

FABRIZIA GIOPPO NUNES

**A INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS VAZÕES DE PICO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA**

Tese apresentada ao curso de Pós Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná – UFPR, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geologia Ambiental.

Professor orientador: Dr. Alberto Pio Fiori
Professores co-orientadores:
Dr^a. Chisato Oka Fiori
Dr. Naldy E. Canali

CURITIBA
2007

Nunes, Fabrizia Gioppo.

A influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do Rio Atuba / Fabrizia Gioppo Nunes.- Curitiba, 2007.

175 f. : il., tabs, grafs..

Orientador: Alberto Pio Fiori

Co-orientador: Chisato Oka Fiori

Naldy Emerson Canali

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de

Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental.

Inclui Bibliografia.

1. Hidrologia – Modelos. 2. Impermeabilização – Solos. 3. Urbanização.
4. Atuba, Rio (PR). 5. Sistemas de informações geográficas. I. Título.
II. Fiori, Alberto Pio. III. Universidade Federal do Paraná.

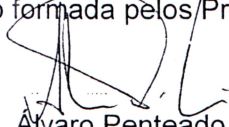
CDD 627.4

TERMO DE APROVAÇÃO

FABRIZIA GIOPPO NUNES

**A INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS VAZÕES DE PICO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA**

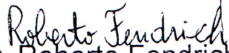
Tese de Doutorado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Geologia, com área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos Professores:



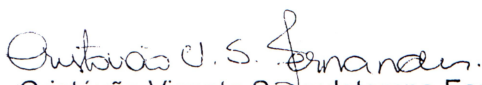
Prof. Dr. Alvaro Penteado Crosta - UNICAMP



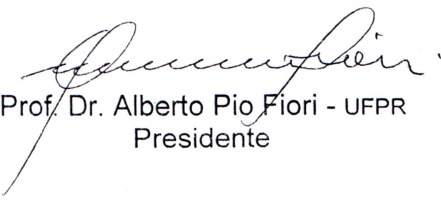
Prof. Dr. Lázaro Valentim Zuquetê - USP



Prof. Dr. Roberto Fendrich - UFPR



Prof. Dr. Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes - UFPR



Prof. Dr. Alberto Pio Fiori - UFPR
Presidente

Curitiba, 22 de maio de 2007.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Alberto Pio Fiori, pela confiança e orientação durante o desenvolvimento do trabalho, tornando este possível, e por saber motivar o tema;

A professora Dr^a. Chisato Oka Fiori, os mais sinceros agradecimentos pelo total apoio durante o meu percurso acadêmico, pelo carinho e amizade, e por ter me mostrado os caminhos da pesquisa científica;

Ao professor Dr. Naldy Emerson Canali pela amizade e incentivo a pesquisa científica;

Aos professores Dr(s) Roberto Fendrich e Masato Kobiyama, pela transmissão de informações e correções durante a fase de qualificação, sendo estas bastante pertinentes no trabalho;

Aos professores Dr(s) Elvo Fassbinder e Luiz Eduardo Mantovani, pela amizade e pelos conhecimentos prestados durante o curso de Pós Graduação em Geologia;

Ao meu irmão Eugênio José Gioppo Nunes, pelo carinho e apoio, principalmente no que se refere aos auxílios prestados durante a programação em Excel, das equações utilizadas no trabalho, tornando os cálculos mais rápidos e precisos, os meus mais sinceros agradecimentos;

Aos Colegas do Laboratório de Geologia Ambiental Nicole Borchardt, Claudinei Taborda da Silveira, Júlio Manoel F. Silva e Clotilde Zai Silveira, pela amizade e por me transmitirem confiança nos momentos difíceis;

Os mais sinceros agradecimentos à amiga de curso Neiva Cristina Ribeiro, pelo auxílio durante a coleta de dados, pela troca de informações, incentivo, e principalmente pelas boas conversas e amizade cultivada;

Ao professor Dr. Luigi Carmignani pela oportunidade de um estágio de doutorado no Centro di Geotecnologie dell' Università degli Studi di Siena, e principalmente ao amigo Sandro Humphreys e a amiga de curso Dr^a. Simone Kozciak, que sempre mostraram-se prestativos, tanto em questões pessoais como acadêmicas, durante a minha estadia;

Agradecimento especial ao aluno de doutorado Giacomo Firpo da Universidade de Siena, pela orientação como estagiária no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria Digital e pelas longas horas dedicadas no ensinamento das técnicas de fotogrametria digital, mostrando-se sempre disposto a esclarecer as minhas dúvidas;

Ao INPE na pessoa de Lúbia Vinha, por ter ministrado o curso de Introdução ao Programa Computacional SPRING, sendo este de grande utilidade;

