computacionais e a desejável comparação ficou inviabilizada.

Tabela 9 - Caracterização dos sub-trechos do canal principal do rio Jacarecica (continua).

Trecho	Altura (m)	Largura (m)	Comp. (m)	Cota de montante (m)	Cota de jusante (m)	Rugosidade
Alto 1	0,75	2,20	260,00	33,50	31,50	0,03
Alto 2	0,75	2,20	1363,30	31,50	24,50	0,03
Alto 3	1,00	5,00	432,00	24,50	22,50	0,04
Alto 4	1,00	5,00	750,00	22,50	19,50	0,04
Médio 1	1,00	5,00	620,00	19,50	17,50	0,04

Tabela 9 - Caracterização dos sub-trechos do canal principal do rio Jacarecica (continuação).

Trecho	Altura (m)	Largura (m)	Comp. (m)	Cota de montante (m)	Cota de jusante (m)	Rugosidade
Médio 2	1,00	5,00	598,00	17,50	14,80	0,04
Médio 3	1,00	5,00	370,00	14,80	13,50	0,04
Médio 4	2,00	8,00	530,00	13,50	12,00	0,04
Médio 5	2,00	8,00	1670,00	12,00	7,00	0,04
Baixo 1	2,00	8,00	850,00	7,00	5,00	0,05
Baixo 2	2,00	10,00	710,00	5,00	4,40	0,04
Baixo 3	3,00	15,00	970,00	4,40	3,20	0,04
Baixo 4	3,00	15,00	490,00	3,20	2,80	0,04
Baixo 5	3,00	15,00	416,00	2,80	2,30	0,04
PC Ponte	3,00	15,00	211,00	2,30	1,80	0,04

4.8 Seções de interesse

Os resultados das simulações hidrológicas foram tomados para 3 (três) seções de interesse ao longo do canal principal (ver figura 36), cada qual tem a sua justificativa técnica para ser analisada.

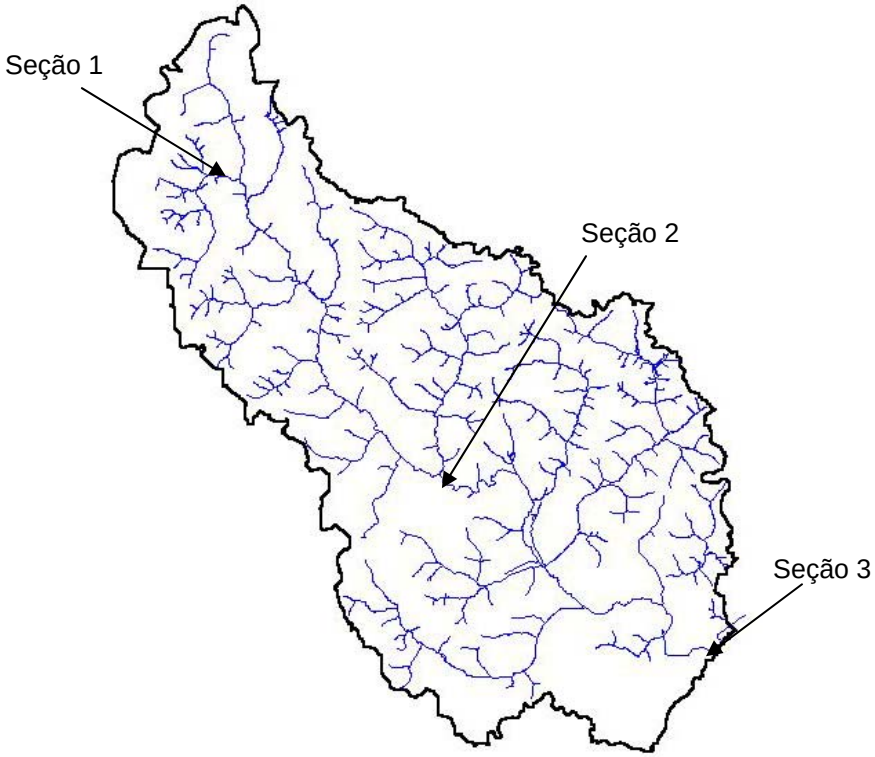


Figura 36 – Localização das seções de interesse para análise da vazão no rio Jacarecica.

A seção de interesse número 1 (aqui chamada simplesmente de seção 1) é considerada como a confluência das micro-bacias Antares e Caveira, duas das regiões onde mais houve crescimento da variável CN durante o intervalo de tempo proposto para o estudo e ainda sem o efeito do amortecimento do escoamento através do canal principal do rio, que apenas foi considerado a partir desse ponto.

Na desembocadura do riacho das Pedras (figura 37), principal afluente do rio Jacarecica, foi considerada a seção de interesse número 2 (seção 2). Tal escolha deve-se a localização espacial do ponto (próximo ao centro da bacia), a importância da micro-bacia Pedras no contexto hidrológico do rio Jacarecica (maior área de contribuição com exutório no canal principal), e também por ser uma área em acelerada expansão agrícola, urbana e de extração mineral, causando impactos ambientais negativos no seu curso d'água.

Figura 37 – Desembocadura do riacho das Pedras considerada seção de interesse para as simulações.

O ponto onde está situada a seção de interesse número 3 (seção 3) é justamente sob a ponte da rodovia AL 101 sobre o rio Jacarecica. Este é o principal local de risco de prejuízos por enchentes em toda a bacia. A ocupação urbana existente à montante da ponte ao longo da margem, tanto comercial como residencial, já foi vítima das cheias, com perda de bens materiais e interrupção do trânsito local (figura 38).

Figura 38 – Situação próxima à seção 3, devido às chuvas ocorridas em 01/06/2004.

4.9 Modelagem com a transposição das águas pluviais do Tabuleiro dos Martins

Foram realizadas algumas simulações utilizando o IPHS1 e dados referentes ao Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins (PMTM) e seu impacto nas seções de interesse na bacia do rio Jacarecica. Para tanto foram utilizados os estudos realizados pela Secretaria de Infra-estrutura do Estado de Alagoas (SEINFRA) referentes à implantação do PMTM (ALAGOAS, 1998, 1999) e também dados referentes à modelagem realizada por Pedrosa (1996), já que o documento da SEINFRA não fornece a quantidade de dados adequados sobre as sub-bacias envolvidas.

Na figura 39 está representada a rede de fluxo utilizada para essa modelagem.

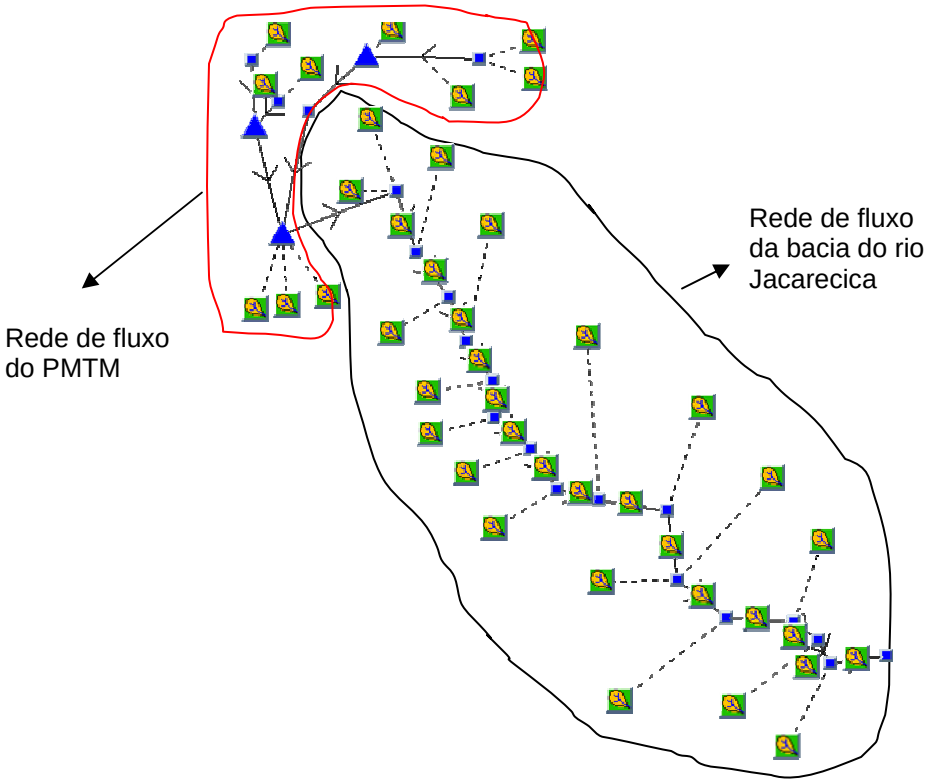


Figura 39 – Rede de fluxo para as simulações considerando o Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins

Com o funcionamento do PMTM, o cenário de simulação na bacia do rio Jacarecica, foi o de 2015, cenário de maior urbanização adotada nas simulações, a fim de analisar condições mais críticas. Infelizmente não existem dados concretos sobre as estruturas do PMTM para a situação em que atualmente vem operando.

4.9.1 Precipitação

Além dos eventos de projeto já citados, ainda foi utilizada uma precipitação de 2880 minutos (2 dias) para 25 anos de retorno, com discretização de 15 minutos, com a mesma formulação proposta por Pfafstetter (1957). Os dados concernentes a essa precipitação serão omitidos em função do grande número de valores envolvidos (200 intervalos).

4.9.2 Discretização da bacia, parâmetro *Curve-number* (CN) e tempo de concentração

A bacia contribuinte para o PMTM foi discretizada em 10 sub-bacias. À época, Pedrosa (1996) atribuiu um prognóstico do uso e ocupação do solo para a região, para o ano 2000, segundo a caracterização do SCS.

Os tempos de concentração (Tc) foram calculados conforme metodologia do SCS (TUCCI, 2001a) e corrigidos por Pedrosa (1996) devido à urbanização para a situação prevista para o ano 2000, o que foi mantido para as situações simuladas.

A caracterização fisiográfica das bacias está colocada na tabela 10, juntamente com o índice CN, também uma estimativa para o ano 2000, de acordo com Pedrosa (1996), e os tempos de concentração com a nomenclatura e dados originais.

Tabela 10 – Características fisiográficas das sub-bacias contribuintes para o Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins, com CN médio e tempos de concentração correspondentes.

Sub-bacias contribuintes	Área (Km^2)	Comprimento do Talvegue (Km)	Declividade (m/m)	CN Médio	Tc (h)
9	3,40	1,98	0,010	74	1,02
8	5,10	2,90	0,009	74	1,43
7	5,88	2,40	0,014	74	1,06
6	1,92	1,83	0,012	75	0,91
5	3,15	3,33	0,006	72	1,82
4	3,90	2,50	0,005	74	1,55
3A	1,24	1,20	0,007	74	0,81
3B	3,24	2,70	0,006	74	1,53
2	1,82	1,70	0,006	75	1,11
1	11,70	3,05	0,008	76	1,54

Fonte: Pedrosa, 1996.

4.9.3 Canais e túneis de escoamento

Pedrosa (1996) sugeriu uma rede de canais interligando as sub-bacias entre si e com os reservatórios. Devido a problemas na modelagem, a configuração

proposta foi adaptada, ficando apenas alguns canais originais, sendo outros substituídos como contribuição direta das sub-bacias a pontos de controle (no caso, interseções ou reservatório).

Os túneis de interligação entre os reservatórios e o túnel de desemboque para a bacia do rio Jacarecica foram considerados tais como na versão mais nova que se dispunha (ALAGOAS, 1999).

Para os cálculos dos canais, que transportam o escoamento das sub-bacias até os reservatórios, foi utilizada a metodologia de propagação de Muskingum-Cunge Linear, e para as interligações dos reservatórios e desemboque a de Muskingum-Cunge não-linear para condutos fechados, já que o escoamento destes é realizado por túneis de concreto, considerados circulares.

Nas tabelas 11 e 12, estão descritas as características físicas utilizadas na modelagem dos canais e túneis das sub-bacias contribuintes.

Tabela 11 – Características dos canais entre as sub-bacias e os reservatórios considerados para a modelagem.

Canal	**Largura (m)**	**Profundidade (m)**	**Comprimento (m)**	**Declividade (m/m)**	**Rugosidade dos sub-trechos**
C1	3,00	1,50	1130	0,0020	0,016
C2	3,00	1,50	550	0,0020	0,016
C3	4,00	1,70	1000	0,0017	0,016

Fonte: adaptado de Pedrosa, 1996.

Tabela 12 – Características dos túneis entre os reservatórios e túnel de desemboque considerados para a modelagem.

Canal	**Diâmetro (m)**	**Comprimento (m)**	**Declividade (m/m)**	**Rugosidade dos sub-trechos**
T1	1,00	800	0,009	0,014
T2	1,70	450	0,003	0,014
T3	2,80	1100	0,003	0,014
TD	3,00	2580	0,005	0,014

Fonte: adaptado de ALAGOAS, 1999.

4.9.4 Reservatórios de amortecimento de cheia

Para as lagoas (1, 2-3 e 4) foram adotados os dados da SEINFRA (ALAGOAS, 1998), que fornecem as curvas cota *x* volume e cota *x* vazão (anexo E) das estruturas extravasoras específicas.

Na figura 40 está a localização de cada reservatório, sub-bacia, canal e túnel na rede de fluxo considerada para o PMTM.

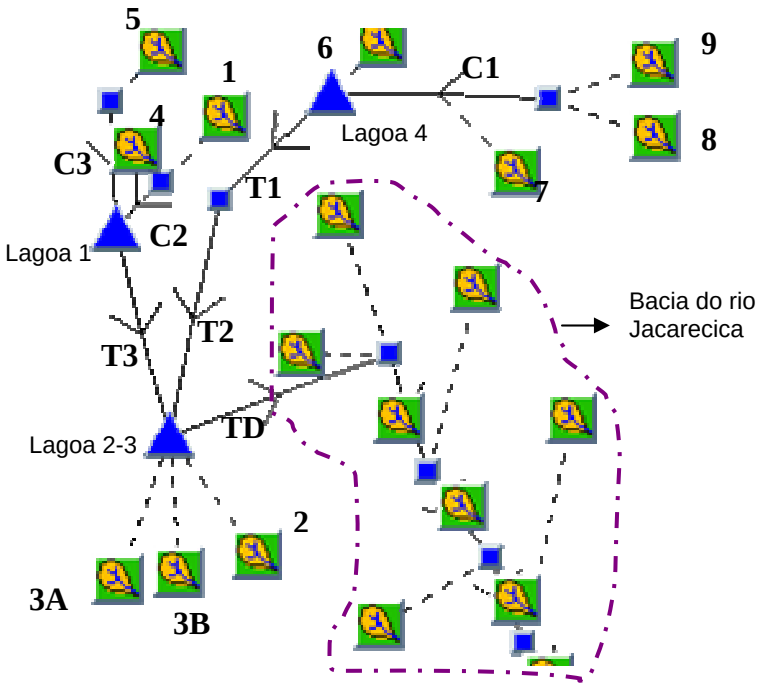


Figura 40 – Localização das sub-bacias, reservatórios de amortecimento de cheias (lagoas), túneis (T) e canais (C) na rede de fluxo do PMTM.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Cenários de ocupação e CN médios

5.1.1 Área urbana

O prognóstico para a ocupação urbana em 2015 foi obtido a partir das observações em campo dos prováveis vetores de expansão da cidade com loteamentos e invasões estimadas para o período. Levou-se em conta também a ocupação que já começa a acontecer de modo incipiente e difuso, e as áreas propensas em relação à localização privilegiada nas proximidades de áreas urbanas com infra-estrutura existente. Na figura 41 estão as áreas urbanas levantadas em 2004 e a previsão para 2015.

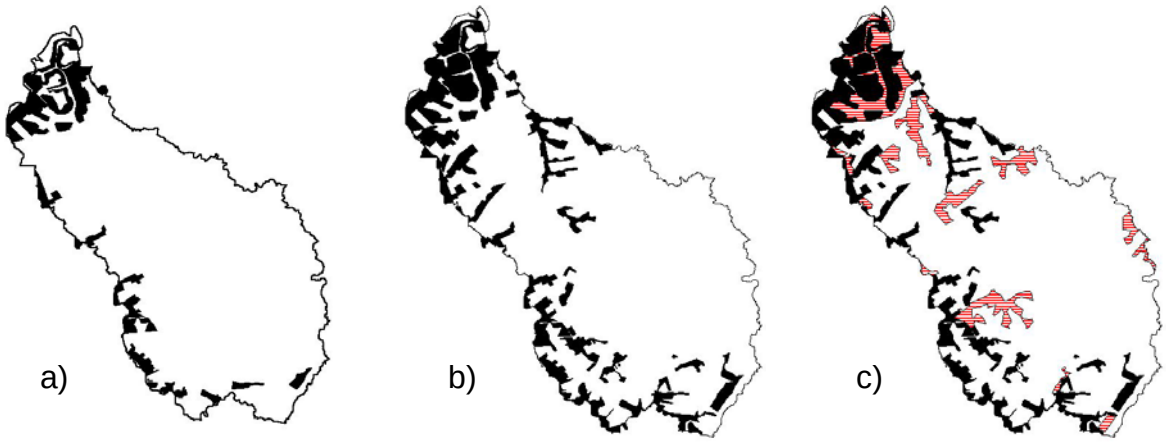


Figura 41 – a) Ocupação urbana em 1988; b) Ocupação urbana em 2004; c) Ocupação urbana em 2015 (em vermelho as prováveis áreas de ocupação futuras).

Cada localidade prevista teve seu CN determinado pela tendência potencial da forma de ocupação. Os logradouros mais próximos a grandes vias de transporte e outras facilidades de infra-estrutura tiveram CN atribuído de 85, e nas localidades um pouco mais remotas, de 72 a 81.

A evolução temporal do valor de CN da área já urbanizada, tanto para o período de 1988 a 2004, quanto para o prognóstico 2015 foi considerada, mas devido às incertezas embutidas na análise das fotografias aéreas e na definição do tipo de ocupação futura, foi realizada com cautela para não superestimar valores. No anexo B, estão explícitos os casos onde o valor de CN aumentou de valor com o

decorrer do tempo, e os locais previstos de ocupação e respectivos CN's para a configuração urbana em 2015.

No logradouro denominado Grotas do Benedito Bentes previu-se uma expansão territorial com simultâneo aumento de CN, devido à ocupação desordenada em constante evolução, sem respeitar quaisquer critérios e normas de controle urbano. Essa mudança foi considerada apenas para o ano de 2015 pela dificuldade de precisar os dados referentes a essa ocupação utilizando as fotografias aéreas de 1988. Ainda no anexo B estão descritos os aumentos territoriais e de CN, adotados nesse prognóstico, para a localidade.

No anexo A estão declaradas todas as unidades de ocupação consideradas, sub-bacias a que pertencem, os valores atribuídos ao CN de lotes e ruas e o valor médio final atribuído a essa variável para cada logradouro.