A colega Dr^a. Tânia Lucia Graf de Miranda, pelo auxílio na elaboração do Plano de Projeto;

A SEMA, nas pessoas de Isaías e Pedrinho, pelo empréstimo das fotografias aéreas;

A SUDERHSA, nas pessoas de Edson Nagashima, Nilson Moraes, Júlio Habitzreuter, pelo fornecimento de dados hidrológicos. A geógrafa Sônia, pelo fornecimento das fotografias aéreas do ano 2000;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro através da bolsa de doutorado, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de doutorado sanduíche no exterior;

Aos meus irmãos Francisco, Marilza e Benito, pelo carinho e admiração;

A minha irmã Dr^a. Giovana Gioppo Nunes por me despertar o incentivo acadêmico, mesmo antes da minha entrada para a universidade, e pelo seu exemplo como pesquisadora;

Aos meus pais, Francisco e Zaira, pelo amor incondicional, incentivo em meus estudos e pela compreensão durante as minhas horas de ausência;

A Deus, por ter estado presente nas horas mais difíceis e por ter permitindo que esta pesquisa tornasse possível.



*“A natureza faz o homem e o homem refaz a natureza,
incessantemente amassa a sua criadora e dá-lhe nova forma”
(Anatole France – Pierre Mozière).*

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS.....	VI
	LISTA DE TABELAS.....	VIII
	LISTA DE SÍMBOLOS.....	X
	LISTA DE ABREVIATURAS.....	XII
	RESUMO.....	XIV
	ABSTRACT.....	XV
	 Capítulo 1	
1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Objetivo.....	4
	 Capítulo 2	
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1.	Impacto urbano no sistema hidrológico.....	6
2.2.	Modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica (Sig's).....	9
2.3.	Modelos hidrológicos de transformação de chuva-vazão.....	14
2.3.1.	Coeficiente de escoamento superficial.....	20
2.3.2.	Intensidade da chuva.....	26
2.4.	Medidas de controle de inundações.....	32
	 Capítulo 3	
3.	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DE CASO.....	36
3.1.	Localização.....	36
3.2.	Geologia.....	37
3.3.	Geomorfologia.....	44
3.4.	Pedologia.....	46
3.4.1	Descrição das classes de solos.....	49
3.5.	Clima.....	55
3.5.1	Precipitações pluviométricas.....	56
	 Capítulo 4	
4.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO E MATERIAIS UTILIZADOS.....	62
4.1.	Materiais utilizados.....	65
4.2.	Método Racional.....	67
4.3.	Método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS).....	68
4.4.	Geração e estruturação dos dados em ambiente SIG.....	70
4.4.1	Aquisição dos dados em meio digital.....	70
4.4.1.1	Digitalização das cartas temáticas.....	70
4.4.1.2	Técnica de fotogrametria com o uso de estereoscopia digital.....	72
4.4.1.2.1	Fase de orientação das fotografias aéreas.....	74
4.4.1.2.2	Restituição dos elementos observados nas fotografias aéreas.....	78

4.4.1.2.3	Controle de campo.....	81
4.4.2	Transferência dos dados cartográficos para o ambiente SIG.....	85
	Capítulo 5	
5.	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS ENVOLVIDOS NA ANÁLISE.....	89
5.1.	Parâmetros morfométricos.....	89
5.2.	Cobertura superficial da bacia hidrográfica do rio Atuba.....	94
5.2.1	Análise multitemporal das classes temáticas da cobertura superficial do terreno.....	99
5.3.	Tempo de concentração (t_c).....	103
5.4.	Intensidade máxima da chuva (i_m).....	106
5.5.	Coeficiente de escoamento superficial (C).....	107
5.5.1	Determinação dos valores de (CN).....	112
5.5.2	Determinação dos valores do coeficiente de armazenamento (S).....	114
5.5.3	Determinação da perda inicial da precipitação (I_a).....	119
5.5.4	Determinação dos valores do coeficiente de escoamento superficial (C).....	119
5.5.4.1	Procedimento de seleção do evento pluviométrico considerado (P).....	120
5.5.4.2	Resultados dos valores de “C” obtidos pelo método do SCS.....	124
5.5.5	Determinação dos coeficientes de retardo por efeito da declividade (φ)..	125
5.6	Cálculo do coeficiente de abatimento de distribuição espacial da chuva (f).....	134
5.7.	Precipitação excedente (Re).....	135
5.8.	Determinação do fator de redução de pico (Z).....	137
	Capítulo 6	
6.	RESULTADOS.....	140
6.1.	Cálculo das vazões de pico pelo Método Racional modificado e adaptado.....	140
6.2.	Cálculo das vazões de pico pelo Método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS).....	142
	Capítulo 7	
7.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS GERADOS.....	146
7.1.	Comparação entre as vazões de pico simuladas pelo Método Racional, modificado e adaptado, com as vazões monitoradas pela estação fluviométrica.....	146
7.2.	Análise do impacto da urbanização nos picos de vazão de cheias.....	151
	CONCLUSÕES.....	157
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	163
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	168
Anexo-1	Dados das vazões máximas diária anual da estação fluviométrica do Autódromo.	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	FLUXOGRAMA DE MEDIDAS PARA CONTROLE DAS CHEIAS.....	33
FIGURA 2 -	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
FIGURA 3 -	GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA DO RIO ATUBA.....	40
FIGURA 4 -	SOLOS DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA DO RIO ATUBA.....	48
FIGURA 5 -	ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE CURITIBA - PRADO VELHO A 884m DE ALTITUDE (PERÍODO: 1982 A 2004).....	58
FIGURA 6 -	ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE COLOMBO A 977m DE ALTITUDE (PERÍODO: 1988 A 2004).....	59
FIGURA 7 -	ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE FAZ. EXP. FAC. AGRONOMIA (PINHAIS) 900m DE ALTITUDE (PERÍODO:1971 A 2004).....	60
FIGURA 8 -	ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE CURITIBA A 929m DE ALTITUDE (PERÍODO: 1960 A 2004).....	61
FIGURA 9 -	FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO METODOLÓGICO ADOTADO NO TRABALHO.....	64
FIGURA 10 -	BASE CARTOGRÁFICA - BACIA DO RIO ATUBA.....	71
FIGURA 11 -	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A FOTORESTITUIÇÃO DIGITAL...	73
FIGURA 12 -	EXEMPLO DE POSICIONAMENTO DAS MARCAS FIDUCIAIS NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS PARA A REALIZAÇÃO DA ORIENTAÇÃO INTERNA.....	74
FIGURA 13 -	ATRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS GEODÉSICOS PARA O GEORREFERENCIAMENTO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS.....	75
FIGURA 14 -	EXEMPLO DE ATRIBUIÇÃO DOS GCP(S) SOBRE AS FOTOGRAFIAS AÉREAS PARA O GEORREFERENCIAMENTO.....	76
FIGURA 15 -	EXEMPLO DE FOTOINTERPRETAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM DETALHADA E VIAS DE ACESSO PRINCIPAIS.....	78
FIGURA 16 -	EXEMPLO DE FOTOINTERPRETAÇÃO DOS POLÍGONOS QUE REPRESENTAM AS CLASSES TEMÁTICAS DE COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO.....	80
FIGURA 17 -	EXEMPLO DE FOTOINTERPRETAÇÃO E CONTROLE DE CAMPO (A)....	82
FIGURA 18 -	EXEMPLO DE FOTOINTERPRETAÇÃO E CONTROLE DE CAMPO (B)....	83
FIGURA 19 -	EXEMPLO DE CLASSES DE COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO	83
FIGURA 20 -	TRECHOS DO CANAL DE DRENAGEM DO RIO ATUBA.....	84
FIGURA 21 -	FLUXOGRAMA DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA O AMBIENTE SIG.....	86
FIGURA 22 -	ESQUEMA UTILIZADO DURANTE A INTEGRAÇÃO DOS DADOS EM AMBIENTE SIG.....	88
FIGURA 23 -	HIERARQUIA DA REDE DEDRENAGEM – BACIA DO RIO ATUBA.....	92
FIGURA 24 -	CARTA DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO (1962).....	96
FIGURA 25 -	CARTA DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO (1980).....	97
FIGURA 26 -	CARTA DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO (2000).....	98
FIGURA 27 -	EXEMPLO DE ÁREAS QUE SOFRERAM REGENERAÇÃO DA CLASSE DE ZONAS FLORESTAIS E VEGETAÇÃO DENSA (1980 - 2000).....	100
FIGURA 28 -	GRÁFICO DA VARIAÇÃO DAS CLASSES DE COBERTURA	