5.1.2 Área rural

Como o rio Jacarecica ainda pode ser enquadrado como pertencente a uma bacia peri urbana, a maior parte do seu território possui plantações diversas, chácaras, fazendas, sítios e áreas preservadas. Todo uso e ocupação do solo que se enquadra nessas características, ou ainda sem urbanização propriamente dita (caso de erosões ou terrenos baldios sem cobertura vegetal), foram denominados área rural.

Diante da enorme gama de possibilidades de atribuição de valores de CN sobre os diferentes tipos de cultura e vegetação, a área rural foi classificada em 6 diferentes tipos, mediante observações de campo: Policultura, Cana-de-açúcar, Solo nu, Vegetação Secundária, Vegetação Primária e Pastagem. A tabela 13 mostra correspondência adotada para os diferentes tipos de uso e ocupação da área rural e os valores de CN extraídos da tabela sugerida pelo SCS.

Tabela 13 – Valores de CN correspondentes à ocupação rural

Uso e ocupação do solo	Valores de CN de acordo com os tipos de solo			
Área rural	**A**	**B**	**C**	**D**
Policultura	50	70	78	89
Cana-de-açúcar	49	69	79	94
Vegetação Primária	36	60	70	76
Vegetação Secundária	46	68	78	84
Pastagem	25	59	75	83
Solo nu	72	82	90	92

Fonte: Adaptado de Tucci (2001)

O tipo de ocupação chamado aqui de policultura enquadra as culturas frutíferas (principalmente coco, manga, goiaba, acerola, pitanga, jambo e caju) e as culturas hortigranjeiras (principalmente macaxeira, milho, feijão e hortaliças diversas). Existente em quase todas as sub-bacias do rio Jacarecica, a policultura desenvolve-se em sua quase totalidade, em áreas pequenas não contínuas e em sítios e chácaras, além da ocorrência em áreas urbanas de baixa renda. As figuras 42.a e 42.b apresentam fotografias da policultura na bacia em estudo. Foram definidas também como policultura, áreas de vegetação arbórea com pequena densidade de ocupação, sem necessariamente existir como um cultivo.

a) b)

Figura 42 – Culturas frutíferas diversas e plantação de hortaliças. a) Sub-bacia Pedras; b) Sub-bacia Antares.

A cultura da cana-de-açúcar (figura 43) ocupa grande parte da área ao norte da bacia, tendo porém ocorrências em outros locais. Na bacia do Jacarecica se estabelece principalmente em topos de morros e encostas e raramente em talvegues. Provavelmente a produção agrícola da cana-de-açúcar local é levada

para processamento na Usina Cachoeira do Meirim, em Messias, município alagoano fronteiriço ao norte de Maceió. A cana possui um ciclo anual de cultivo, mas para esse estudo foi atribuído uma única classe de valores para o CN, conforme já indicado na tabela 13.

a) b)

Figura 43 – a) Raro cultivo de cana-de-açúcar em talvegue em fase de plantio (Sub-bacia Recantos); b) Cultivo de cana-de-açúcar em estágio inicial de crescimento (Sub-bacia Sítios).

Os locais de vegetações primárias (figura 44) são os remanescentes da floresta natural de mata atlântica. Sua ocorrência é rara e de difícil mensuração de território, pois visualmente se pode confundir com uma capoeira (vegetação secundária) mais desenvolvida.

a) b)

Figura 44 – Ocorrência de vegetação primária. a) Sub-bacia Serraria 1; b) Sub-bacia Recantos.

Popularmente chamada de “capoeira”, a vegetação secundária (figura 45) foi o tipo de vegetação de maior ocorrência na bacia do rio Jacarecica. Caracteriza-se por uma vegetação arbórea de pequeno porte, por vezes com remanescentes de vegetação primária e pastagem. Possui maior densidade de vegetação que a policultura.

a) b)

Figura 45 – Ocorrência de vegetação secundária. a) Sub-bacia Médio 2; b) Sub-bacia Via expressa 1.

As áreas consideradas como sendo solo nu, são as que apresentam desmatamento não seguido de ocupação urbana ou reflorestamento. Enquadram-se aí os territórios baldios que não pertencem a loteamentos e as erosões provocadas por extração de material de empréstimo (saibro). Na figura 27 do capitulo 3 estão exemplos dessa forma de ocupação considerada.

A ocorrência de pastagens (figura 46) acontece principalmente no talvegue principal da bacia. Existem áreas que foram consideradas como pastagem pelas características da vegetação, sem que o local seja propriamente uma fazenda de gado. Um exemplo são algumas plantações de coqueirais que foram estimadas como pastagem pois devido as suas características de copa e porque em algumas localidades na bacia em estudo, o solo ocupado por essa cultura acompanha o tipo de vegetação que caracteriza a pastagem. A vegetação característica é a cobertura rasteira de capim ou grama podendo haver também resquícios de capoeira rala.

a) b)

Figura 46 – a) Ocorrência de pastagem na sub-bacia Pedras, em estação seca; b) Cultura de coco em área de pastagem na sub-bacia Miramar.

A distribuição espacial das áreas rurais e da mancha urbana na bacia em 2004 está explicitada no mapa da figura 47 e a quantificação percentual de cada uma das categorias consideradas está na tabela 14.

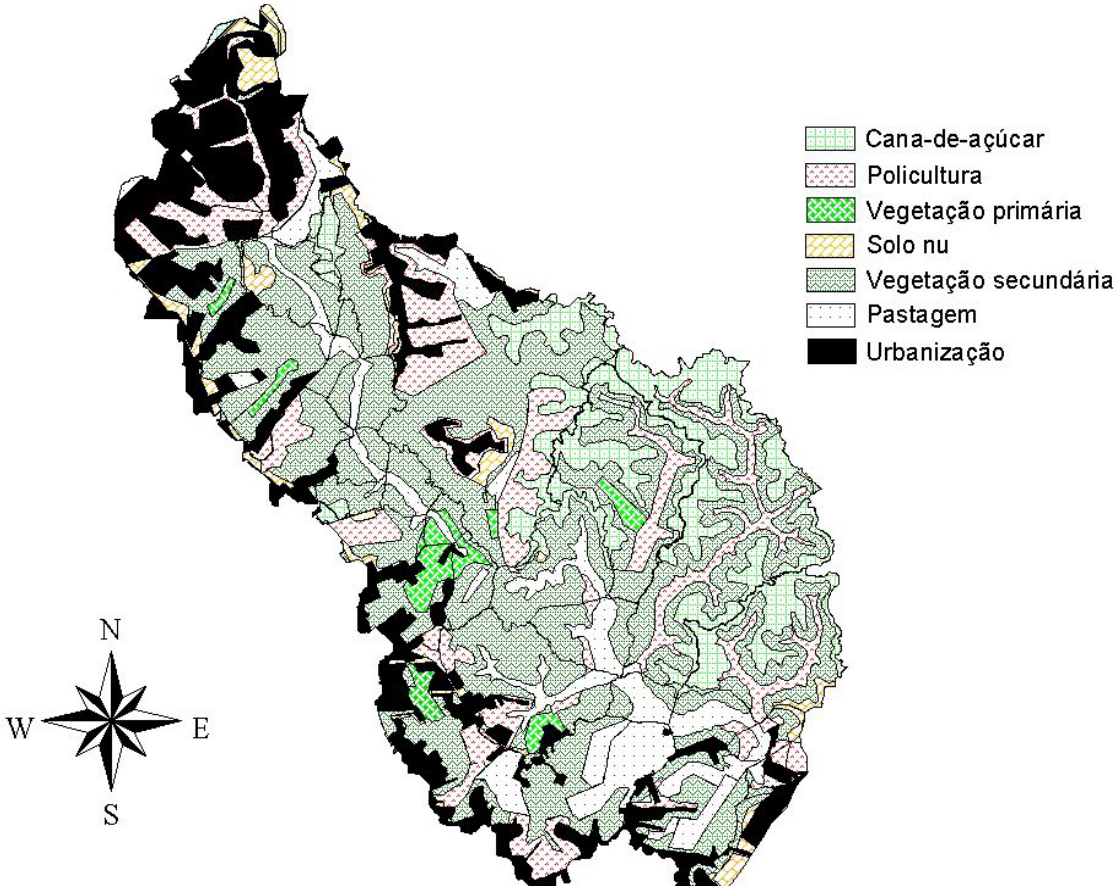


Figura 47 – Uso e ocupação do solo na bacia do rio Jacarecica em 2004.

Tabela 14 - Porcentagens correspondentes a cada tipo de ocupação da bacia do rio Jacarecica

Tipo de ocupação	% em relação a área da bacia
Cana-de-açúcar	12,43
Policultura	14,09
Vegetação primária	2,32
Solo nu	3,04
Vegetação secundária	40,11
Pastagem	10,31
Área urbana	17,70

A configuração rural para o ano de 1988 foi adquirida a partir das fotografias aéreas com o preenchimento das áreas ainda não urbanizadas com cobertura vegetal coerente. O prognóstico de 2015 manteve as áreas rurais tal qual como estavam em 2004 exceto logicamente nas áreas de ocupação urbana previstas.

Os fatores que temporalmente modificariam a ocupação rural como remanejamentos e/ou mudanças de culturas, desmatamentos, reflorestamentos, não foram considerados, exceto na transição 1988-2004, onde áreas com solo nu e policultura, se implantaram em áreas onde, basicamente, havia vegetação secundária na sub-bacia Pedras. Essa mudança ocorreu pela instalação de plantações e erosões que não existiam pela fotografia aérea de 1988.

No anexo C, estão as porcentagens dos tipos de uso e ocupação do solo estabelecidos nesse estudo para áreas rurais por sub-bacia.

Nas áreas urbanizadas que possuíam território localizado em duas situações de solo, foi utilizado o valor daquele associado ao tipo de solo predominante. No caso das localidades rurais, foram realizadas médias ponderadas com as áreas e o tipo de solo e chegou-se a um valor médio global para esse tipo de ocupação em cada sub-bacia.

5.1.3 Valores de *Curve Numbe*r adotados

A partir da descrição do uso e ocupação do solo chegou-se ao resultado sobre o CN médio, utilizando médias ponderadas, com os diferentes CN’s rurais e

urbanos e as áreas correspondentes para as sub-bacias como um todo e também para os cenários propostos.

Nessa estimativa o valor definitivo de CN foi aproximado para o número inteiro mais próximo (a fim do valor se assemelhar à configuração proposta pelo SCS), mas no restante dos cálculos foram consideradas duas casas decimais.

Na tabela 15, estão relacionados os valores da porcentagem de área rural e urbana, para cada cenário proposto em todas as sub-bacias do rio Jacarecica, e na tabela 16 estão os valores para a bacia do rio Jacarecica como um todo.

Tabela 15 – Levantamento de áreas urbanas e rurais para as sub-bacias do rio Jacarecica

Sub-bacia	**1988**		**2004**		**2015**	
	% rural	**% urbana**	**% rural**	**% urbana**	**% rural**	**% urbana**
Conjunto Jacarecica	82,10	17,90	51,96	48,04	36,11	63,89
Miramar	94,46	5,54	77,81	22,19	77,81	22,19
Serraria 1	85,54	14,46	73,14	26,86	71,24	28,76
Serraria 2	97,97	0,03	89,25	10,75	86,24	13,76
Ecopark	75,87	24,13	65,37	34,63	60,95	39,05
Via expressa 4	95,79	4,21	91,89	8,11	85,42	14,58
Via expressa 3	92,21	7,79	89,00	11,00	89,00	11,00
Via expressa 2	89,36	10,64	85,51	14,49	85,51	14,49
Via expressa 1	93,49	6,51	78,30	21,70	68,46	31,54
Antares	60,57	39,43	38,38	61,62	26,22	73,78
Caveira	41,97	58,03	29,75	70,25	16,32	83,68
Benedito Bentes	72,45	27,55	68,41	31,59	32,90	67,10
Moacir Andrade	100,00	0,00	84,84	15,16	67,05	32,95
Riacho das Pedras	100,00	0,00	88,23	11,77	79,12	20,88
Recantos	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
São João	100,00	0,00	100,00	0,00	94,86	5,14
Sítios	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
Alto 1	45,31	54,69	45,31	54,69	6,85	93,15
Alto 2	99,97	0,03	98,07	1,93	80,82	19,18
Alto 3	100,00	0,00	97,50	2,50	84,69	15,31
Alto 4	100,00	0,00	100,00	0,00	90,62	9,38
Médio 1	95,97	4,03	95,97	4,03	91,35	8,66
Médio 2	100,00	0,00	100,00	0,00	95,55	4,45
Médio 3	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
Médio 4	100,00	0,00	94,07	5,93	81,26	18,74
Médio 5	100,00	0,00	100,00	0,00	90,35	9,65
Baixo 1	100,00	0,00	100,00	0,00	89,24	10,76
Baixo 2	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
Baixo 3	100,00	0,00	93,44	6,56	93,44	6,56
Baixo 4	100,00	0,00	94,47	5,53	94,47	5,53
Baixo 5	77,32	22,68	71,41	28,59	71,41	28,59
Pc Ponte	87,19	12,81	75,68	24,32	75,68	24,32

Tabela 16 – Áreas urbanas e rurais para bacia do rio Jacarecica para cada situação em estudo.

Bacia	1988		2004		2015	
	% rural	% urbana	% rural	% urbana	% rural	% urbana
Rio Jacarecica (bacia completa)	**90,66**	**9,34**	**82,26**	**17,74**	**75,20**	**24,80**

Na tabela 17 estão os CN médios em cada sub-bacia para os cenários propostos e na tabela 18 estão apresentados os valores para a bacia do rio Jacarecica como um todo (com a aproximação de duas casas decimais).

Tabela 17 – Variável CN das sub-bacias do rio Jacarecica

Sub-bacia	1988			2004			2015		
	CN rural	CN Urb.	CN Méd.	CN rural	CN Urb.	CN Méd.	CN rural	CN Urb.	CN Méd.
Conjunto Jacarecica	74,16	89,10	**77**	73,89	87,72	**81**	71,95	87,06	**82**
Miramar	66,51	74,00	**67**	66,36	75,41	**68**	66,36	77,04	**69**
Serraria 1	67,81	84,50	**70**	68,00	84,10	**72**	68,11	84,31	**73**
Serraria 2	68,89	91,00	**69**	69,11	77,67	**70**	69,22	77,43	**70**
Ecopark	67,38	77,93	**70**	66,31	78,52	**71**	66,07	78,13	**71**
Via expressa 4	69,99	76,00	**70**	70,45	79,83	**71**	69,93	82,11	**72**
Via expressa 3	68,40	84,00	**70**	68,76	81,96	**70**	68,76	81,96	**70**
Via expressa 2	70,09	78,89	**71**	71,07	86,03	**73**	71,07	86,03	**73**
Via expressa 1	67,22	91,19	**69**	68,72	84,19	**72**	68,61	82,27	**73**
Antares	66,64	75,03	**70**	70,54	74,16	**73**	69,42	77,06	**75**
Caveira	69,81	71,37	**71**	77,45	71,37	**73**	80,38	75,33	**76**
Benedito Bentes	65,28	86,69	**71**	66,17	85,13	**72**	64,87	78,84	**74**
Moacir Andrade	69,55	-	**70**	71,78	83,42	**74**	72,56	78,87	**75**
Riacho das Pedras	68,25	-	**68**	70,40	81,54	**72**	70,61	78,69	**72**
Recantos	69,72	-	**70**	69,72	-	**70**	69,72	-	**70**
São João	70,00	-	**70**	70,00	-	**70**	70,06	72,00	**70**
Sítios	70,62	-	**71**	70,62	-	**71**	70,62	-	**71**
Alto 1	73,67	77,80	**76**	73,67	77,80	**76**	69,02	77,81	**77**
Alto 2	71,29	75,00	**71**	71,36	73,03	**71**	72,06	75,99	**73**
Alto 3	69,28	-	**69**	69,31	85,00	**70**	69,51	76,63	**71**
Alto 4	70,03	-	**70**	70,03	-	**70**	70,24	75,00	**71**
Médio 1	69,61	84,00	**70**	69,61	84,00	**70**	69,69	79,19	**71**
Médio 2	69,64	-	**70**	69,64	-	**70**	69,72	75,00	**70**
Médio 3	66,85	-	**67**	66,85	-	**67**	66,85	-	**67**
Médio 4	68,20	-	**68**	68,17	80,30	**69**	68,20	76,68	**70**
Médio 5	69,83	-	**70**	69,83	-	**70**	70,03	75,00	**71**
Baixo 1	70,70	-	**71**	70,70	-	**71**	71,02	75,00	**71**
Baixo 2	72,16	-	**72**	72,16	-	**72**	72,16	-	**72**
Baixo 3	70,49	-	**70**	71,29	73,10	**71**	71,29	84,97	**72**
Baixo 4	72,52	-	**73**	72,20	80,00	**73**	72,20	80,00	**73**
Baixo 5	66,94	60,59	**66**	70,22	60,59	**67**	70,22	60,59	**67**
Pc Ponte	64,04	91,00	**67**	65,12	78,22	**68**	65,12	78,22	**68**

Tabela 18 – CN médio da bacia do rio Jacarecica para cada situação em estudo.

Bacia	1988 CN Médio	2004 CN Médio	2015 CN Médio
Rio Jacarecica (bacia completa)	**69,76**	**71,36**	**72,04**

5.1.4 Discussão

Em média, os valores globais do parâmetro CN mudaram pouco significativamente, devido à grande área rural e a idealização de não evolução do aumento do escoamento superficial devido ao uso e ocupação do solo nessas áreas.

Houve uma pequena consideração do aumento de áreas impermeáveis internas aos logradouros entre a urbanização encontrada para 2004 e o cenário estimado de 2015 (Anexo B), e também a regressão para o cenário em 1988, sob o mesmo aspecto. A cautela na definição desse parâmetro, devido a sua sensibilidade, também justifica o relativo conservadorismo na adoção dos valores de CN.

O uso de imagens de satélite adequadas seria um suporte técnico valioso que forneceria ao trabalho uma melhor precisão na definição dos CN's, mas sem dispensar as visitas de campo, para sanar dúvidas e confirmar informações processadas computacionalmente. O levantamento de campo realizado nesse estudo e as definições das variáveis CN's para a situação de trabalho em que não foi possível trabalhar imagens de satélite, pode ser considerada satisfatória.

5.2 Correção do tempo de concentração

Como a maioria dos valores de CN encontrados para as sub-bacias do Jacarecica está dentro do espectro do solo de tipo B, predominante nas áreas urbanizadas da bacia, foi proposta uma interpolação, para associar valores de CN com a porcentagem média impermeável sugerida pelo SCS. Com o auxílio do programa Student MATLAB, a interpolação foi realizada com o CN variando de uma unidade, para o intervalo de valores representativos do solo classificado como tipo B (tabela 19).

Tabela 19 – Associação dos valores de *Curve Number* (CN) com as áreas impermeáveis correspondentes, para um solo tipo B.