	SUPERFICIAL DO TERRENO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA (%)	101
FIGURA 29 -	MEDIDAS ESTRUTURAIS PARA O CONTROLE DE CHEIAS NA REGIÃO DE CURITIBA.....	102
FIGURA 30 -	GRÁFICOS DA CURVA DE TENDÊNCIA DOS VALORES DE A_i	105
FIGURA 31 -	ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL (1962).....	115
FIGURA 32 -	ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL (1980).....	116
FIGURA 33 -	ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL (2000).....	117
FIGURA 34 -	LOCALIZAÇÃO E ÁREAS DE INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS (MÉTODO DE THIESSEN).....	121
FIGURA 35 -	DECLIVIDADE DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA DO RIO ATUBA.....	126
FIGURA 36 -	ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (1962).....	128
FIGURA 37 -	ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (1980).....	129
FIGURA 38 -	ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (2000).....	130
FIGURA 39 -	GRÁFICOS DA CURVA DE TENDÊNCIA DOS COEFICIENTES “ C_r ” AO LONGO DOS ANOS ANALISADOS (A).....	131
FIGURA 40 -	GRÁFICOS DA CURVA DE TENDÊNCIA DOS COEFICIENTES “ C_r ” AO LONGO DOS ANOS ANALISADOS (B).....	132
FIGURA 41 -	GRÁFICOS DA CURVA DE TENDÊNCIA DOS COEFICIENTES “ C_r ” AO LONGO DOS ANOS ANALISADOS (C).....	133
FIGURA 42 -	PERFIL LONGITUDINAL DO FUNDO DE VALE DO RIO ATUBA.....	138
FIGURA 43 -	HIDROGRAMA DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW – 1962.....	144
FIGURA 44 -	HIDROGRAMA DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW – 1980.....	145
FIGURA 45 -	HIDROGRAMA DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW – 2000.....	145
FIGURA 46 -	DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO RACIONAL COM AS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW (1962).....	149
FIGURA 47 -	DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO RACIONAL COM AS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW (1980).....	149
FIGURA 48 -	DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO RACIONAL COM AS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW (2000).....	150
FIGURA 49 -	AUMENTO DA VAZÃO DE PICO EM RELAÇÃO AO PERCENTUAL DE ÁREAS IMPERMEÁVEIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.....	152
FIGURA 50 -	COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL X VAZÕES DE PICO SIMULADAS PARA A BACIA DO RIO ATUBA.....	155

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	CAUSAS E EFEITOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE AS INUNDAÇÕES URBANAS.....	8
TABELA 2 -	VALORES DO COEFICIENTE DE RETARDAMENTO ϕ EM FUNÇÃO DA ÁREA DA BACIA.....	18
TABELA 3 -	COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL ADOTADOS PELA PREFEITURA DE SÃO PAULO E DETERMINADOS POR WILKEN.....	21
TABELA 4 -	VALORES DE COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL POR TIPO DE OCUPAÇÃO (ASCE).....	22
TABELA 5 -	VALORES DE C_i PARA ALGUMAS SUPERFÍCIES IMPERMEÁVEIS.....	22
TABELA 6 -	VALORES DE “C” BASEADOS NAS CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE.....	23
TABELA 7 -	VALORES DE “C” PARA ÁREAS RURAIS.....	23
TABELA 8 -	CARACTERÍSTICAS DE BACIAS URBANAS BRASILEIRAS.....	24
TABELA 9 -	EQUAÇÕES PARA DETERMINAR A INTENSIDADE MÁXIMA MÉDIA DAS CHUVAS EM CURITIBA-PR.....	29
TABELA 10 -	SÍNTESE DAS MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS.....	34
TABELA 11 -	COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE CURITIBA.....	42
TABELA 12 -	COMPARAÇÃO DOS VALORES CLIMÁTICOS OBTIDOS POR MAACK (2002) COM OS VALORES OBTIDOS POR FENDRICH (2006).....	56
TABELA 13 -	LISTA DE FOTOGRAFIAS AÉREAS QUE RECOBREM A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.....	77
TABELA 14 -	CLASSES DE COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO.....	79
TABELA 15 -	SEGMENTO DOS CANAIS POR ORDEM HIERÁRQUICA.....	91
TABELA 16 -	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO ATUBA.....	91
TABELA 17 -	CÁLCULO DAS ÁREAS DAS CLASSES DE COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS ANOS (1962, 1980 e 2000).....	95
TABELA 18 -	VALORES DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS ANOS DE 1962, 1980 E 2000.....	105
TABELA 19 -	VALORES DA INTENSIDADE DA CHUVA (mm/h) PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.....	107
TABELA 20 -	GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.....	111
TABELA 21 -	VALORES DE CN EM FUNÇÃO DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO, DO TIPO HIDROLÓGICO E CONDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.....	113
TABELA 22 -	VALORES PONDERADOS DE CN PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.....	113
TABELA 23 -	VALORES DE “S” DADOS EM FUNÇÃO DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO, DO TIPO HIDROLÓGICO E CONDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO PARA A BACIA HIDROGRAFIA DO RIO ATUBA.....	114
TABELA 24 -	RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE “S” E O PERCENTUAL DE ÁREAS OCUPADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.....	118
TABELA 25 -	VALORES DE I_a (mm) DADOS EM FUNÇÃO DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO, DO TIPO HIDROLÓGICO E CONDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO.....	119

TABELA 26 -	ESTAÇÕES UTILIZADAS NO CÁLCULO DO MÉTODO DO POLÍGONO DE THIESSEN	120
TABELA 27 -	PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS EM (mm) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS 5 DIAS ANTERIORES AOS EVENTOS ESCOLHIDOS.....	122
TABELA 28 -	PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS EM (mm) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS EVENTOS ESCOLHIDOS.....	123
TABELA 29 -	PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS EM (mm) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS EVENTOS ESCOLHIDOS.....	123
TABELA 30 -	VALORES DE “C” DADOS EM FUNÇÃO DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO, DO TIPO HIDROLÓGICO E CONDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO PARA A CHUVA DE 176,96 mm E DURAÇÃO DE 6 DIAS.....	124
TABELA 31 -	VALORES DE “n” E “ ϕ ” PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.....	125
TABELA 32 -	VALORES DE “Cr” PARA A TORMENTA SEVERA SELECIONADA E DURAÇÃO DE 6 DIAS.....	127
TABELA 33 -	RELAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTES “Cr” E O PERCENTUAL DE ÁREAS OCUPADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.....	131
TABELA 34 -	- FATOR DE CORREÇÃO DE “C” (WRIGHT – MACLAUGHIN).....	134
TABELA 35 -	VALORES DE Cr _m AJUSTADOS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RETORNO DA CHUVA.....	134
TABELA 36 -	CÁLCULO DA INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO E DA CHUVA TOTAL.....	136
TABELA 37 -	VALORES DA PRECIPITAÇÃO EXCEDENTE - Re (mm/h).....	137
TABELA 38 -	FATOR DE REDUÇÃO DO PICO DE VAZÃO.....	139
TABELA 39 -	SIMULAÇÃO DAS VAZÕES DE PICO NA BACIA DO RIO ATUBA PELA FÓRMULA RACIONAL MODIFICADA E ADAPTADA.....	141
TABELA 40 -	VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW (ANO DE 1962).....	143
TABELA 41 -	VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW (ANO DE 1980).....	143
TABELA 42 -	VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW (ANO DE 2000).....	144
TABELA 43 -	FATOR DE FREQUÊNCIA (K) DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL.....	147
TABELA 44 -	VALORES DAS VAZÕES DE PICO MONITORADAS PELA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DO AUTÓDROMO (1985 a 2001).....	147
TABELA 45 -	VAZÕES DE PICO EM FUNÇÃO DAS ÁREAS IMPERMEÁVEIS SIMULADAS PELA EQUAÇÃO RACIONAL MODIFICADA E ADAPTADA.....	152

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado	Unidade
A	área da bacia	km ² , ha
a, b, c, d	parâmetros de ajuste da equação de chuvas intensas	adimensional
A _i	parcela da bacia com superfícies impermeáveis	%
a, n	parâmetros de ajuste da equação do coeficiente de abatimento de distribuição da chuva	adimensional
A _{ip}	área de influência de P _i	km ²
A _p	parcela da bacia com superfícies permeáveis	%
A _{pd}	área de cada parcela distinta, da bacia	km ²
A _t	área total da bacia hidrográfica	km ²
C	coeficiente de deflúvio ou de escoamento superficial	adimensional
C _i	coeficiente de escoamento de áreas impermeável	adimensional
CN	'curve number' / número da curva	adimensional
C _p	coeficiente de escoamento de áreas permeáveis	adimensional
C _r	coeficiente de escoamento superficial para o período de retorno desejado	adimensional
Cr	coeficiente de escoamento superficial real	adimensional
Cr _m	coeficiente de escoamento superficial real médio da bacia	adimensional
Cr _{pd}	coeficiente de escoamento real para cada parcela de áreas distintas na bacia	adimensional
D _d	densidade de drenagem	km/km ²
D _h	densidade hidrográfica	rios/ km ²
E _{ps}	extensão do percurso superficial	m
G _{cp}	gradiente do canal principal	m/km
H _b	desnível topográfico	m
H _{cp}	desnível geométrico do canal principal	m
I	declividade média do curso d'água principal	%
I _a	perda inicial da precipitação acumulada	mm
i _m	intensidade máxima da chuva sobre toda a área drenada	mm/h
IMP	percentagem de áreas impermeáveis na bacia	%
K _c	coeficiente de compacidade	adimensional
K _f	fator de forma	adimensional
L	comprimento do curso d'água principal	km ou m
L ²	extensão do rio	km ou m
L _b	comprimento da bacia	Km ou m
L _{cp}	extensão do canal principal	km ou m
L _t	comprimento total de todos os canais da rede hidrográfica	km ou m