CN	% média impermeável	CN	% média impermeável	CN	% média impermeável
68	20,00	74	35,33	80	51,50
69	22,50	75	38,00	81	54,20
70	25,00	76	40,70	82	56,90
71	27,50	77	43,40	83	59,60
72	30,00	78	46,10	84	62,30
73	32,67	79	48,80	85	65,00

Os valores encontrados na interpolação serviram de fator de correção, para transformar a porcentagem de área urbana (encontrada a partir de geoprocessamento) em porcentagem de área impermeabilizada.

Com as variáveis da equação 14 (capítulo 4) definidas para cada sub-bacia, o tempo de concentração foi corrigido para todos os cenários propostos, e os resultados estão na tabela 20.

Tabela 20 – Tempos de concentração corrigidos para os cenários de urbanização em 1988, 2004 e 2015 (continua).

Sub-bacia	Tc (Kirpich) (min)	Tc 1988 (min)	Tc 2004 (min)	Tc 2015 (min)
Conjunto Jacarecica	65,64	61,55	52,76	48,02
Miramar	15,91	15,76	15,31	15,24
Serraria 1	49,36	47,85	46,02	45,49
Serraria 2	23,40	23,40	22,87	22,72
Ecopark	13,60	12,91	12,51	12,37
Via expressa 4	12,88	12,77	12,64	12,41
Via expressa 3	8,54	8,40	8,34	8,34
Via expressa 2	8,84	8,62	8,49	8,49
Via expressa 1	22,99	22,70	21,73	21,02
Antares	16,05	14,71	13,36	12,36
Caveira	27,03	23,39	21,86	19,56
Benedito Bentes	16,05	15,03	14,77	12,90
Moacir Andrade	17,58	17,58	16,80	15,77
Riacho das Pedras	53,56	53,56	51,97	50,75
Recantos	36,29	36,29	36,29	36,29
São João	60,35	60,35	60,35	59,69
Sítios	23,28	23,28	23,28	23,28
Alto 1	3,90	3,20	3,20	2,64
Alto 2	20,38	20,38	20,29	19,32
Alto 3	5,19	5,19	5,17	5,01
Alto 4	10,81	10,81	10,81	10,57
Médio 1	9,93	9,85	9,85	9,73
Médio 2	9,92	9,92	9,92	9,83
Médio 3	7,25	7,25	7,25	7,25
Médio 4	10,15	10,15	10,04	9,75
Médio 5	26,54	26,54	26,54	25,95
Baixo 1	14,60	14,60	14,60	14,24

Tabela 20 – Tempos de concentração corrigidos para os cenários de urbanização em 1988, 2004 e 2015 (continuação).

Sub-bacia	Tc (Kirpich) (min)	Tc 1988 (min)	Tc 2004 (min)	Tc 2015 (min)
Baixo 2	14,35	14,35	14,35	14,35
Baixo 3	17,50	17,50	17,23	17,23
Baixo 4	8,91	8,91	8,78	8,78
Baixo 5	8,79	8,47	8,36	8,36
Pc Ponte	7,81	7,64	7,49	7,49

5.3 Simulações da vazão

5.3.1 Rede de fluxo

No IPHS1, a rede de fluxo foi constituída de 32 bacias (módulo bacia), 15 trechos d'água (módulo rio) e 16 pontos de controle (módulo rio). O programa permite a opção da presença de um pano de fundo com a imagem da bacia subdividida (figura 48).

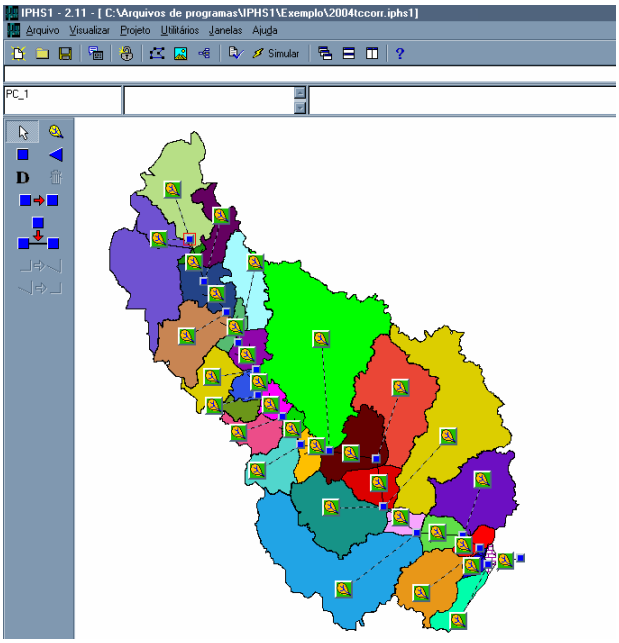


Figura 48 - Esquema da rede de fluxo do programa IPHS1 utilizada para a simulação no rio Jacarecica.

5.3.2 Resultados das simulações

A seguir, da figura 49 até a figura 57, estão os resultados das simulações realizadas, sendo cada grupo de 3 hidrogramas definidos por seções de interesse.

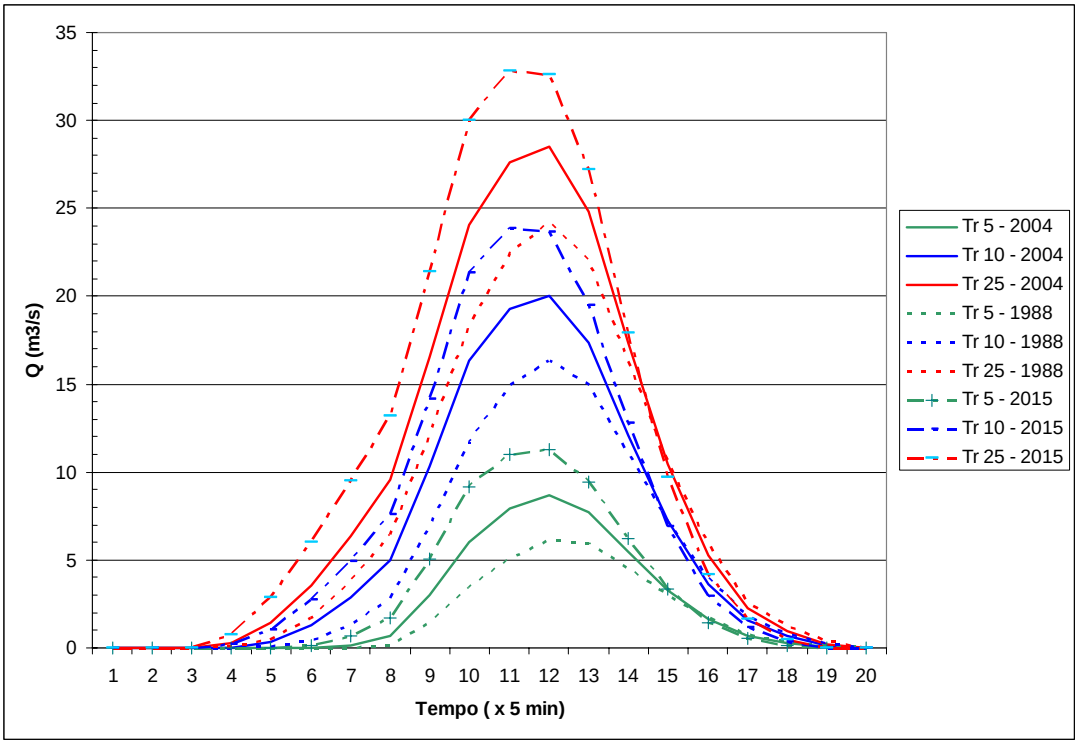


Figura 49 – Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 60 minutos, seção 1.

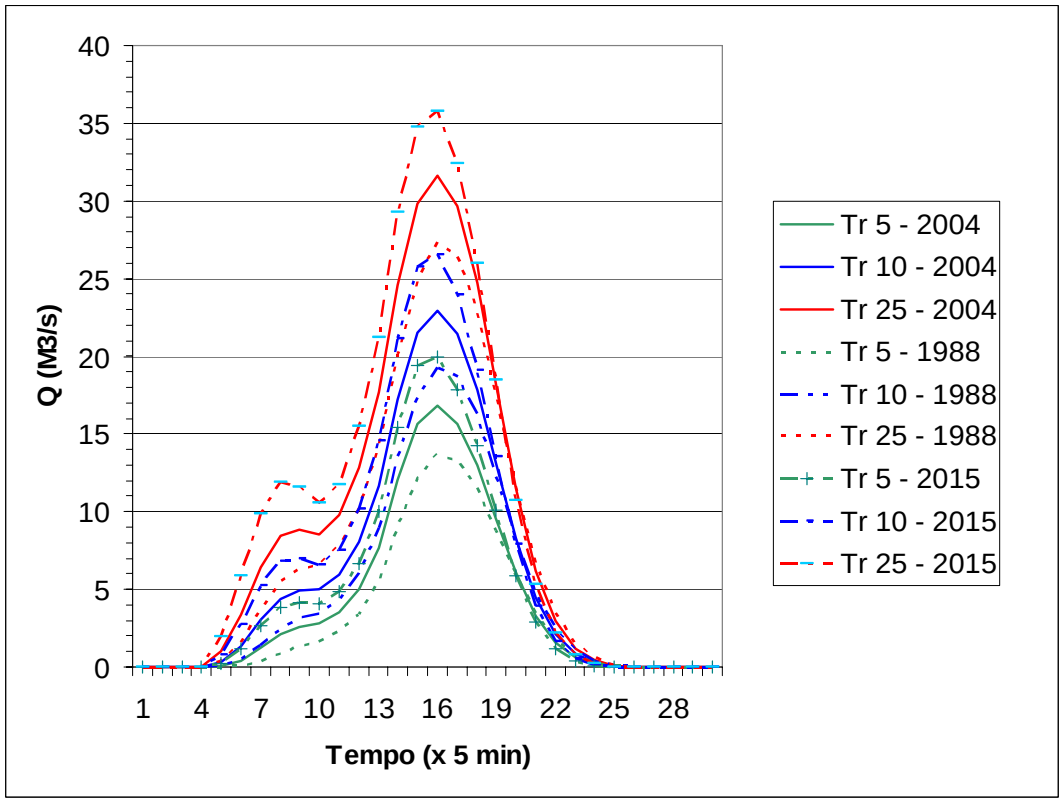


Figura 50 – Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 90 minutos, seção 1.

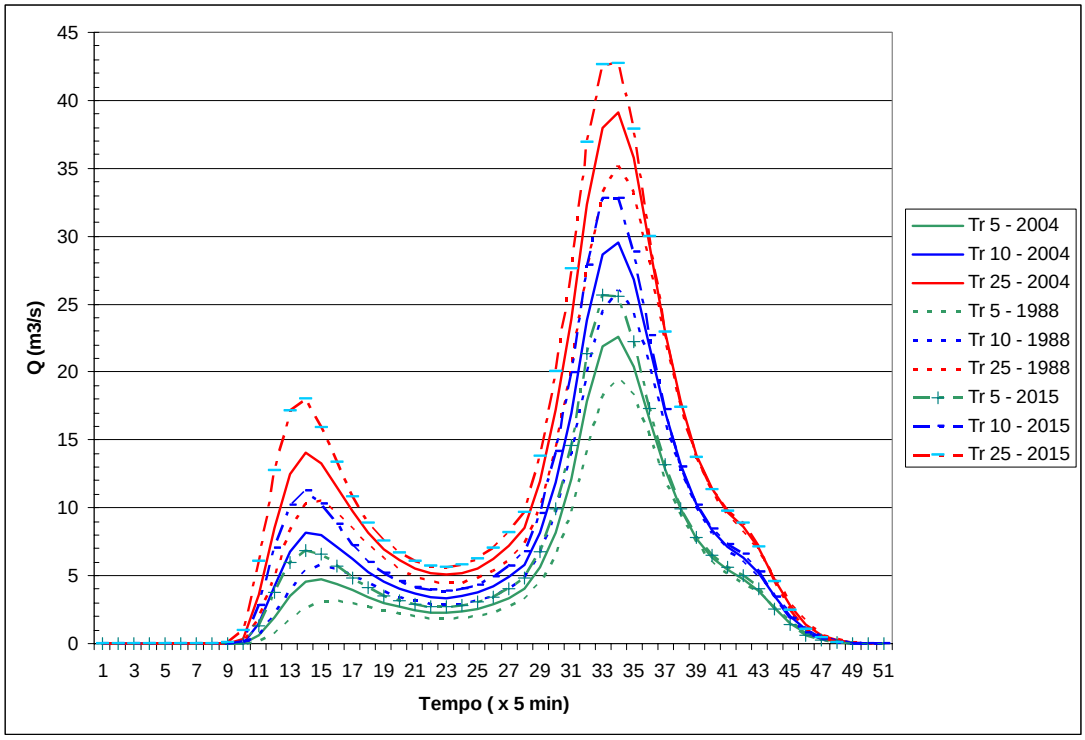


Figura 51 – Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 210 minutos, seção 1.

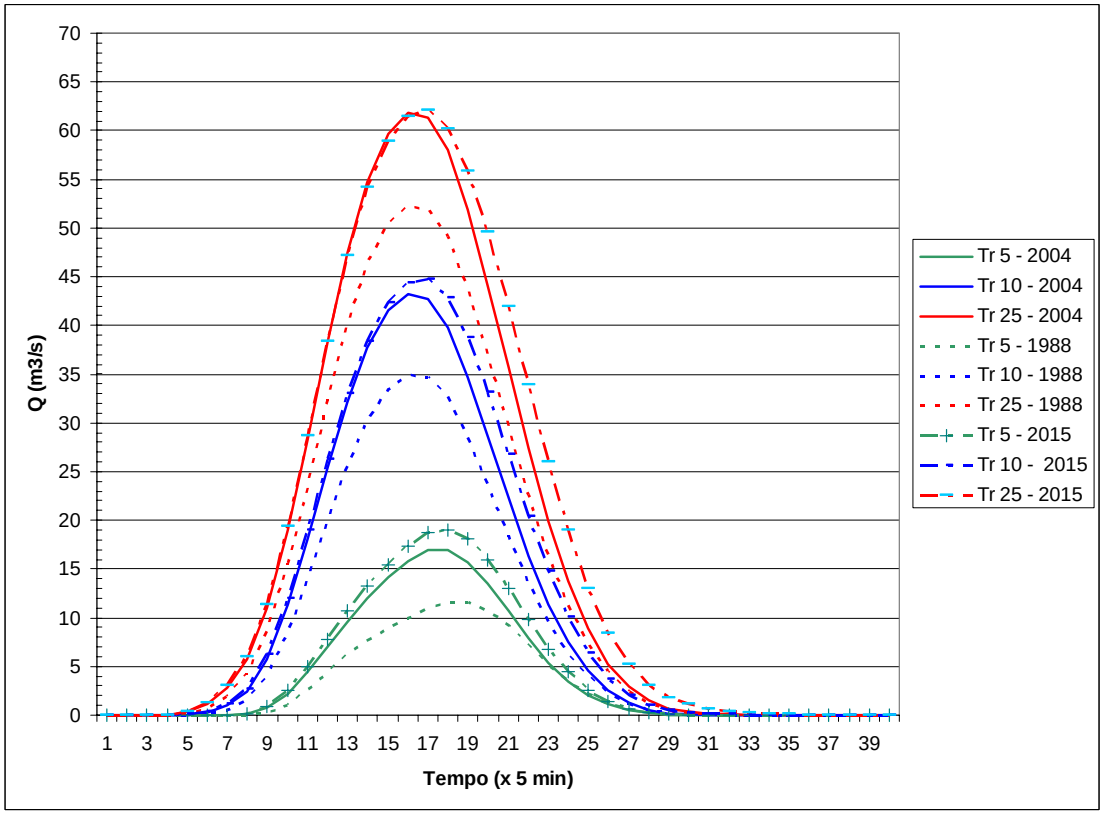


Figura 52 – Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 60 minutos, seção 2.

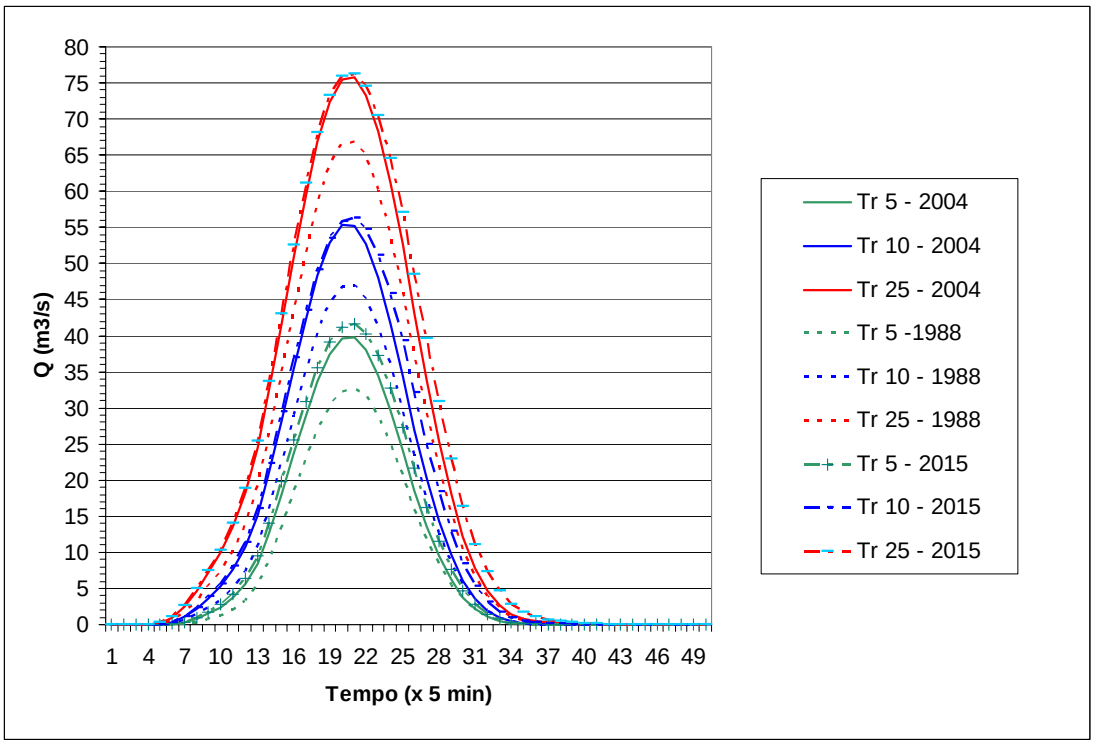


Figura 53 – Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 90 minutos, seção 2.