L_{tal}	extensão do talvegue	km ou m
N	número de deflúvio	adimensional
n	coeficiente em função da declividade da bacia	adimensional
P	perímetro da bacia	km
P	precipitação acumulada ou precipitação total de um evento	mm
P_i	precipitação em cada estação	mm
P_m	precipitação média da bacia	mm
Q_{max}	vazão máxima	m^3/s
Q_p	vazão de pico	m^3/s
R	chuva total de um evento	mm/h
R_e	precipitação excedente	mm/h
R_e	altura de chuva em outra localidade	mm
R_o	altura de chuva na localidade base	mm
R_r	relação de relevo	m/km
S	coeficiente de armazenamento superficial por infiltração	mm
S_{in}	sinuosidade da bacia hidrográfica	adimensional
t	duração da chuva	min, h
t_c	tempo de concentração	min, h
t_d	duração da chuva	min
t_p	tempo de pico da vazão	horas
T_r	tempo de retorno ou tempo de recorrência	anos
X	fator de deflúvio ou da intensidade da precipitação excedente	adimensional
Y	fator climático	adimensional
Z	fator de redução de pico	adimensional
β	alcance do variograma do coeficientes de abatimento de distribuição da chuva	adimensional
f	fator de ajuste da área da bacia	adimensional
ϕ	coeficiente de retardo que reflete os efeitos de armazenamento d' água pela declividade do terreno	adimensional
ϕ	coeficiente de retardamento em relação ao início da precipitação	adimensional

LISTA DE ABREVIATURAS

ASCE - American Society of Civil Engineers

COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba

DER/SP - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GCPs - Ground Control Points

IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná

IDF - Relação de Intensidade – Duração – Frequência

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPHS - Modelagem Hidrológica e Hidráulica (software)

ITCF - Instituto de Terras Cartografias e Florestas

LEGAL - Linguagem de programação espacial para geoprocessamento algébrico

MDT – Modelo Digital do Terreno

PIs - Planos de Informação em Ambiente SGI

PROSAM - Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba

PUCPR - Pontifícia Universidade Católica do Paraná

RMC - Região Metropolitana de Curitiba

SAD 69 - South America Datum 1969

SCS - Soil Conservation Service / EUA

SEAB - Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento

SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Paraná

SEPL - Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral do Paraná

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIGRH - Sistemas de Informações e Gerenciamento de Recursos Hídricos

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

SUDESUL - Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul

UFPeI - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas - RS

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UTM - Sistema de Projeção Universal Transversal de Mercator

RESUMO

O principal objetivo do presente estudo foi o desenvolvimento de um método que utiliza modelos hidrológicos de transformação de chuva em vazão, atrelados à utilização de técnicas de processamento de dados e confecção de cartas temáticas em ambiente SIG, visando uma melhor quantificação e representação da distribuição espacial dos principais componentes hidrológicos, de uma bacia hidrográfica de médio porte. Os modelos hidrológicos, que têm por base os efeitos dos impactos da urbanização sobre o sistema de drenagem, utilizam-se da técnica de quantificação do aumento das áreas impermeáveis e da representação das características superficiais do terreno para simular picos de vazão de cheias. Para possibilitar a quantificação das áreas impermeáveis foram realizadas a preparação da base cartográfica em meio digital e a posterior confecção das cartas temáticas de cobertura superficial do terreno dos anos de 1962, 1980 e 2000. Para tanto, utilizou-se da técnica específica de fotogrametria digital, através da função "Stereo Analyst" do software Erdas Imagine 8.6[®]. O aumento do escoamento superficial e do pico de vazão de cheias foram quantificados a partir da aplicação do Método Racional modificado; do Método de Ven Te Chow e do tratamento estatístico dos dados, através da Distribuição de Gumbel, objetivando a comparação dos resultados obtidos. Para tais cálculos, foi necessário definir alguns parâmetros hidrológicos como: intensidade da chuva, características físicas da bacia (área, comprimento do talvegue, tempo de concentração, grupos hidrológicos de solos, umidade antecedente dos solos, declividade do terreno entre outros), precipitação efetiva, coeficiente de retardo por armazenamento (S), tempo de pico do hidrograma, fator de redução de pico do hidrograma e o coeficiente de escoamento superficial do terreno (C). Na fase de SIG, foi criado um banco de dados contendo informações temáticas da superfície da bacia, através da confecção e combinação de cartas e tabelas por operações algébricas. Para simulação das vazões de pico foram utilizadas diversas cartas temáticas elaboradas em meio digitais como: carta de solos, carta geológica, carta de declividade do terreno, cartas de coberturas superficiais do terreno, cartas dos índices de armazenamento dos solos e cartas dos índices de escoamento superficial do terreno, além de outras informações que fazem parte dos parâmetros necessários à aplicação dos métodos propostos. Todos os parâmetros considerados foram analisados em conjunto e integrados em ambiente SIG, tendo como resultado final a quantificação e o mapeamento da capacidade de armazenamento dos solos, dos coeficientes de escoamento superficial e a análise dos picos de vazão de cheias, dentro de uma abordagem multitemporal. O procedimento metodológico desenvolvido através das técnicas de fotogrametria digital e SIG provou ser uma boa alternativa, para a distribuição espacial dos parâmetros hidrológicos e da estimativa de vazão de cheias, em bacias hidrográficas de médio porte, que não possuam dados fluviométricos.