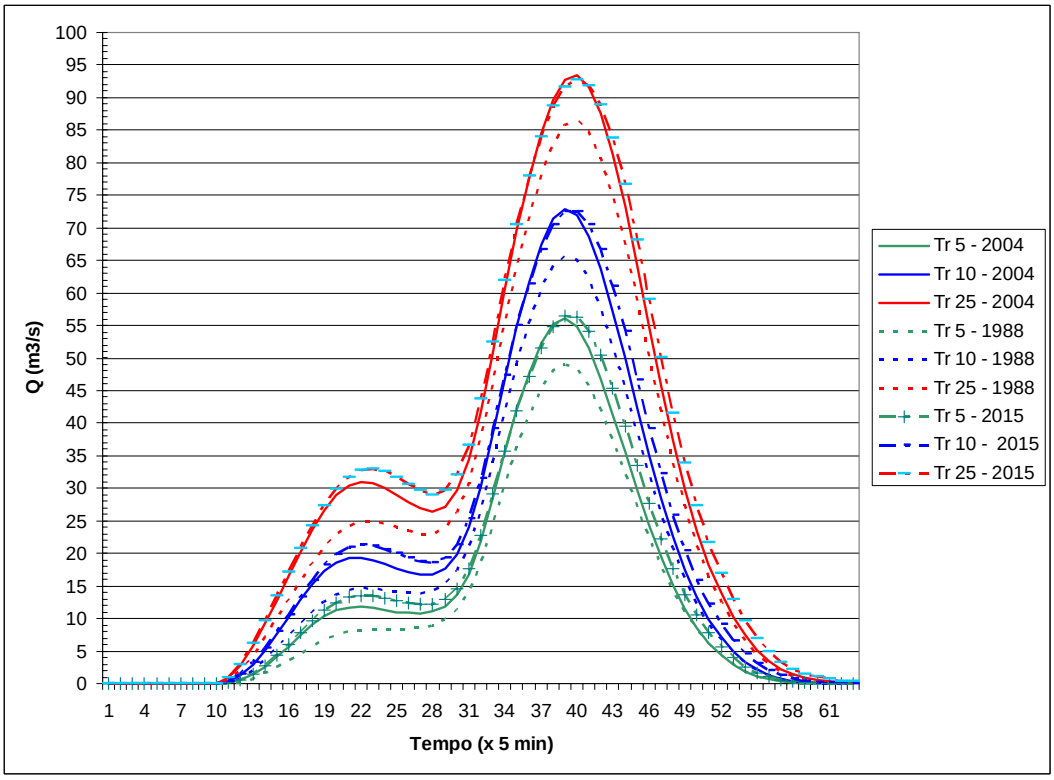


Figura 54 – Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 210 minutos, seção 2.

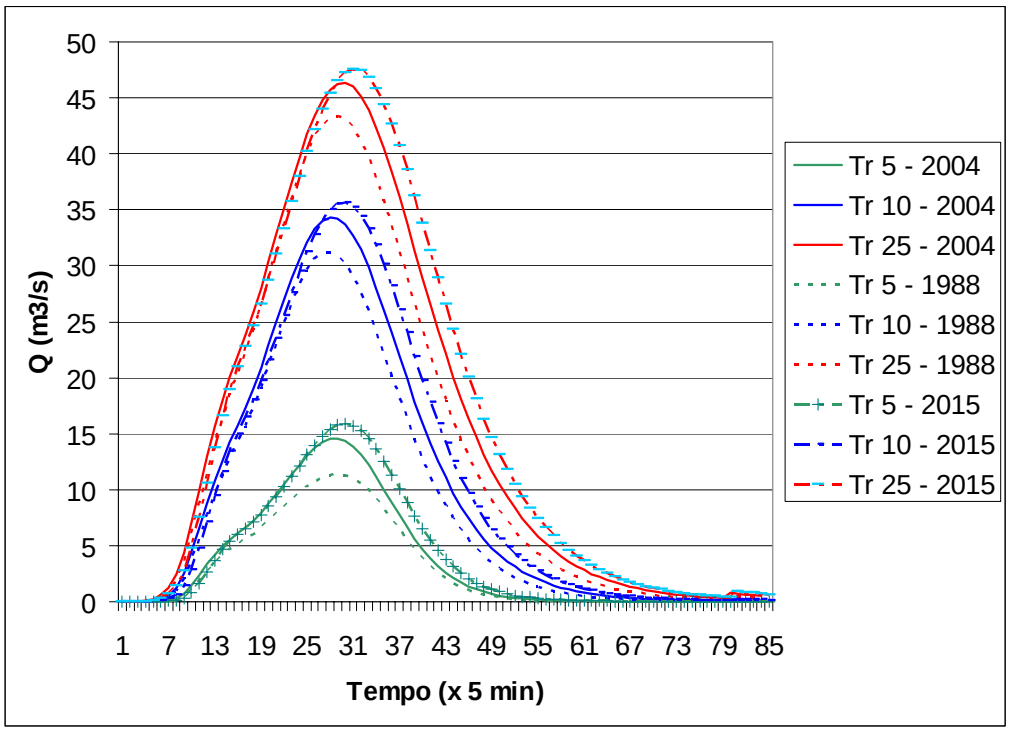


Figura 55 – Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 60 minutos, seção 3.

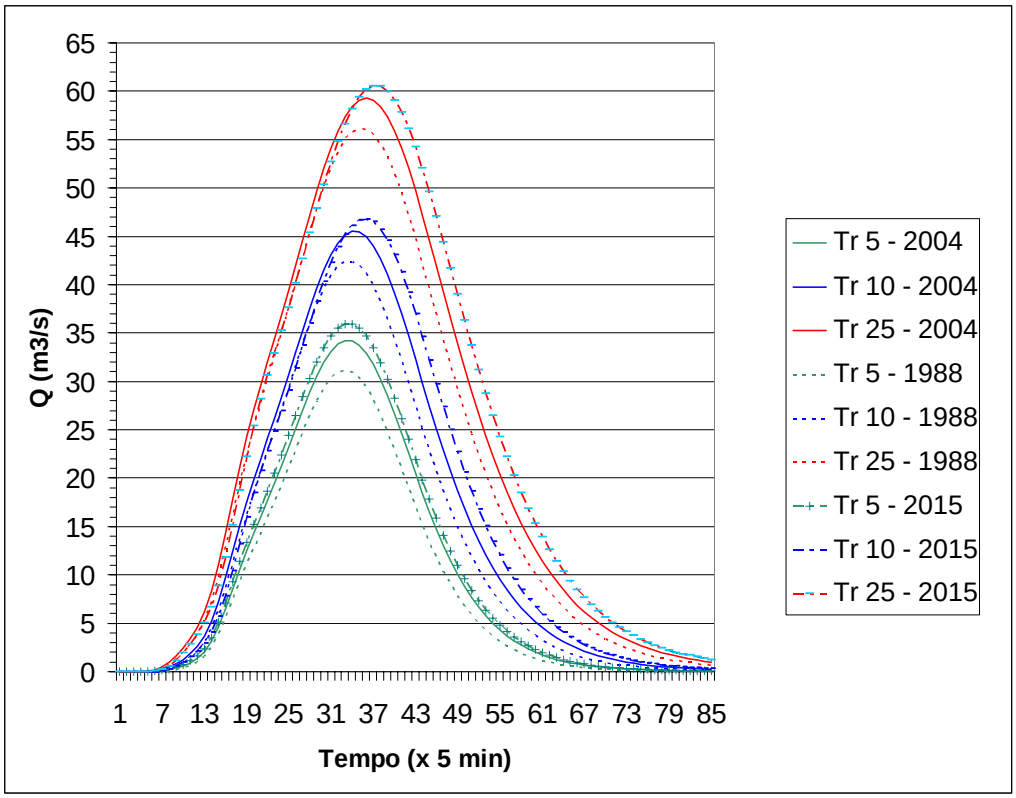


Figura 56 – Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 90 minutos, seção 3.

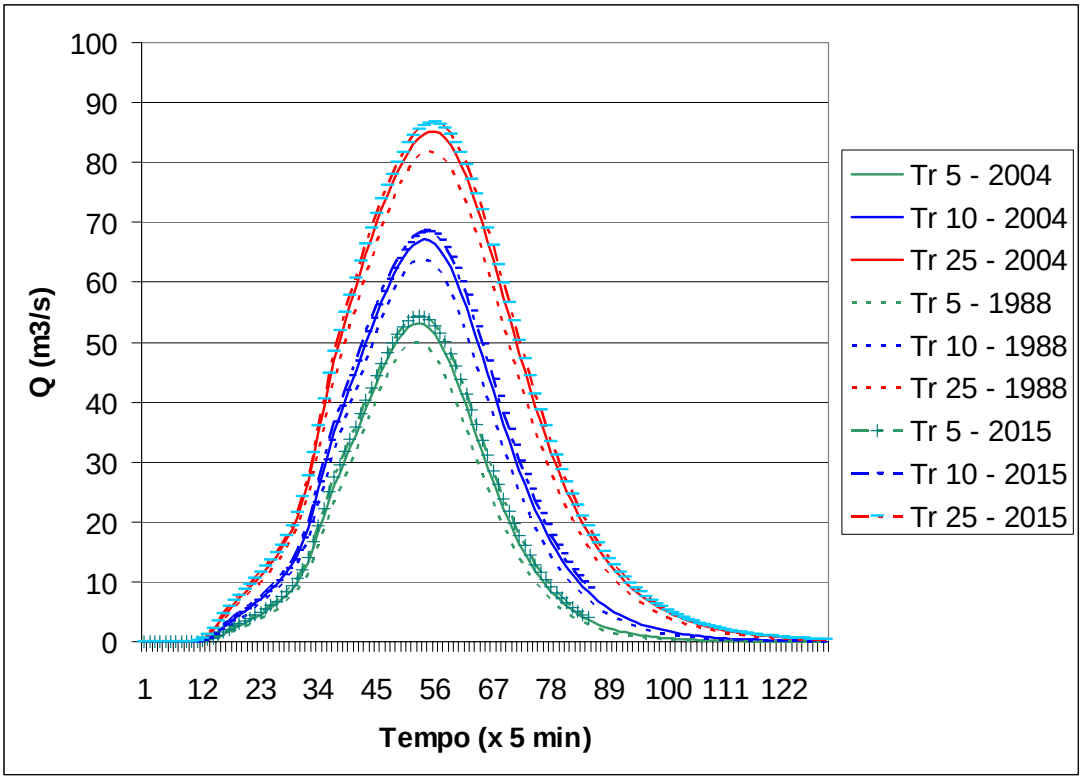


Figura 57 – Hidrogramas para diferentes TR's para o uso e ocupação do solo dos anos de 1988, 2004 e possível cenário em 2015, chuva de 210 minutos, seção 3.

Os valores absolutos dos máximos de vazão para cada tempo de retorno e as diferenças expressadas em porcentagem desse aumento estão discriminados nas tabelas 21 a 23.

Tabela 21 – Picos de vazão nas seções de interesse para TR = 5 anos.

Seção	Chuva (min)	Vazão máxima (m^3/s)			Diferença (%)
		1988	2004	2015	1988 - 2004
1	60	6,16	8,67	11,31	40,75
	90	13,67	16,83	19,99	23,12
	210	19,50	22,59	25,68	15,85
2	60	11,62	16,96	19,04	45,96
	90	32,73	39,80	41,59	21,60
	210	49,06	56,11	56,48	14,37
3	60	11,39	14,58	15,86	28,01
	90	31,18	34,25	35,91	9,85
	210	49,95	53,17	54,37	6,45

Tabela 22 – Picos de vazão nas seções de interesse para TR = 10 anos.

Seção	Chuva (min)	Vazão máxima (m^3/s)			Diferença (%)
		1988	2004	2015	1988 - 2004
1	60	16,36	20,03	23,83	22,43
	90	19,28	22,94	26,55	18,98
	210	26,01	29,50	32,81	13,42
2	60	34,90	43,19	44,70	23,75
	90	46,97	55,35	56,24	17,84
	210	65,60	72,87	72,58	11,08
3	60	31,21	34,33	35,60	10,00
	90	42,39	45,50	46,79	7,34
	210	63,84	67,11	68,54	5,12

Tabela 23 – Picos de vazão nas seções de interesse para TR = 25 anos.

Seção	Chuva (min)	Vazão máxima (m^3/s)			Diferença (%)
		1988	2004	2015	1988 - 2004
1	60	24,19	28,50	32,83	17,82
	90	27,35	31,62	35,74	15,61
	210	35,13	39,07	42,69	11,22
2	60	52,34	61,85	62,05	18,17
	90	66,92	75,73	76,28	13,16
	210	86,44	93,43	92,67	8,09
3	60	43,36	46,35	47,57	6,60
	90	56,12	59,30	60,54	5,67
	210	81,85	85,19	86,69	4,08

O efeito de antecipação do pico de vazão devido ao efeito de impermeabilização do solo, nos casos em que houve diferenças de 5 minutos ou mais, está expressa na tabela 24. Todos os tempos foram considerados a partir do início da precipitação.

Tabela 24 - Tempo de ocorrência do pico de vazão em seções onde ocorreram diferenças de cinco ou mais minutos.

Chuva (min)	TR (anos)	Seção	Tempo do pico (min)		
			1988	2004	2015
60	5	2	95	90	85
	10	1	60	60	55
	10	2	85	80	80
	25	1	60	60	55
210	5	1	155	155	150
	10	1	155	155	150

Para se ter uma melhor idéia sobre o aumento em volume do escoamento superficial no translado sobre a bacia, as figuras 58 e 59 apresentam os hidrogramas comparativos para as 3 seções com tempo de retorno de 10 anos e precipitação de 60 e 210 minutos na configuração urbana adotada para 2004.

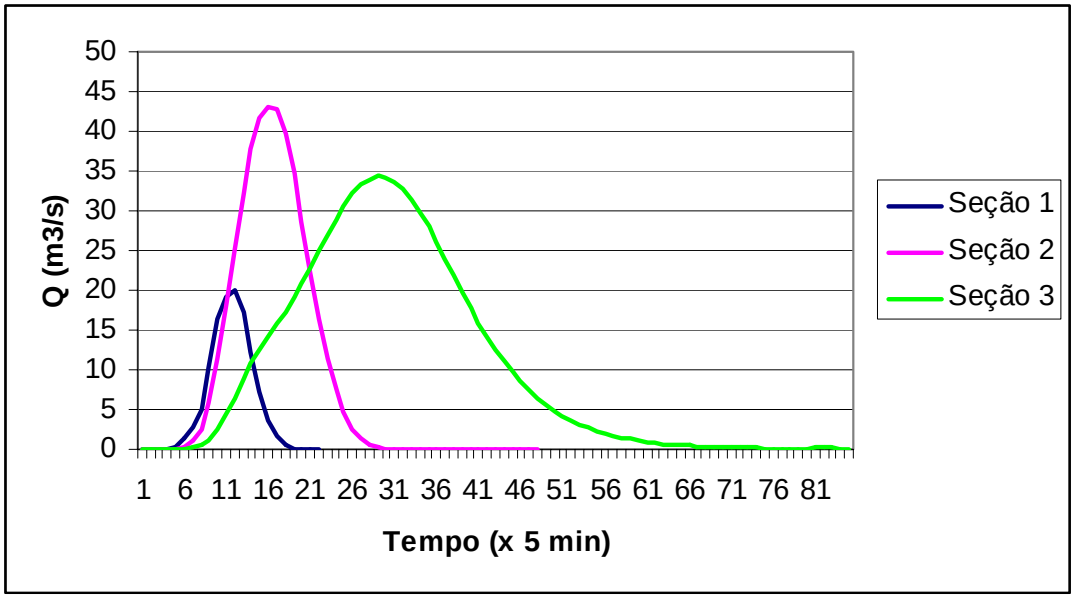


Figura 58 - Hidrogramas para as diferentes seções com o uso e ocupação do solo de 2004, chuva de 60 minutos, Tr = 10 anos.

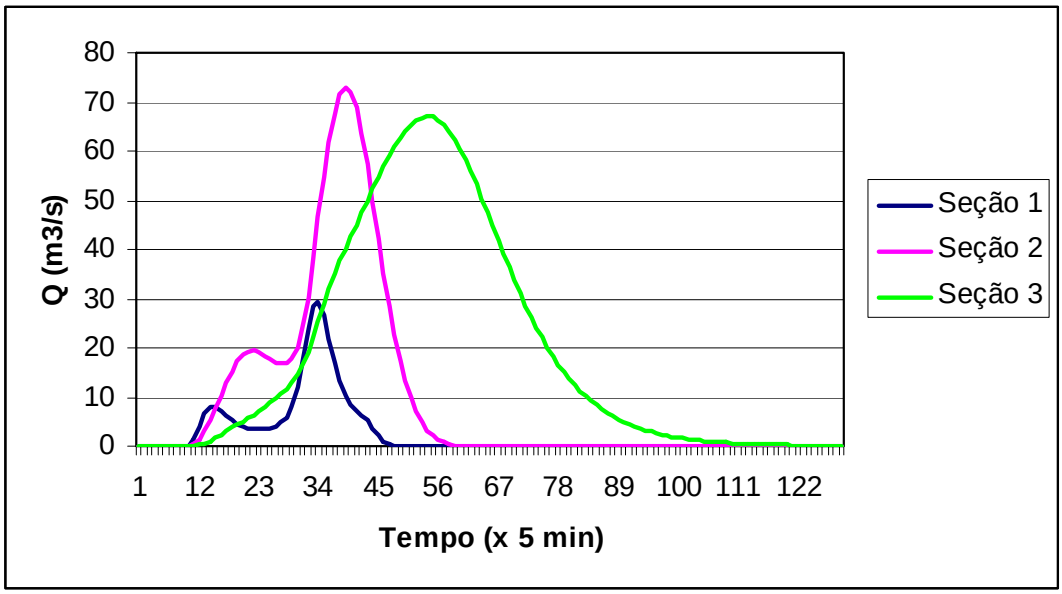


Figura 59 - Hidrogramas para as diferentes seções com o uso e ocupação do solo de 2004, chuva de 210 minutos, Tr = 10 anos.

5.3.3 Discussão

O esperado aumento das vazões de pico em praticamente todas as sub-bacias do rio Jacarecica foi confirmado pelas simulações. Esse acréscimo, porém, não se deu de modo uniforme em toda a bacia, sendo que tal efeito deve-se parcialmente ao fracionamento de toda a área de estudo em sub-bacias, e demais partições tanto urbanas como rurais, que forneceram características de escoamento particulares a cada localidade, possibilitando um panorama que detalha melhor o escoamento superficial.

Quantitativamente, os aumentos temporais de vazão foram tanto maiores quanto se combinavam menores tempos de retorno com a precipitação de menor duração, mostrando que a resposta (hidrograma) a precipitações mais intensas é mais sensível a mudanças na variável CN.

O efeito de armazenamento no canal principal durante a propagação da onda de cheia, faz-se notar claramente quando os resultados de vazão máxima na seção 2 são sempre superiores aos valores de pico calculados para a seção 3, à jusante. Verifica-se um amortecimento do pico de vazão ao longo da calha no canal principal, que pode ser constatado nas figuras de 49 a 57 (o eixo horizontal dos tempos está diferente de uma figura para a outra). Nas figuras 58 e 59, colocou-se a vazão das 3 seções num mesmo gráfico para comparação das vazões e dos volumes, onde se observa que na seção 3 o pico de vazão é menor que na seção 2 mas a área do gráfico (que corresponde ao volume) é bem maior que a da seção 2.

Considerando ainda que nas sub-bacias contribuintes o efeito do amortecimento na calha não foi quantificado, por se adotar uma contribuição direta da área de drenagem sem contar com a propagação no canal na própria sub-bacia o que foi realizado tão somente para o rio principal.

O comportamento do hidrograma com o aparecimento de pontos onde existe mudança na tendência de descendente para ascendente, notadamente na simulação para a precipitação de 210 minutos, revelam a influência da metodologia adotada pelo IPHS1 para o reordenamento dos valores discretizados das tormentas, onde apareceu 2 picos no hietograma fornecido.

O método do *Soil Conservation Service* (SCS) para transformação de chuva em vazão é tido como conservador e de fato os valores simulados absolutos dos máximos de vazão estão certamente acima dos que se estimam como próximos da

realidade. A calha do rio Jacarecica não comporta essas vazões e certamente já ocorreram eventos semelhantes aos considerados na modelagem. Enchentes aconteceram na bacia, mas as vazões de pico provavelmente foram menores, exceto em 2004[7]. O fator relevante no caso é a comparação dos cenários e o aumento relativo do pico da vazão.

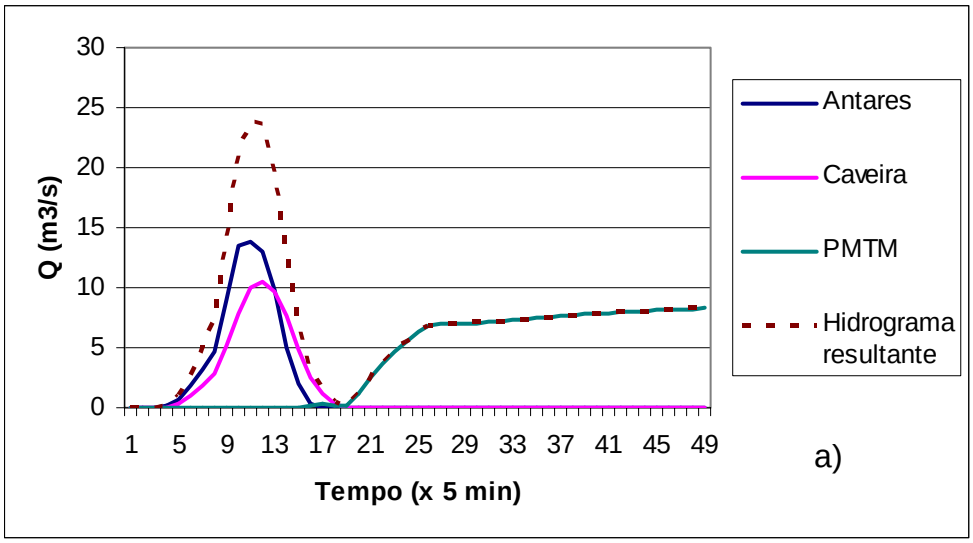
O efeito de antecipação do tempo de pico para os hidrogramas foi mais agudo na seção 1, onde houve casos de mais de 5 minutos de defasagem, por causa da correção dos tempos de concentração das sub-bacias Antares e Caveira, duas das que mais sofreram processo de urbanização.

5.3.4 Resultados e discussões das simulações incluindo o Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins

A análise do escoamento superficial na bacia do rio Jacarecica envolvendo o funcionamento do PMTM pode avaliar os efeitos quantitativos ante o importante questionamento: existe aumento real no pico de vazão no canal principal do rio Jacarecica devido ao PMTM?

Os hidrogramas resultantes (figura 60 até 62), para a precipitação de 60 minutos com 10 anos de tempo de retorno nas seções escolhidas, mostram que não. O que acontece em chuvas de curta duração é a defasagem entre os picos. A alteração, no entanto, é o aumento no volume do escoamento, ou seja, o acréscimo na quantidade total da água em trânsito na bacia do rio Jacarecica.

[7] Neste caso houve a contribuição da vazão proveniente do projeto da Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins, em condições críticas, segundo Peplau *et al* (2004).



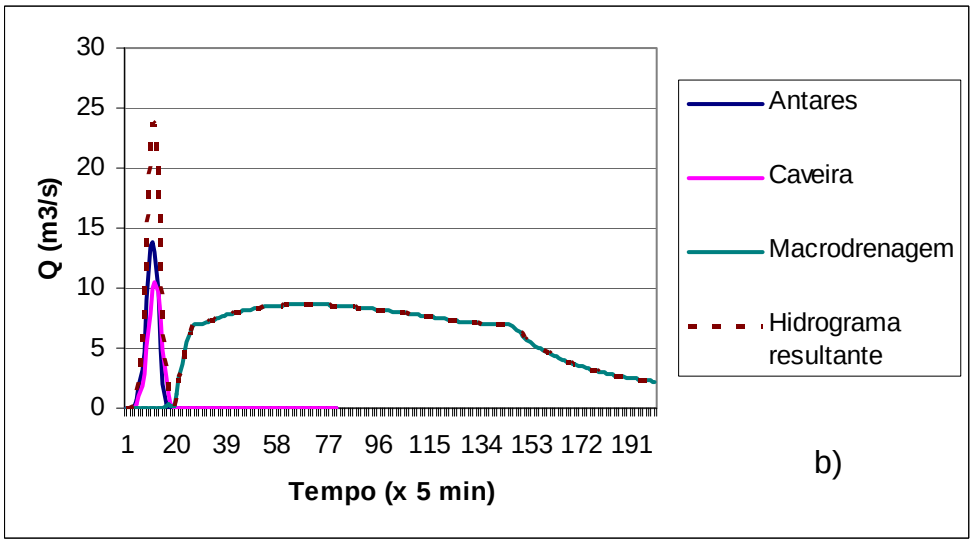
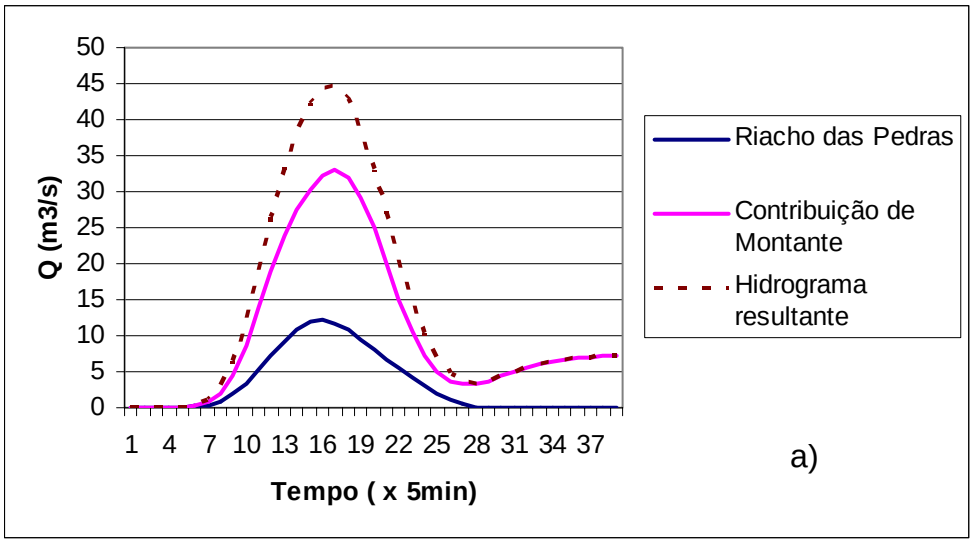


Figura 60a e 60b – Hidrogramas com a transposição proposta pelo PMTM para o uso e ocupação do solo do possível cenário em 2015, na bacia do rio Jacarecica, chuva de 60 minutos, Tr = 10 anos, seção 1.

A defasagem é clara entre os picos das sub-bacias Caveira e Antares, em comparação com o desemboque do PMTM, sendo que neste caso não há a influência da transposição na vazão de pico nesse ponto de controle.



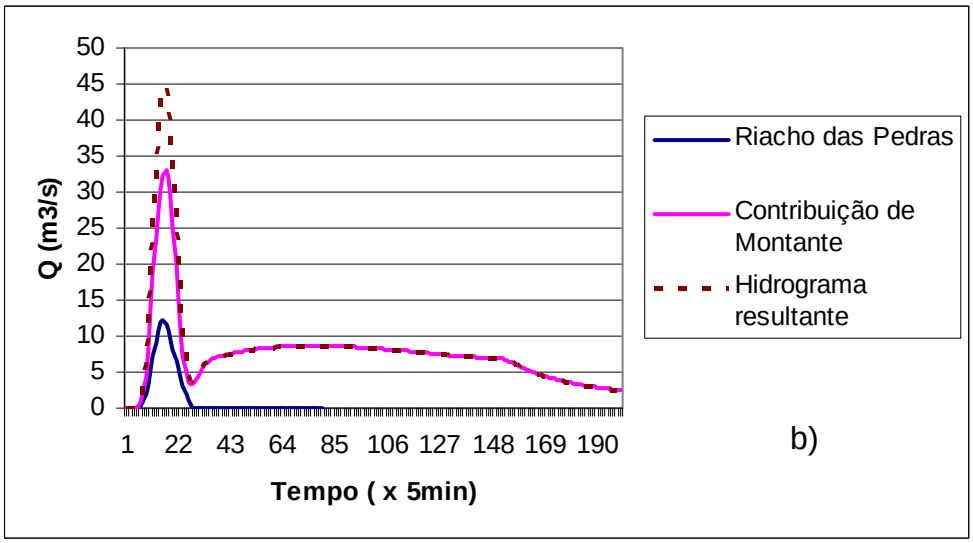
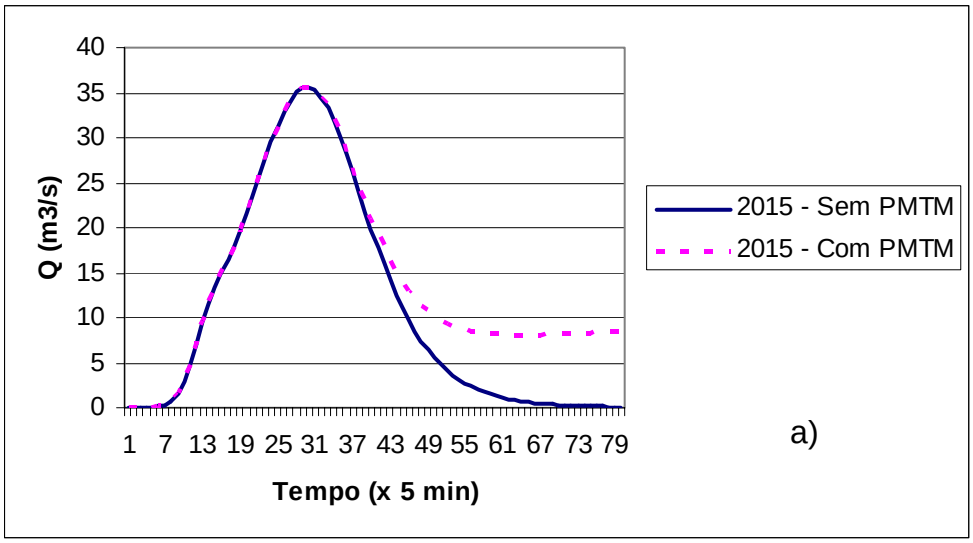


Figura 61a e 61b – Hidrogramas com a transposição proposta pelo PMTM para o uso e ocupação do solo do possível cenário em 2015, na bacia do rio Jacarecica, chuva de 60 minutos, Tr = 10 anos, seção 2.

Aqui se percebe também que não existe influência devido ao escoamento projetado pelo PMTM na vazão de pico local. O escoamento proveniente da transposição aparece no hidrograma bem após o pico de vazão.



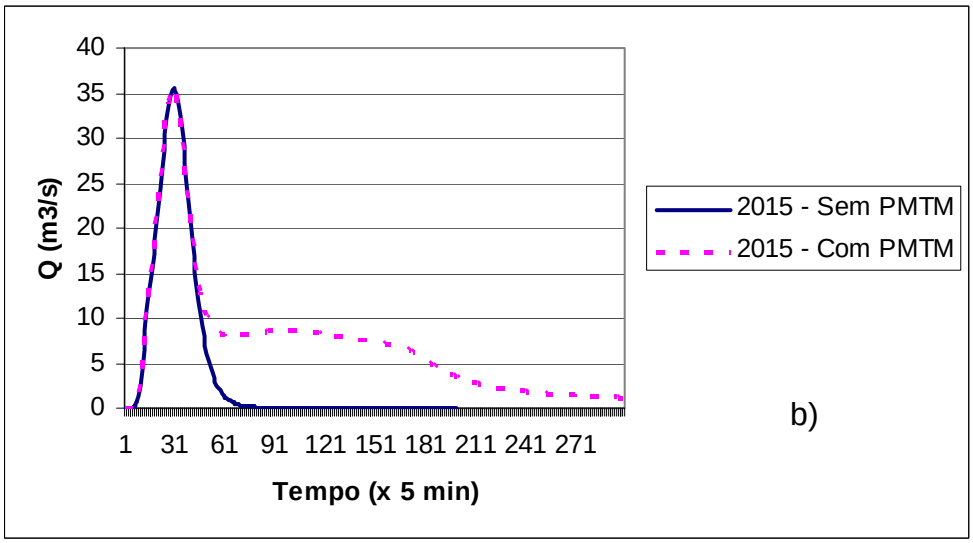


Figura 62a e 62b – Comparação de hidrogramas com e sem a transposição proposta pelo PMTM para o uso e ocupação do solo do possível cenário em 2015, na bacia do rio Jacarecica, chuva de 60 minutos, Tr = 10 anos, seção 3.

A comparação da seção 3 é sobre o escoamento sem o PMTM em relação ao funcionamento desta. O que acontece nesta simulação é que também o PMTM não altera o pico de vazão, nesta que é a seção de controle mais crítica da rede.

Percebe-se que ainda que a vazão de pico permaneça inalterada, o volume de água na calha do rio Jacarecica devido ao funcionamento do PMTM aumenta, permanecendo essa água na bacia por mais de 1500 minutos o que corresponde a mais de 25 horas.

A rede com a transposição do PMTM também foi simulada em condições de precipitações mais raras, caso da chuva de 2 dias de duração, nas condições

descritas em 4.3. O hietograma da precipitação efetiva simulada apresentou 2 picos para todas as sub-bacias (figura 63) fato refletido nos picos de vazão (figura 64). A presente simulação apresenta a comparação simulada com os reservatórios do PMTM cheios e vazios, e o escoamento para a bacia do rio Jacarecica sem a transposição.

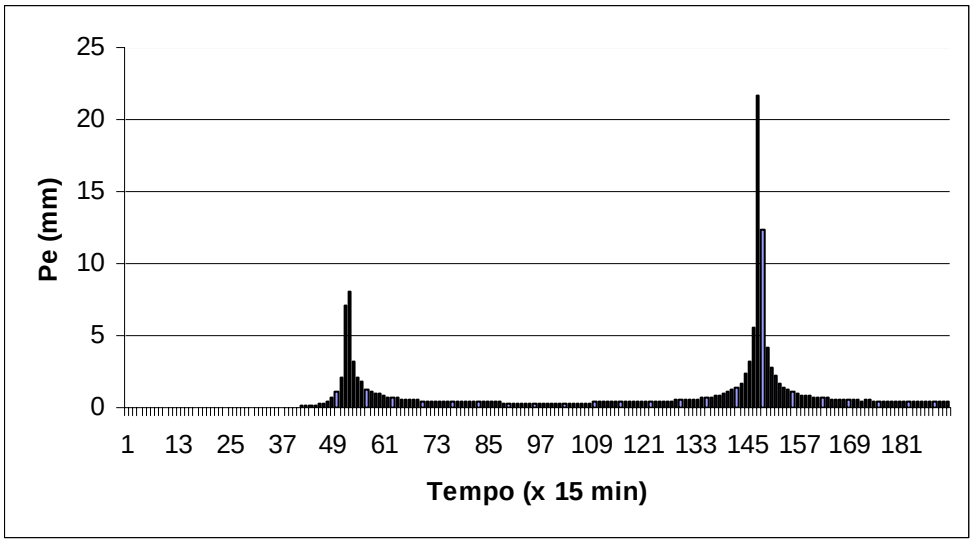


Figura 63 – Hietograma da precipitação efetiva na sub-bacia PC Ponte do rio Jacarecica, para uma precipitação de 2 dias com Tr = 25 anos e intervalo de discretização de 15 minutos.

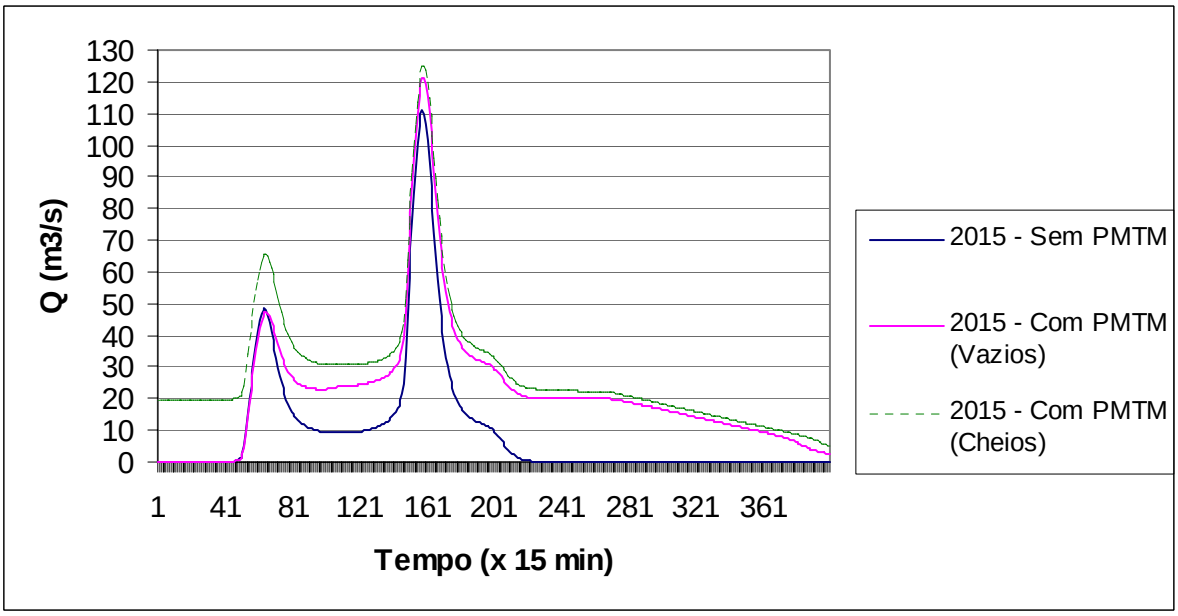


Figura 64 – Hidrogramas simulados na seção 3 para comparação do escoamento superficial para a bacia do rio Jacarecica com os reservatórios em funcionamento do PMTM cheios e vazios, e o escoamento sem a transposição.

Neste caso, houve aumento real da vazão do 2° pico de pouco mais de 9,2% para o caso dos reservatórios vazios e 12,6% para o pico da situação com os reservatórios plenos.