ABSTRACT

The main idea of this work is to apply hydrological models to evaluate the relationship between rainfall and runoff of medium size basins. Data processing and thematic maps built in a GIS environment were used to quantify the spatial distribution of several hydrological components. The hydrological model created considers proper characteristics of the area under study and it was based on urbanization impact over drainage systems, where simulated peaks of discharge obtained quantify areas of impermeable surfaces. Cartographic bases of land cover maps of 1962, 1980 and 2000 were confectioned by digital photogrammetry technique. For the digital photointerpretation the software Erdas Imagine 8.6 ("Stereo Analyst" function) was ran to obtain surface covering maps. The increases of runoff coefficient and maximum discharge were quantified using a modification of Rational Equation and Ven Te Chow method. The results were compared with those obtained applying the statistical treatment, carried through the Distribution of Gumbel. In order to run this calculations some hydrological parameters were established: rainfall intensity, basin physical characteristics including size, talvegue length, concentration time, soil hydrologic groups, soil antecedence humidity, declivity land surface, effective precipitation, potential maximum retention (S), time of hydrogram peack, reduction factor of hydrogram and runoff coefficient (C). During GIS step was created a data set containing thematic information of basin surface combining maps confectioned and tables of information by algebraic operations. Simulations of maximum discharge were performed applying thematic maps of soil, geology, land declivity, surface covering, potential maximum retention and runoff indices, all created by digital methods. All the parameters considered were analyzed together and integrated in a GIS environment considering a multi-temporal overview and a future projection. As a final result, were obtained the quantification and mapping for potential maximum retention of the soils, runoff coefficient and maximum discharge. The methodology developed here (based in digital photogrammetric and GIS) seems to be an interesting alternative for analyze spatial distribution of hydrologic parameters and estimate maximum discharge in hydrographic basins of medium size not containing fluviometric data.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente urbanização em Curitiba e Região Metropolitana, as bacias hidrográficas vem sofrendo cada vez mais modificações em seus cursos naturais, perdendo com o passar do tempo grande parte de suas características originais.

O processo de uma expansão urbana mal planejada, aliada ao tipo climático local, uma vez que Curitiba e suas áreas metropolitanas encontram-se entre as regiões mais chuvosas do Brasil, têm causado uma dinâmica fluvial marcada por picos de cheias com inundações não raramente atingindo dimensões catastróficas.

Curitiba e seus núcleos marginais apresentam um amplo registro de inundações ao longo de sua história. No período compreendido entre 1911 até os dias atuais foram registrados diversos episódios pluviais intensos, provocando, em determinados lugares, inundações com ocorrência de grande número de desabrigados e de incalculáveis danos materiais para o poder público e a população local.

Estudos feitos por LIMA (2000), revelam que os principais desastres naturais em Curitiba e Região Metropolitana são as inundações e os alagamentos, correspondendo mais de 40% de todos os acidentes naturais registrados entre 1976 a 1999.

Além disso, obras de engenharia e de urbanização têm revestido grande parte das superfícies das bacias de drenagem através de edificações, pavimentações, arruamentos, calçadas, aterros, canalização dos corpos d'água, entre outras.

Para GENZ e TUCCI (1995), o recobrimento do solo por obras de engenharia e urbanização gera um maior volume de escoamento superficial em um tempo menor, resultando no aumento da vazão de pico, redução do tempo de concentração e diminuição da vazão de base, o que acarreta no aumento das inundações. Surge

então a necessidade de estudos mais detalhados que visem compreender a variação do regime hidrológico causado pelo processo de adensamento urbano.

Com a finalidade de avaliar os impactos do adensamento urbano sobre a rede de drenagem urbana, a presente pesquisa engloba o estudo da bacia hidrográfica do rio Atuba e de seus cursos d'água, detendo-se nas principais características que condicionam o seu regime hidrológico. Essas características estão ligadas aos aspectos pedológicos, geológicos, topográficos, geomorfológicos, climáticos e de impermeabilização urbana na região.

Para avaliar as mudanças da dinâmica fluvial, adotou-se a perspectiva de análise multitemporal, preocupando-se com as alterações decorrentes da atuação do homem sobre o ambiente hídrico, modificado pelas construções e obras de engenharia que impermeabilizam o solo.