Diante dos resultados das simulações, comprova-se que o PMTM para chuvas mais comuns não altera o pico de vazão do rio Jacarecica, enquanto que para a ocorrência de precipitações raras, acontecem aumentos.

A discretização da precipitação foi automaticamente reoordenada pelo IPHS1 (reordenamento automático da posição do pico da tormenta de projeto por blocos alternados), provocando os picos de precipitação efetiva.

Para a situação onde os reservatórios estão cheios, vale ressaltar que o escoamento superficial deve ser levado em conta apenas a partir da deflexão do hidrograma para o 1º pico, já que até então não há precipitação efetiva e a vazão existente deve-se ao funcionamento do PMTM.

Vale a pena ressaltar que todos os resultados foram obtidos mediante a idealização de uma precipitação uniforme temporal e espacialmente em ambas as bacias (Jacarecica e Tabuleiro dos Martins). Dependendo da distribuição tempo-espaço da precipitação, podem ocorrer situações diferentes como a coincidência dos picos de vazão das duas bacias, picos duplos, etc.

5.4. Considerações sobre a degradação ambiental na bacia

A presença antrópica sem planejamento urbanístico sustentável aliada a uma infinidade de causas, tanto na esfera governamental, quanto na social, em Maceió como um todo e também na bacia do rio Jacarecica, vem ocasionando degradação ambiental das mais variadas maneiras. Não é raridade encontrar áreas com resíduos sólidos em quantidade, entulhos de construção civil, erosões, esgotos a céu aberto e outros que provocam alterações ambientais negativas na bacia.

Esses problemas trazem prejuízos à saúde da população e ao meio ambiente locais, além da alteração do regime de vazões do rio. Em casos de inundações, agravadas também pela condição de assoreamento do rio que diminui a seção de escoamento da calha fluvial, existe o risco de doenças (como cólera, leptospirose, dengue, etc) provenientes do mau gerenciamento e estado lamentável do saneamento ambiental na bacia.

Além disso, a obra de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins há algum tempo vem operando (figura 15) sem licença de funcionamento. Sem as estruturas dissipadoras de energia, cujas obras nem chegaram a começar, o solo imediatamente à jusante do túnel de desemboque foi erodido e uma grande cratera apareceu, provocando assoreamentos à jusante.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia adotada, apesar de laboriosa mostrou-se satisfatória para delimitação de áreas e definição do uso e ocupação do solo. Os procedimentos envolvidos na modelagem hidrológica possuem rica literatura e o programa IPHS1 mostrou-se de fácil entendimento, flexibilidade e aplicabilidade para a área de estudo.

Se houvesse disponibilidade de recursos financeiros para aquisição de imagens de satélite de alta resolução, teria sido possível realizar trabalho semelhante com melhor precisão e gastando menos tempo.

Na modelagem, a discretização em micro-bacias, promoveu um melhor entendimento do processo hidrológico do escoamento superficial, já que é possível obter resultados em cada ponto de controle dentro da bacia onde se inserem também alguns locais de interesse específico, onde a vazão é sensivelmente modificada.

As visitas de campo forneceram dados importantes para a determinação do parâmetro CN, tanto rural como urbano, e também, a sensibilidade necessária para previsões futuras de ocupação do solo, isso porque à época não havia qualquer planejamento formal de expansão urbana para a área.

A diferença pequena em valores absolutos em relação à variável CN, para os diferentes cenários, deve-se à cautela em reproduzir a evolução do quadro urbano entre os cenários analisados e também ao fato da idealização adotada de não levar em conta desmatamentos e alterações significativas na paisagem rural da bacia, além desta ainda possuir área bastante significativa da bacia. Mesmo assim a previsão realizada pode ser considerada “otimista”, quando se avaliam outros casos na própria cidade de Maceió, como a bacia do riacho Reginaldo e seus tributários.

Os valores de vazão simulados pelo IPHS1 servem muito mais a nível de comparação entre si, em relação aos valores absolutos, pois a formulação busca situações críticas apenas prováveis de ocorrer, enquanto que a criteriosa escolha dos CN’s para cada cenário discutido, revela com mais clareza a influência da expansão urbana na vazão de pico da bacia em questão.

No contexto da urbanização da cidade de Maceió, a bacia hidrográfica do rio Jacarecica já pode ser considerada uma área de plena expansão imobiliária, com novos loteamentos e conjuntos habitacionais, o que inegavelmente reflete no

escoamento superficial, tanto no pico de cheia, como também, na qualidade das águas pluviais e fluviais.

Esse impacto poderia ser menor se fossem adotadas medidas de infra-estrutura adequadas, no contexto do saneamento ambiental como um todo. A falta de redes de drenagem pluvial de visibilidade sustentável e de medidas não-estruturais que envolvessem as comunidades e o governo tem levado suas conseqüências indesejáveis (lixo, doenças e enchentes) ao meio ambiente e à população em geral.

O funcionamento sem a devida autorização dos órgãos ambientais e sem a conclusão das obras do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins (PMTM) é um reflexo de como a drenagem urbana vem sendo abordada na cidade de Maceió. Não é objetivo deste trabalho, no entanto, comentar o PMTM sob os vários aspectos nos quais está ele inserido, sendo somente importante a observação que o PMTM proposto e já em funcionamento, ainda é alvo de discussões na esfera técnica, política e social, recebendo várias críticas.

Os dados sobre o PMTM ora utilizados neste trabalho, podem ser um pouco diferentes da realidade construída, pois se sabe que o projeto além de ser modificado constantemente, foi executado, em parte, fora das concepções previstas. Esse fato, porém, não diminui a importância da avaliação realizada nessa pesquisa.

A vazão de pico do rio Jacarecica foi pouco modificada devido ao PMTM, mas em compensação o volume de água aumentou bastante. Estando as águas provenientes do PMTM de alguma forma contaminadas (Lins, 2005) os reflexos seriam sentidos sobre a biota do rio e de seu entorno, além do impacto negativo na praia de Jacarecica, freqüentada pelos moradores locais.

Foi constatado o fato de que as políticas de drenagem e meio ambiente na bacia do rio Jacarecica são ineficientes, já que ocorrem muitos desmatamentos, explorações de saibro de modo impactante, grandes áreas erodidas e invasões de encostas.

A falta de eficácia na aplicação do gerenciamento urbano na bacia tem permitido invasões e ocupação de terrenos inadequadamente e isso se aplica a algumas Áreas de Proteção Permanente (APP), notadamente no alto curso e próximo à foz, além do Parque Aquático (Ecopark).

Para outros trabalhos da região recomenda-se:

- O uso de diferentes metodologias para a estimativa do uso e ocupação do solo na bacia e também para os cálculos hidrológicos, utilizando, por exemplo modelos distribuídos associados a um SIG a partir de imagens de satélites de precisão;
- O estudo de alternativas estruturais e não-estruturais sob o aspecto da sustentabilidade da drenagem local, tanto para a bacia do rio Jacarecica como para as áreas envolvidas no PMTM;
- Um estudo pormenorizado do Plano Diretor de Maceió que está sendo elaborado e avaliado, no que diz respeito à aplicabilidade do Plano de Drenagem Urbana na bacia do rio Jacarecica e também sobre os vetores de expansão urbana;
- O monitoramento hidrológico, para descrever fielmente o comportamento temporal dos cursos d'água da bacia, com a medição das vazões reais em determinada seção de forma praticamente contínua. Tal variável pode ser tomada tendo por estrutura de coleta uma seção de controle e equipamentos providos com *datalogger*, pluviômetro de registro automático dentre outros; o que renderia bons trabalhos científicos na área;
- Um estudo hidrossedimentológico no rio Jacarecica, haja vista a grande exploração de saibro na região;
- Um estudo sobre aspectos de existência, construção, qualidade de água e manutenção da rede de microdrenagem nos loteamentos, ruas e avenidas da região e os problemas reais decorrentes;
- A atualização da curva IDF para a cidade de Maceió e a avaliação do erro nos cálculos realizados com o uso da formulação de Pfafstetter (1957) ao longo dos anos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil** – Relatório do Workshop em Goiânia, Universidade Federal de Goiás – UFGO, 2003. 24p. Disponível em: <http//www.abrh.org.br>. Acesso em 21 mai 2005.

AGRA, S. G.; SILVA JÚNIOR, O. B. da **Estudo de Impacto Ambiental do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins – Estudos Hidrológicos**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – UFAL, Maceió, 1998.

AGRA, S. G.; SILVA JÚNIOR, O. B. da; CARVALHO, G. S. Avaliação hidrológica do projeto de macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins – Maceió/AL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, VI. Maceió. 2002. 21p. CD ROM.

AGRA, S. G.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. Sustentabilidade em Drenagem Urbana: Escolhendo a Estrutura de Controle Adequada para cada Problema. In. ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, VI, Belo Horizonte, 2005. 4p.

ALAGOAS. Instituto do Meio Ambiente - IMA. **Levantamento Aerofotográfico do Município de Maceió/AL**. Esc 1/18000. 1989.

ALAGOAS. PROJETO IMA/GTZ. **Diagnóstico Físico Conservacionista da Bacia Hidrográfica do Rio Prataji**. Instituto do Meio Ambiente. Secretaria de Planejamento do Estado de Alagoas. Maceió, 1993.

ALAGOAS. Secretaria de Planejamento de Alagoas –SEPLAN **Os Recursos Hídricos do Estado de Alagoas**, Maceió, 1994.

ALAGOAS. Secretaria de Infra-estrutura de Alagoas – SEINFRA. **Adequação do Projeto Básico de Macro Drenagem do Grande Tabuleiro – Maceió/AL – Estudo da Calha do Riacho Jacarecica – Estudos Hidrológicos.** Maceió, 1998.126p.

ALAGOAS. Secretaria de Infra-estrutura de Alagoas – SEINFRA. **Sistema de Macro Drenagem do Grande Tabuleiro – Maceió/AL – Projeto Executivo – Compatibilização – Relatório Final.** Maceió, 1999.

ALCÂNTARA, E. H.; SANTOS, M. F. C. V.; BARBIERI, R. Efeitos da Urbanização na Hidrologia da Bacia da Laguna da Jansen, São Luís-MA (Brasil). In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, VI. Maceió. 2002.10p.CD ROM.

ALMEIDA, F. “Rio Jacarecica será novo Salgadinho. **GAZETA DE ALAGOAS**, 19 de setembro de 2004, Caderno E. 2004. p.7.

ANDO, Y.; MUSIAKE, K.; TAKAHASI, Y. Modelling of Hydrologic Process in a Small Urbanized Hillslope Basin with Comments on the Effects of Urbanization. **Journal of Hydrology**. v.68, 1984. p.61-83.

ANDRIEU, H.; CHOCAT, B. Introduction to the Special Issue on Urban Hydrology. **Journal of Hydrology**. v.299, 2004. pp.163-165.

ARAÚJO, C. C. **Análise dos parâmetros limnológicos no rio Prataji: simulação utilizando o modelo matemático qual2e**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – UFAL, Maceió, 2004. 54p.

ARAÚJO, J. A. C. de. **Análise do Escoamento Superficial na Bacia de Contribuição do Perímetro Irrigado da Fazenda Nossa Senhora do Rosário.** UFRPE. Dissertação (Mestrado), Recife, 2001.110p.

ARAÚJO FILHO, P. F. de. **Modelagem Hidrológica, com Implantação de um Limite Máximo no Déficit Hídrico do Modelo TOPMODEL, e Aplicação na Região de Transição entre a Zona da Mata e o Agreste Pernambucano.** UFPE. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Tese (Doutorado), Recife, 2004. 130p.

BARROS, R. M.; ESTEVES, R. L.; MEDIONDO, E. M.; WENDLAND, E. Cálculo de Vazões em Eventos Críticos para Mapeamento de Inundações na Sub-bacia do Córrego Gregório, São Carlos-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVI. Curitiba. 2003, 14p. CD ROM.

BENETTI, A.; BIDONE, F. O Meio Ambiente e os Recursos Hídricos . In TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação, Editora da Universidade UFRGS, ABRH, EDUSP. Porto Alegre, cap.22, 2001. pp.849-875.

BRAGA, R. A. P. (Org). **Gestão Ambiental da Bacia do rio Tapacurá**. Editora Universitária da UFPE, Recife/PE, 2001. 101p.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Institui o novo Código Florestal.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, promulgada em 05 de outubro de 1988.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei no 8.001 , de 13 de março de 1990 que modifica a Lei no. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasi**l, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Seção 1, p.470

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **A Questão da Drenagem Urbana no Brasil** – Elementos para a formulação de uma Política Nacional de Drenagem Urbana. Versão 001. Texto para discussão. Disponível em: <http//www.snis.gov.br>. Acesso em 28 mai 2005. Brasília, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento** – Orientações Técnicas. Brasília, 2004. 408p.

BRASIL. Proposta de **Plano Nacional de Águas Pluviais.** Ministério das Cidades. Brasília, 2004.90p.

BRASIL. **Projeto de Lei que institui as diretrizes básicas para os serviços públicos de saneamento básico e Política Nacional de Saneamento Básico (PNS).** Disponível em: <http//www.snis.gov.br>. Acesso em 14 jun 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Disponível em: <http//www.saude.gov.br>. Acesso em 28 mai 2005.

CASTRO, L. M. A. de; BAPTISTA, M. B. Proposição de indicadores para avaliação de sistemas de drenagem urbana. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, VI. Maceió. 2002. 14p. CD ROM.

COLLARES E. G. **Avaliação de Alterações em Redes de Drenagem de Microbacias como Subsídio ao Zoneamento Geoambiental de Bacias Hidrográficas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari-SP**. USP – Escola de Engenharia de São Carlos. Tese (Doutorado), São Carlos, 2000. 211p.

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 30, de 11 de dezembro de 2002**. Estabelece diretrizes sobre a adoção, para efeito de codificação das bacias hidrográficas no âmbito nacional, a metodologia descrita no anexo I desta resolução.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 303, de 20 de março de 2002**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências.

DEBO, T. N.; REESE, A. J. **Municipal Storm Water Management.** Lewis Publishers. Boca Raton-Fl. 2000. 751p.

ECOPARK – Parque Aquático. [sem título]. Informações verbais do proprietário e disponibilização de 2 fotografias. 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Diagnóstico Ambiental do Município de Maceió – Anexo I-f – Levantamento Semi-detalhado de Solos.** *No prelo*. 2005.

FONTES, A. R. M.; BARBASSA, P. A. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e Impermeabilização Urbanas. In. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Volume 8 n.2 Abr/Jun, 2003. pp.137-147.

GERMANO, A. O.; TUCCI, C. E. M. Variabilidade do Parâmetro CN em Bacias Urbanas Brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XI. Recife. 1995. pp. 177-182.

GÓES, V. C.; ALCOFORADO, R. G.; ESCARIÃO, R. D.; CIRILO, J. A. Avaliação de Imagens de Satélite com Alta Resolução para Desenvolvimento de Estudos Hidrológicos em Bacias Urbanas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVI. Curitiba. 2003.14p. CD ROM.

GRH - GRUPO DE RECURSOS HÍDRICOS DO DEPTO. DE ENGENHARIA CIVIL DA UFPE. **Manual do Sistema de Informações para Gestão do Meio Ambiente** – **SIGMA.** Recife, 2001, 110p.

HUNDECHA, Y.; BÁRDOSSY, A. Modeling of the Effect of Land Use Changes or the Runoff Generation of a River Basin through Parameter Regionalization of a Watershed Model. **Journal of Hydrology**. 2004. v.292, pp.281-295.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http//www.ibge.br>. Acesso em 20 mai.2005.

LINS, R. C. **Simulação Quali-quantitativa da Bacia do Rio Jacarecica**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – UFAL, Maceió, 2005. 59p.

LIRA, A. M. **Avaliação das Condições do sistema de Macrodrenagem da Cidade de São Carlos – SP.** USP, Escola de Engenharia de São Carlos. Dissertação (Mestrado), São Carlos, 2003.188p.

MACEIÓ. Secretaria Municipal de Controle do Convívio Urbano SMCCU - Coordenadoria de Geoprocessamento. **Base Cartográfica Numérica.** Maceió. 1999.

MELO, M.; MARTINS, E. S.; NAVAS, C. Estudo hidrológico e hidráulico para análise de cheias utilizando sistemas de informações geográficas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, VI. Maceió. 2002.19p. CD ROM.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2001.536p.

MOREIRA L. F. F.; ARAÚJO, M. V. de; AMARAL, R. F. do. Método de Clark e Ferramentas de Geoprocessamento na Determinação do Hidrograma de Cheia em Pequenas Bacias Urbanas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVI. Curitiba. 2003.12p. CD ROM.

O Jornal. Empresa Editora O Jornal LTDA [sem título], 1 fotografia, 02/06/2004. Caderno Cidades, 2004.

OLIVEIRA, C. P. M; PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; ROBERTO, A. N. ABC 6, um Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Cheias em Bacias Complexas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XIII, Belo Horizonte. 1999. 18p.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Relatório Brundtland** : Nosso futuro comum. [S.l]. 1987

ONU - Organização das Nações Unidas. **Guidelines for Reducing Flood Losses**. 87p. Disponível em: < http//www.unisdr.org/eng/library/isdr-publication/flood-Guidelines-for-reducing-floods-losses.pdf >. Acesso em 20 mai.2005.

PEDROSA, V. A. **O controle da urbanização na macrodrenagem de Maceió: Tabuleiro dos Martins**. UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.. Dissertação (Mestrado), Porto Alegre, 1996. 139p.

PEPLAU, G. R.; CARVALHO, G. S.; CABRAL, J. J. S. P. Ocorrência de Cheias Urbanas. Estudo de Caso: a Bacia do rio Jacarecica em Maceió/AL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, VII. São Luís. 2004.18p.

PEPLAU, G. R.; CABRAL, J. J. S. P. Conseqüências da Urbanização na Vazão de Drenagem em Micro-bacia do Rio Jacarecica em Maceió/AL. In. ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, VI, Belo Horizonte, 2005. 4p.

PFAFSTETTER, J. L. H. **Chuvas Intensas no Brasil**. DNOS. Rio de Janeiro. 1957.

POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. In. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Volume 5 n.1 Jan/Mar. 2000. pp.15-23.

POMPÊO, C. A.; GORNIACK, A. Em Busca de Diretrizes para Sustentabilidade em Loteamentos Residenciais na Região do alto Vale do Itajaí, am Santa Catarina. In. ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, VI, Belo Horizonte, 2005. 4p. CD ROM.

PORTO, M. F. A. **Recursos Hídricos e Saneamento na Região Metropolitana de São Paulo: Um Desafio do Tamanho da Cidade**. Banco Mundial, Brasília, 2003. 84p.

RODRIGUEZ, F.; ANDRIEU, H.; CREUTIN, J. D. Surface Runoff in Urban Catchments: Morphological Identification of Unit Hydrographs from Urban Databanks. **Journal of Hydrology**. v.283, 2003. pp.146-168.

SÃO PAULO. **Drenagem Urbana**: Manual de Projeto. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. 3ª edição. São Paulo, 1986. cap 2, pp.13-128.

SILVEIRA, A. L. L. Provável Efeito Urbano nas Relações IDF das Chuvas de Porto Alegre. In. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Volume 2 n.2 Jul/Dez, 1997. pp.93-107.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. In. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Volume 10 n.1. Jan/Mar, 2005. pp.5-23.

SOUZA, C.F. Mecanismos técnico-institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO SUL, I., Santa Maria. 2005. 15p. CD ROM.

SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: uma Aproximação à Sustentabilidade da Drenagem Urbana. In. ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, VI, Belo Horizonte, 2005. 4p. CD ROM.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. de; (org.) Drenagem Urbana, Editora da Universidade UFRGS, ABRH,. Porto Alegre, 1995 , cap.1, pp.15-36.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** Editora da Universidade – UFRGS, ABRH, Porto Alegre, 1998. 669p.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. In. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Volume 5 n.1 Jan/Mar. 2000. pp.61-68.

TUCCI, C. E. M. (a) Escoamento Superficial. In TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação, Editora da Universidade UFRGS, ABRH, EDUSP. Porto Alegre, cap.11, 2001. pp.391-441.

TUCCI, C. E. M. (b) Controle de Enchentes. In TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação, Editora da Universidade UFRGS, ABRH, EDUSP. Porto Alegre, cap.16, 2001. pp.621-658.

TUCCI, C. E. M. Inundações e Drenagem Urbana. In TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (org.) Inundações Urbanas na América do Sul, ABRH, Porto Alegre, cap.3, 2003. pp.45-129.

VALEO, C.; MOIN, S. M. A. Variable Source Area Modelling in Urbanizing Watersheds. **Journal of Hydrology**. v.228. 2000. pp.68-81.

VIEGAS FILHO, J. S.; TUCCI, C. E. M.; VILLANUEVA. A. Manual do Usuário – IPHS1. 2001. 38p.

VILLANUEVA. A.; ALLASIA, D. G.; NEVES, M.; TASSIS, R.; BERNHARDT, S. **Manual de Fundamentos do Modelo de Simulação Hidrológica IPHS1** – Versão preliminar. 2004. 45p.

8 ANEXOS

8.1 ANEXO A - CN dos locais urbanizados.

8.2 ANEXO B - Valor de CN dos locais em que foram estimadas alterações temporais de impermeabilização do solo e valor de CN dos locais em que foram estimadas áreas de futuras localizações urbanas (prognóstico).

8.3 ANEXO C - Distribuição percentual da ocupação rural considerada para as sub-bacias do rio Jacarecica.

8.4 ANEXO D - Classificação Pedológica dos solos da bacia do rio Jacarecica, segundo (EMBRAPA, 2005).

8.5 ANEXO E - Relações cota x vazão e cota x volume dos reservatórios de amortização de cheias.

ANEXO A - CN dos locais urbanizados

CN dos locais urbanizados - 2004 (continua)

Nº	Logradouro	Subbacias	CN lotes A | B | C | D	CN rua A | B | C | D	% lote	% rua	CN médio
1	Rua Bela Vista	Miramar, Serraria 1	54 | 70 | 80 | 85	72 | 82 | 87 | 89	91,66	8,34	71
2	Conjunto Costa Norte	Miramar, Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	85	15	91
3	Escola de Ensino Fundamental Paulo Freire	Miramar	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	85	15	91
4	Loteamento Park Miramar - A	Miramar, Serraria 1, Baixo 3	57 | 72 | 81 | 86	72 | 82 | 87 | 89	85,07	14,93	74
5	Margem da MAC 204 (1)	Serraria 1	61 | 75 | 83 | 87	98	89,33	10,67	77
6	Loteamento Park Miramar - B	Serraria 1	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	84,32	15,68	76
7	Residencial Oceanis	Miramar, Serraria 1	51 | 68 | 79 | 84	98	85	15	73
8	Margem da MAC 204 (2)	Serraria 1	61 | 75 | 83 | 87	98	63,53	36,47	83
9	Quarteirão em torno da Escola Estadual Fernandes Lima	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	72 | 82 | 87 | 89	87,19	12,81	91
10	Faixa de ocupação abaixo da escola	Serraria 1	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	78,97	21,03	84
11	Quarteirão do Colégio Santíssima Trindade	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	98	87,54	12,46	93
12	Rua Prof. Julião Marques (ocupação externa)	Serraria 1	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	81,85	18,15	84
13	Rua Prof. Julião Marques (ocupação interna)	Serraria 1	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	87,73	12,27	85
14	1º quarteirão do Conj. Arvoredo	Serraria 1	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	80,66	19,34	76
15	1º quarteirão do Conj. Arvoredo (II)	Serraria 1	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	83	17	76
16	Condomínio Bosque das Aroeiras	Serraria 1	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	90,97	9,03	76
17	Conj Arvoredo (Via Expressa)	Serraria 1	77 | 85 | 90 | 92	76 | 85 | 89 | 91	76,34	23,66	85
18	Vila São Roque	Serraria 1	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	83,97	16,03	85
19	Conjunto Jardim Samambaia	Serraria 1	77 | 85 | 90 | 92	76 | 85 | 89 | 91	71,24	28,76	85
20	Vila Samambaia	Serraria 1	57 | 72 | 81 | 86	72 | 82 | 87 | 89	85	15	74
21	Tribunal de Justiça Federal	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	98	20	80	97
22	Conj. José Tenório (I)	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	72 | 82 | 87 | 89	83,60	16,40	90
23	Vila por trás do Tribunal	Serraria 1	57 | 72 | 81 | 86	72 | 82 | 87 | 89	83,91	16,09	74
24	Conj. José Tenório (II)	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	77,64	22,36	90
25	Trecho urbanizado entre o José Tenório (I e II)	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	74,13	25,87	90
26	Conj. José Tenório (III)	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	77,14	22,86	90
27	Conj. José Tenório (IV)	Serraria 1, Serraria 2	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	89,57	10,43	91
28	Conj. Recanto da Serraria I [A]	Serraria 1, Serraria 2	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	81,38	18,62	84
29	Condomínio Teotônio Vilela	Serraria 1, Serraria 2	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	85	15	91
30	Loteamento Caminho do Mar	Serraria 1, Serraria 2	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	85,44	14,56	85
31	Loteamento Brisa da Serraria	Serraria 1, Serraria 2	51 | 68 | 79 | 84	72 | 82 | 87 | 89	78,85	21,15	71
32	Loteamento Recanto da Serraria III	Serraria 1, Serraria 2	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	85	15	85
33	Loteamento Recanto da Serraria II (a)	Serraria 1, Serraria 2	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	80,77	19,23	76
34	Loteamento Recanto da Serraria II (b)	Serraria 1, Serraria 2	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	78,17	21,83	84
35	Loteamento Recanto da Serraria II (II)	Serraria 1, Serraria 2	51 | 68 | 79 | 84	72 | 82 | 87 | 89	72,48	27,52	72
36	Loteamento Recanto da Serraria I [B]	Serraria 1	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	83,35	16,65	85
37	Loteamento Recanto da Serraria I (faixa)	Serraria 1, Serraria 2	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	94,62	5,38	85

CN dos locais urbanizados – 2004 (continua)

Nº	Logradouro	Subbacias	CN lotes A | B | C | D	CN rua A | B | C | D	% lote	% rua	CN médio
38	Quarteirão anterior ao Colégio Santíssimo Senhor	Serraria 1, Ecopark	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	77,57	22,43	77
39	Quarteirão do Colégio Santíssimo Senhor	Serraria 1, Ecopark	89 | 92 | 94 | 95	72 | 82 | 87 | 89	81,36	18,64	90
40	Condomínio Bosque das Bromélias	Ecopark, Médio 4	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	88,55	11,45	76
41	Conj Residencial entre a via expressa e o José Tenório	Serraria 1, Ecopark	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	85,05	14,95	76
42	EcoPark	Ecopark, Médio 4	89 | 92 | 94 | 95	72 | 82 | 87 | 89	85	15	93
43	Depois da entrada do Ecopark (Beira da pista)	Ecopark, Via expressa 4	77 | 85 | 90 | 92	98	79,79	20,21	88
44	Área de Sítios (inclusive o Arara Azul)	Ecopark, Via expressa 4	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	88,38	11,62	76
45	Loteamento após chácara Arara Azul	Ecopark, Via expressa 4	77 | 85 | 90 | 92	76 | 85 | 89 | 91	85,68	14,32	85
46	Pequena faixa de ocupação às margens da Via Expressa	Via expressa 4	89 | 92 | 94 | 95	72 | 82 | 87 | 89	82,65	17,35	90
47	Quarteirão do Shopping Motel	Via espressa 4, Via expressa 3	61 | 75 | 83 | 87	76 | 85 | 89 | 91	77,63	22,37	77
48	Condomínio Bosque da Serraria	Via expressa 3, Via expressa 2, Médio 1	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	83,23	16,77	84
49	Espaço comercial após o Condomínio Bosque da Serraria	Via expressa 2	89 | 92 | 94 | 95	98	84,55	15,45	93
50	Condomínio Vert Paradiso	Via expressa 2, Via expressa 1, Alto 3	77 | 85 | 90 | 92	76 | 85 | 89 | 91	85	15	85
51	Auto Vanessa	Via expressa 2, Via expressa 1	98	98	-	-	98
52	Posto Via Expressa	Via expressa 1	98	98	-	-	98
53	Transportadora Itaipava	Via expressa 1	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	78,23	21,77	90
54	Via Farma	Via expressa 1	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	89,24	10,76	91
55	Indaiá	Via expressa 1	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	89,91	10,09	91
56	Igramal	Via expressa 1	89 | 92 | 94 | 95	72 | 82 | 87 | 89	97,42	2,58	92
57	Galpões Via Expressa (1)	Via expressa 1, Antares	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	57,58	42,42	89
58	Condomínio Monte Verde	Via expressa 1, Antares, Alto 2	57 | 72 | 81 | 86	76 | 85 | 89 | 91	93,26	6,75	73
59	Conjunto Serraria 2	Antares, Alto 1, Alto 2	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	93,68	6,32	75
60	Residencial Mata Atlântica	Antares	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	85	15	91
61	Posto Jacutinga	Antares	98	98	-	-	98
62	Galpões Via Expressa (2)	Antares	89 | 92 | 94 | 95	98	81,72	18,28	93
63	Residencial Casa Forte	Antares	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	88,86	11,14	76
64	1º quarteirão do lado do residencial Casa Forte	Antares	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	80,34	19,66	76
65	Loteamento Alvorada	Antares	57 | 72 | 81 | 86	72 | 82 | 87 | 89	91,57	8,43	73
66	Conjunto Henrique Equelman	Antares	77 | 85 | 90 | 92	98	82,63	17,37	87
67	Vila Mariana	Antares	51 | 68 | 79 | 84	72 | 82 | 87 | 89	97,02	2,98	68
68	ETA Pratagy	Antares, Caveira	49 | 69 | 79 | 84	76 | 85 | 89 | 91	97,48	2,52	69
69	Benedito Bentes (arruamento em cima das grotas)	Antares, Caveira	49 | 69 | 79 | 84	76 | 85 | 89 | 91	80	20	72
70	Grotas Benedito Bentes	Antares, Caveira, Benedito Bentes, Alto 1	51 | 68 | 79 | 84	72 | 82 | 87 | 89	85	15	70
71	Condomínio Campos do Jordão	Antares	77 | 85 | 90 | 92	76 | 85 | 89 | 91	85	15	85

CN dos locais urbanizados – 2004 (conclusão)

Nº	Logradouro	Subbacias	CN lotes A | B | C | D	CN rua A | B | C | D	% lote	% rua	CN médio
72	Complemento Campos do Jordão	Antares	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	85	15	76
73	Loteamento Pouso da Garça	Antares	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	85	15	76
74	CAIC	Caveira	49 | 69 | 79 | 84	98	79,75	20,25	75
75	Benedito Bentes 2	Caveira, Benedito Bentes, Alto 1	77 | 85 | 90 | 92	98	82,22	17,78	87
76	Parque Aquático Blue Water	Benedito Bentes, Moacir Andrade	57 | 72 | 81 | 86	98	97,03	2,97	73
77	Conjunto Moacir Andrade	Moacir Andrade	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	79,78	21,22	84
78	Conjunto Selma Bandeira	Moacir Andrade	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	78	22	84
79	Conjunto Cabo Luís Pedro III	Pedras	77 | 85 | 90 | 92	76 | 85 | 89 | 91	85	15	85
80	“Freitas Neto”	Pedras	61 | 75 | 83 | 87	76 | 85 | 89 | 91	78,68	21,32	77
81	Benedito Final	Pedras	51 | 68 | 79 | 84	72 | 82 | 87 | 89	80	20	71
82	Conj. Jacarecica	Conjunto Jacarecica, Baixo 5	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	81,77	18,23	89
83	Conj. Jacarecica (Novo)	Conjunto Jacarecica	89 | 92 | 94 | 95	76 | 85 | 89 | 91	85	15	89
84	Complemento Conj. Jacarecica	Conjunto Jacarecica	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	85	15	85
85	Ocupação comercial margem rio Jacarecica	Conjunto Jacarecica, Baixo 5, PC Ponte	89 | 92 | 94 | 95	98	76,35	23,65	91
86	Condomínio Bosque dos Coqueiros e Adjacências	Baixo 5, PC Ponte	61 | 75 | 83 | 87	76 | 85 | 89 | 91	81,50	18,50	64
87	Loteamento Jacarecica	Baixo 5	51 | 68 | 79 | 84	72 | 82 | 87 | 89	80,84	19,16	55
88	Rua Prof. Noêmia Gama Ramalho	Baixo 4, Baixo 5	51 | 68 | 79 | 84	72 | 82 | 87 | 89	91,39	8,61	80
89	Clube dos Funcionários da Prefeitura	Serraria 1, Baixo 3	57 | 72 | 81 | 86	72 | 82 | 87 | 89	85	15	82
90	Cercania do Lixão	Miramar	61 | 75 | 83 | 87	72 | 82 | 87 | 89	85	15	76
91	Complemento 1	Serraria 1	61 | 75 | 83 | 87	98	85	15	78
92	Complemento 2	Serraria 1	61 | 75 | 83 | 87	98	85	15	78
93	Complemento 3	Serraria 1	61 | 75 | 83 | 87	98	85	15	78
94	Complemento 4	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	98	85	15	93
95	Complemento 5	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	98	85	15	93
96	Complemento 6	Serraria 1	89 | 92 | 94 | 95	98	85	15	93
97	Complemento 7	Ecopark	77 | 85 | 90 | 92	98	85	15	87
98	Complemento 8	Via expressa 2	77 | 85 | 90 | 92	98	85	15	87
99	Complemento 9	Via expressa 1, Antares	89 | 92 | 94 | 95	72 | 82 | 87 | 89	85	15	91
100	Complemento 10	Benedito Bentes, Moacir Andrade	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	85	15	85
101	Complemento11	Pedras	77 | 85 | 90 | 92	72 | 82 | 87 | 89	85	15	85
102	Complemento12	Miramar	51 | 68 | 79 | 84	98	85	15	73
103	Complemento 13	Caveira	-	98	0	100	98
104	Complemento 14	Benedito Bentes	77 | 85 | 90 | 92	98	85	15	87

ANEXO B - Valor de CN dos locais em que foram estimadas alterações temporais de impermeabilização do solo e valor de CN dos locais em que foram estimadas áreas de futuras localizações urbanas (prognóstico).

Valor de CN dos locais em que foram estimadas alterações temporais de impermeabilização do solo

Nº	Logradouro	CN 2004	CN 2015
1	Residencial Oceanis	73	85
2	Condomínio Bosque das Aroeiras	76	85
3	Loteamento Brisa da Serraria	71	75
4	Loteamento Recanto da Serraria II (II)	72	75
5	Residencial Casa Forte	76	85
6	Vila Mariana	68	72

Valor de CN dos locais em que foram estimadas áreas de futuras localizações urbanas (prognóstico)

Logradouro	Sub-bacia	Área (m^2)	CN
Prog1	Serraria 1	30120	85
Prog2	Serraria 1, Serraria 2, Ecopark, Médio 4, Médio 5, Baixo 1	394275	75
Prog3	Via expressa 4	28420	85
Prog4	Via expressa 1	28675	85
Prog5	Via expressa 1, Alto 2	110387	75
Prog6	Benedito Bentes, Moacir Andrade, Alto 2, Alto 3	282804	75
Prog7	Pedras, Alto 4, Médio 1, Médio 2	197399	75
Prog8	Pedras	192144	75
Prog9	São João	87649	72
Prog10	São João	55215	72
Prog11	Conjunto Jacarecica	48715	85
Proggrotas (solo C)	Caveira, Antares, Alto 1, Benedito Bentes	187499	81
Proggrotas (solo B)	Caveira, Antares, Alto 1, Benedito Bentes	352856	72

ANEXO C - Distribuição percentual da ocupação rural considerada para as sub-bacias do rio Jacarecica.

Distribuição percentual da ocupação rural considerada para as sub-bacias do rio Jacarecica em 1988 (continua)

Sub-bacia	Policultura		Vegetação Primária		Vegetação secundária		Cana-de-açúcar		Pastagem		Solo nu	
	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural
Conjunto Jacarecica	0,037	0,045	-	-	40,94	49,86	-	-	-	-	41,13	50,09
Miramar	16,82	17,81	-	-	42,05	44,02	-	-	35,59	37,68	-	-
Serraria 1	20,67	24,17	3,15	3,68	32,28	37,74	-	-	28,63	33,47	0,81	0,94
Serraria 2	21,67	21,68	5,31	5,32	55,20	55,22	-	-	16,62	16,62	1,17	1,17
Ecopark	4,90	6,46	27,22	35,88	36,06	47,53	-	-	7,68	10,12	-	-
Via expressa 4	32,96	34,41	2,34	2,45	43,39	45,30	4,69	4,90	6,35	6,63	6,06	6,32
Via expressa 3	7,81	8,47	-	-	62,37	67,63	13,59	14,74	8,45	9,16	-	-
Via expressa 2	23,84	26,68	-	-	51,49	57,62	-	-	8,51	9,53	5,51	6,17
Via expressa 1	2,11	2,25	5,04	5,39	62,02	66,34	-	-	20,70	22,14	3,62	3,88
Antares	17,67	29,18	1,48	2,45	14,15	23,36	10,27	16,95	17,00	28,06	-	-
Caveira	10,36	24,69	-	-	0,74	1,77	1,68	3,99	17,39	41,43	11,80	28,12
Benedito Bentes	24,65	34,02	-	-	-	-	6,19	8,55	41,61	57,43	-	-
Moacir Andrade	7,08	7,08	-	-	59,20	59,20	12,19	12,19	12,76	12,76	8,77	8,77
Riacho das Pedras	-	-	0,56	0,56	66,69	66,69	15,02	15,02	17,72	17,72	-	-
Recantos	13,69	13,69	5,01	5,01	43,30	43,30	37,90	37,90	0,10	0,10	-	-
São João	15,54	15,54	-	-	42,44	42,44	41,52	41,52	0,59	0,59	-	-
Sítios	17,71	17,71	-	-	41,39	41,39	37,49	37,49	-	-	3,41	3,41
Alto 1	41,50	91,58	-	-	-	-	-	-	3,81	8,42	-	-
Alto 2	0,23	0,23	-	-	70,05	70,08	6,06	6,06	13,57	13,58	10,05	10,05

Distribuição percentual da ocupação rural considerada para as sub-bacias do rio Jacarecica em 1988 (conclusão)

Sub-bacia	Policultura		Vegetação Primária		Vegetação secundária		Cana-de-açúcar		Pastagem		Solo nu	
	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural
Alto 3	-	-	-	-	80,56	80,56	-	-	19,44	19,44	-	-
Alto 4	-	-	-	-	81,67	81,67	-	-	16,99	16,99	1,33	1,33
Médio 1	-	-	-	-	76,39	76,39	-	-	23,61	23,61	-	-
Médio 2	-	-	-	-	76,52	76,52	-	-	23,48	23,48	-	-
Médio 3	-	-	46,39	46,39	36,35	36,35	-	-	17,26	17,26	-	-
Médio 4	-	-	21,40	21,40	67,77	67,77	-	-	10,83	10,83	-	-
Médio 5	3,22	3,22	-	-	62,84	62,84	13,87	13,87	19,27	19,27	0,80	0,80
Baixo 1	7,61	7,61	-	-	58,15	58,15	-	-	34,24	34,24	-	-
Baixo 2	-	-	-	-	37,95	37,95	3,13	3,13	58,92	58,92	-	-
Baixo 3	5,33	5,33	-	-	41,59	41,59	4,79	4,79	48,29	48,29	-	-
Baixo 4	29,71	29,71	-	-	38,47	38,47	-	-	20,08	20,08	11,74	11,74
Baixo 5	48,55	62,79	-	-	14,63	18,92	-	-	14,14	18,29	-	-
Pc Ponte	82,88	95,05	-	-	-	-	-	-	-	-	4,31	4,95

Distribuição percentual da ocupação rural considerada para as sub-bacias do rio Jacarecica em 2004 (continua)

Sub-bacia	Policultura		Vegetação Primária		Vegetação secundária		Cana-de-açúcar		Pastagem		Solo nu	
	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural
Conjunto Jacarecica	0,04	0,07	-	-	25,06	48,24	-	-	-	-	26,86	51,69
Miramar	4,41	5,66	-	-	42,05	54,04	-	-	31,35	40,29	-	-
Serraria 1	12,95	17,71	3,15	4,31	31,17	42,62	-	-	25,06	34,26	0,81	1,10
Serraria 2	14,51	16,26	5,26	5,89	54,62	61,20	-	-	13,70	15,35	1,16	1,29
Ecopark	4,81	7,36	26,71	40,86	33,85	51,78	-	-	-	-	-	-
Via expressa 4	32,96	35,87	2,34	2,55	43,39	47,22	4,69	5,10	2,45	2,67	6,06	6,59
Via expressa 3	7,81	8,78	-	-	62,37	70,07	13,59	15,27	5,24	5,88	-	-
Via expressa 2	24,84	29,04	-	-	53,64	62,72	-	-	1,30	1,52	5,74	6,72
Via expressa 1	2,11	2,69	5,05	6,45	61,19	78,15	-	-	6,32	8,07	3,63	4,64
Antares	17,12	44,62	1,48	3,87	14,15	36,87	-	-	1,75	4,57	3,87	10,08
Caveira	12,54	42,15	-	-	0,90	3,02	2,03	6,82	-	-	14,29	48,02
Benedito Bentes	24,18	35,34	-	-	-	-	6,07	8,88	36,23	52,97	1,92	2,81
Moacir Andrade	8,41	9,91	-	-	51,52	60,73	14,49	17,08	-	-	10,42	12,29
Riacho das Pedras	25,45	28,85	0,56	0,64	38,43	43,56	15,02	17,03	5,95	6,75	2,81	3,18
Recantos	13,69	13,69	5,01	5,01	43,30	43,30	37,90	37,90	0,10	0,10	-	-
São João	15,54	15,54	-	-	42,44	42,44	41,52	41,52	0,59	0,59	-	-
Sítios	17,71	17,71	-	-	41,39	41,39	37,49	37,49	-	-	3,41	3,41
Alto 1	41,50	91,58	-	-	-	-	-	-	3,81	8,42	-	-
Alto 2	0,23	0,24	-	-	68,16	69,50	6,06	6,18	13,57	13,84	10,05	10,24

Distribuição percentual da ocupação rural considerada para as sub-bacias do rio Jacarecica em 2004 (conclusão)

Sub-bacia	Policultura		Vegetação Primária		Vegetação secundária		Cana-de-açúcar		Pastagem		Solo nu	
	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural
Alto 3	-	-	-	-	78,06	80,06	-	-	19,44	19,94	-	-
Alto 4	-	-	-	-	81,67	81,67	-	-	16,99	16,99	1,33	1,33
Médio 1	-	-	-	-	76,39	76,39	-	-	23,61	23,61	-	-
Médio 2	-	-	-	-	76,52	76,52	-	-	23,48	23,48	-	-
Médio 3	-	-	46,39	46,39	36,35	36,35	-	-	17,26	17,26	-	-
Médio 4			18,80	19,98	64,90	68,99	-	-	10,37	11,03	-	-
Médio 5	3,22	3,22	-	-	62,84	62,84	13,87	13,87	19,27	19,27	0,80	0,80
Baixo 1	7,61	7,61	-	-	58,15	58,15	-	-	34,24	34,24	-	-
Baixo 2	-	-	-	-	37,95	37,95	3,13	3,13	58,92	58,92	-	-
Baixo 3	5,33	5,70	-	-	41,59	44,51	4,79	5,12	41,73	44,66	-	-
Baixo 4	24,08	25,59	-	-	38,47	40,72	-	-	20,08	21,25	11,74	12,43
Baixo 5	35,14	49,22	-	-	18,44	25,83	-	-	17,82	24,96	-	-
Pc Ponte	71,37	94,30	-	-	-	-	-	-	-	-	4,31	5,70

Distribuição percentual da ocupação rural considerada para as sub-bacias do rio Jacarecica em 2015 (continua)

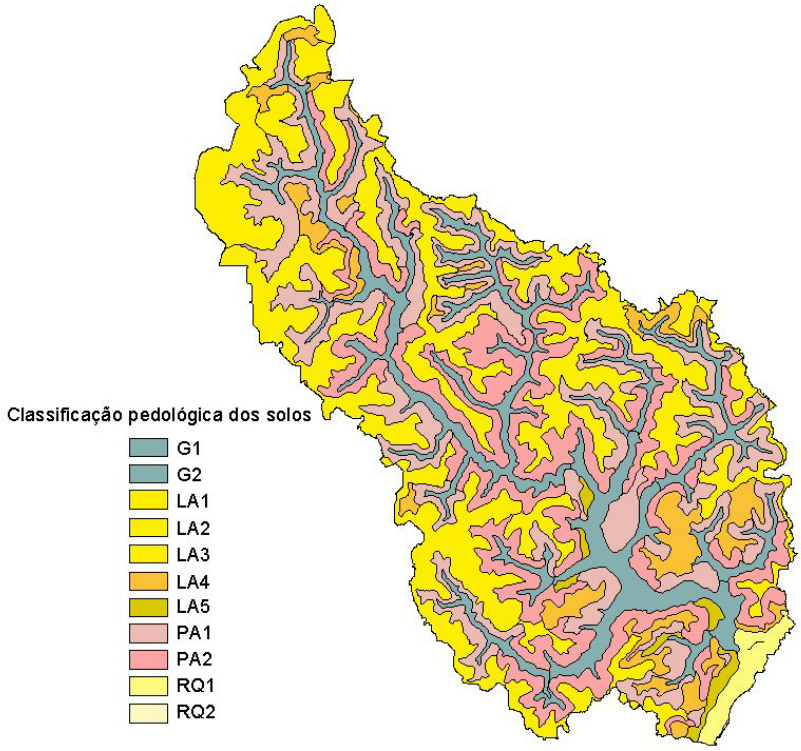
Sub-bacia	Policultura		Vegetação Primária		Vegetação secundária		Cana-de-açúcar		Pastagem		Solo nu	
	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural
Conjunto Jacarecica	0,04	0,10	-	-	24,00	66,44	-	-	-	-	12,08	33,45
Miramar	4,41	5,66	-	-	42,05	54,04	-	-	31,35	40,29	-	-
Serraria 1	12,16	17,07	3,15	4,42	31,08	43,63	-	-	24,04	33,75	0,81	1,13
Serraria 2	11,92	13,83	6,11	7,09	50,93	59,06	-	-	15,93	18,47	1,34	1,56
Ecopark	1,15	1,89	26,71	43,82	33,10	54,79	-	-	-	-	-	-
Via expressa 4	32,81	38,41	2,35	2,75	41,37	48,44	4,70	5,50	2,45	2,87	1,73	2,03
Via expressa 3	7,81	8,78	-	-	62,37	70,07	13,59	15,27	5,24	5,88	-	-
Via expressa 2	24,84	29,04	-	-	53,64	62,72	-	-	1,30	1,52	5,74	6,72
Via expressa 1	2,11	3,08	5,05	7,37	52,37	76,50	-	-	6,32	9,23	2,61	3,82
Antares	4,97	18,94	1,48	5,66	14,15	53,96	-	-	1,75	6,68	3,87	14,76
Caveira	-	-	-	-	-	-	2,03	12,44	-	-	14,29	87,56
Benedito Bentes	3,36	10,21	-	-	-	-	1,80	5,47	25,82	78,48	1,92	5,85
Moacir Andrade	8,41	12,54	-	-	48,10	71,74	0,12	0,18	-	-	10,42	15,54
Riacho das Pedras	25,33	32,02	0,56	0,71	34,41	43,49	10,06	12,71	5,95	7,52	2,81	3,55
Recantos	13,69	13,69	5,01	5,01	43,30	43,30	37,90	37,90	0,10	0,10	-	-
São João	15,54	16,39	-	-	41,94	44,21	36,89	38,89	0,49	0,52	-	-
Sítios	17,71	17,71	-	-	41,39	41,39	37,49	37,49	-	-	3,41	3,41
Alto 1	3,22	47,09	-	-	-	-	-	-	3,62	52,91	-	-
Alto 2	0,23	0,29	-	-	57,34	70,94	0,19	0,23	13,02	16,11	10,05	12,43

Distribuição percentual da ocupação rural considerada para as sub-bacias do rio Jacarecica em 2015 (conclusão)

Sub-bacia	Policultura		Vegetação Primária		Vegetação secundária		Cana-de-açúcar		Pastagem		Solo nu	
	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural	% bacia	% área rural
Alto 3	-	-	-	-	65,25	77,04	-	-	19,44	22,96	-	-
Alto 4	-	-	-	-	72,29	79,77	-	-	16,99	18,75	1,33	1,47
Médio 1	-	-	-	-	68,68	75,19	-	-	22,66	24,81	-	-
Médio 2	-	-	-	-	72,07	75,43	-	-	23,48	24,57	-	-
Médio 3	-	-	46,39	46,39	36,35	36,35	-	-	17,26	17,26	-	-
Médio 4	-	-	18,80	23,13	52,09	64,11	-	-	10,37	12,76	-	-
Médio 5	3,22	3,57	-	-	53,19	58,87	13,87	15,35	19,27	21,33	0,80	0,89
Baixo 1	7,61	8,53	-	-	47,39	53,10	-	-	34,24	38,37	-	-
Baixo 2	-	-	-	-	37,95	37,95	3,13	3,13	58,92	58,92	-	-
Baixo 3	5,33	5,70	-	-	41,59	44,51	4,79	5,12	41,73	44,66	-	-
Baixo 4	24,08	25,59	-	-	38,47	40,72	-	-	20,08	21,25	11,74	12,43
Baixo 5	35,14	49,22	-	-	18,44	25,83	-	-	17,82	24,96	-	-
Pc Ponte	71,37	94,30	-	-	-	-	-	-	-	-	4,31	5,70

ANEXO D - Classificação Pedológica dos solos da bacia do rio Jacarecica, segundo (EMBRAPA, 2005).

Classificação Pedológica dos solos da bacia do rio Jacarecica, segundo (EMBRAPA, 2005).



LA1 - LATOSSOLO AMARELO coeso típico A moderado e proeminente textura argilosa e muito argilosa fase floresta subperenifólia relevo plano. (situação: amplas superfícies de tabuleiro com declividade < 3%)

LA2 - LATOSSOLO AMARELO coeso típico A moderado e proeminente textura argilosa e muito argilosa fase floresta subperenifólia relevo plano e suave ondulado (situação: amplas superfícies de tabuleiro com declividade < 8%)

LA3 – Associação de LATOSSOLO AMARELO coeso típico A moderado e proeminente textura argilosa + ARGISSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO Distróficos latossólicos e/ou típicos + ARGISSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO Distróficos plínticos fase endoconcrecionária (ou concrecionária), estes textura média e argilosa/argilosa; todos A moderado e proeminente fase floresta subperenifólia (e partes de cerrado) relevo plano e suave ondulado (proporção dos componentes: 50-30-20%)(situação: superfícies de tabuleiro mais desgastadas com declividade < 8%)

LA4 - Associação de LATOSSOLO AMARELO coeso típico A moderado e proeminente textura argilosa + ARGISSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO Distróficos típicos e /ou plínticos fase endoconcrecionária (ou concrecionária), estes textura média e argilosa/argilosa; todos A moderado e proeminente fase floresta subperenifólia (e partes de cerrado) relevo suave ondulado e ondulado (proporção dos componentes: 50-25-25%)(situação: superfícies de tabuleiro irregulares e desgastadas com declividade entre 3 e 20%)

LA5 - Associação de LATOSSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO textura média + ARGISSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO latossólicos e/ou típicos textura arenosa e média/média e argilosa + ARGISSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO plínticos textura arenosa e média/média e argilosa ; todos Distróficos A moderado e proeminente fase floresta subperenifólia relevo suave ondulado e plano (proporção dos componentes: 40-40-20%)(situação: plataformas à piemonte, isto é, entre os sopés das encostas e as várzeas com declividades geralmente menores que 8%)

PA1 - Associação de: ARGISSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO típicos e plínticos textura média e argilosa/argilosa + LATOSSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO textura VERMELHO-AMARELO plínticos e típicos textura média e argilosa/argilosa fase endoconcrecionária e concrecionária, todos Distróficos A moderado e proeminente fase floresta subperenifólia relevo ondulado e forte ondulado (proporção dos componentes 35-35-30%). (situação: superfícies dissecadas dos tabuleiros, encostas com declividades de 8 a 40%)

PA2 – Associação de: ARGISSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO típicos textura média e argilosa/argilosa + LATOSSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO textura argilosa VERMELHO-AMARELO plínticos e típicos textura média e argilosa/argilosa fase endoconcrecionária (ou concrecionária), todos Distróficos A moderado e proeminente fase floresta subperenifólia relevo forte ondulado e escarpado (proporção dos componentes 40-30-30%). (situação: superfícies muitodissecadas dos tabuleiros, encostas com declividades entre 20 e > 75%)

G1 – GLEISSOLO HÁPLICO Tb e Ta típico textura argilosa, muito argilosa e/ou indiscriminada Eutrófico (e Distrófico) A moderado fase campo hidrófilo e floresta subperenifólia de várzea relevo plano. (situação: áreas de várzeas, geralmente estreitas)

G2 – Associação de: GLEISSOLO HÁPLICO Tb típico textura argilosa e/ou indiscriminada + NEOSSOLO FLÚVICOS glêicos e típicos textura indiscriminada, ambos Eutróficos e Distróficos A moderado fase campo hidrófilo e floresta subperenifólia de várzea relevo plano. (proporção dos componentes: 70–30%)(situação: áreas de várzeas, geralmente mais largas e próximas do litoral).

RQ1 – NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos A fraco e moderado + NEOSSOLOS FLÚVICOS Psamíticos típicos A moderado e antrópico, todos fase campo de restinga, cerrado subperenifólio e/ou floresta subperenifólia + TIPOS DE TERRENO (áreas de aterro), todos fase relevo plano. (proporção dos componentes: 50 -25 -25%). (Situação: grande palnície de Maceió, se estende pelo litoral norte).

RQ2 – NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Hidromórficos típicos A fraco fase campo de restinga relevo plano e suave ondulado (Areias Quartzosas Marinhas) + DUNAS (proporção dos componentes: 70 – 30%) (situação: superfícies da orla marítma – Praias).

ANEXO E - Relações cota x vazão e cota x volume dos reservatórios de amortização de cheias.

Relações cota x vazão dos reservatórios de amortização de cheias do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins

Reservatório 1

Estrutura extravazadora: Orifício retangular 3,1 x 2,0 m

Cota (m)	Vazão (m^3/s)
62,5	0,00
64,0	11,65
64,5	16,48
65,0	20,18
65,5	23,30
66,5	28,54
67,5	32,96

Reservatório 4

Estrutura extravazadora: Orifício circular com 0,95 m de diâmetro

Cota (m)	Vazão (m^3/s)
71,0	0,00
72,1	1,49
72,2	1,60
72,5	1,91
73,0	2,33
74,0	2,99
75,0	3,54
76,0	4,01
77,0	4,81
78,0	5,17

Reservatório 2-3

Estrutura extravazadora: Orifício retangular com 3,2 x 0,8 m

Cota (m)	Vazão (m^3/s)
59,5	0,00
60,3	5,44
60,4	6,25
60,5	6,92
61,0	7,14
61,5	8,61
62,0	9,86
62,5	10,97
63,5	12,91
64,5	14,59
65,5	16,10
66,5	17,48
67,5	18,76

Relações cota x volume dos reservatórios de amortização de cheias do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins

Reservatório 1

Cota (m)	Volume acumulado (m^3)
62,5	0,00
63,0	44641,50
63,5	98088,50
64,0	167835,95
64,5	250541,01
65,0	334511,42
65,5	419747,17
66,0	506248,27
66,5	594014,71
67,0	683046,50
67,5	773343,63
68,0	864906,10

Reservatório 4

Cota (m)	Volume acumulado (m^3)
71,0	0,00
71,5	70683,52
72,0	142065,51
72,5	214152,87
73,0	286952,57
73,5	360471,65
74,0	434717,22
74,5	509696,46
75,0	585416,62
75,5	661885,02
76,0	739109,06
76,5	817096,19
77,0	895853,97
77,5	975390,00
78,0	1055711,98
78,5	1136827,68

Reservatório 2-3

Cota (m)	Volume acumulado (m^3)
59,0	0,00
59,5	19586,89
60,0	39390,15
60,5	59412,16
61,0	79655,34
61,5	124252,14
62,0	193463,33
62,5	263422,48
63,0	334137,68
63,5	405617,09
64,0	477868,99
64,5	550901,71
65,0	624723,69
65,5	699343,47
66,0	774769,66
66,5	851010,98
67,0	928076,24
67,5	1005974,34
68,0	1084714,29

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