O estudo do regime fluvial do rio Atuba foi realizado através da aplicação de modelos hidrológicos que transformam chuva em vazão, procurando considerar a variação espacial dos parâmetros físicos da bacia que interferem no ciclo hidrológico. Ênfase foi dada para a análise da evolução da impermeabilização do solo ao longo do tempo, verificando a sua interferência na geração de eventos de cheias.

Modelos de transformação de chuva - vazão são de grande importância em um país que possui poucos dados fluviométricos. Além disso, as modificações e adaptações do Método Racional foram desenvolvidas de modo a avaliar e quantificar, tanto quanto possível, a influência das alterações dos parâmetros hidrológicos no regime fluvial de uma bacia hidrográfica de médio porte.

Por ser de fácil aplicação e permitir o ajuste de seus parâmetros, distribuídos espacialmente, o Método Racional modificado e adaptado às necessidades de uma bacia de médio porte possibilitou, a comparação direta do aumento da vazão de pico com o aumento do coeficiente de escoamento superficial, gerados pela impermeabilização urbana. Esta comparação foi realizada dentro de uma perspectiva multitemporal, que não é considerada pela maioria dos métodos elaborados a partir do hidrograma unitário.

Uma adequada identificação e avaliação do aumento da descarga de um rio e sua capacidade de suportar esta descarga podem levar a um melhor planejamento urbano de uma cidade, no que se refere às áreas sujeitas as inundações, com a redução de danos físicos e econômicos à população local e à administração pública.

Os resultados da pesquisa poderão dar subsídios para a proposição de políticas de planejamento e desenvolvimento urbano que utilizem a bacia hidrográfica de médio porte como unidade de planejamento territorial, além do fornecimento de um método que utiliza as técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), atreladas a modelos hidrológicos para o estudo e análise da dinâmica fluvial.

Dados fornecidos pela SEPL e PROSAM (1996), mostram que a bacia hidrográfica do rio Atuba é a segunda bacia mais urbanizada de Curitiba e suas imediações, sendo escolhida como área de estudo devido a diversos fatores tais como: percentual de urbanização, registros de inundações em seu interior, dimensão de sua área além da existência de um acervo de fotografias aéreas, que permitiu analisar a evolução da densificação urbana ao longo dos últimos trinta anos.

O presente estudo foi organizado em capítulos que tratam dos principais temas necessários ao seu desenvolvimento, como os descritos a seguir:

No primeiro capítulo são apresentados os objetivos a serem desenvolvidos durante o decorrer deste trabalho e, no segundo, é apresentada uma revisão bibliográfica onde são discutidos os principais temas pertinentes à compreensão do desenvolvimento do trabalho e dos parâmetros hidrológicos envolvidos na análise.

O terceiro capítulo é dedicado ao levantamento das principais características dos elementos físicos da paisagem que influenciam no comportamento hidrológico da área em estudo, tais como: geologia, geomorfologia, pedologia e clima local.

O quarto capítulo trata dos materiais e métodos utilizados no decorrer do trabalho. Neste capítulo, são detalhadas as técnicas de Sistemas de Informação Geográfica e de fotogrametria digital, bem como, os métodos utilizados na análise hidrológica da bacia.

O quinto capítulo refere-se aos procedimentos utilizados na obtenção de todos os parâmetros necessários para a aplicação dos métodos utilizados. Neste capítulo, também são apresentados os resultados dos valores estimados para cada parâmetro

e a análise multitemporal das classes de cobertura superficial da bacia hidrográfica, objetivando avaliar e quantificar a evolução das áreas impermeáveis ocasionadas pelo processo de urbanização.

No sexto capítulo são realizadas as aplicações do Método Racional (adaptado e modificado) e do Método de Ven Te Chow para a simulação das vazões de pico, bem como os resultados obtidos pelos dois métodos.

No último capítulo são realizadas as análises e discussão dos resultados obtidos, através do tratamento estatístico de correlação entre duas variáveis, para verificar a relação das vazões de pico simuladas pelo Método Racional modificado e adaptado com as vazões de pico monitoradas pela estação fluviométrica. Neste capítulo também é efetuada a análise multitemporal do impacto da urbanização no aumento dos picos de vazão de cheias e do coeficiente de escoamento superficial, com uma projeção para um cenário futuro, além das conclusões do trabalho.

1.1 OBJETIVO

O principal objetivo do presente estudo é o desenvolvimento de um método que utilize as técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), acopladas à utilização de modelos hidrológicos, para avaliar e espacializar as mudanças dos parâmetros hidrológicos de uma bacia hidrográfica causadas pelo processo de adensamento urbano.

No método proposto, além da realização da cartografia dos principais parâmetros envolvidos, objetivou-se também a quantificação do aumento do escoamento superficial e da vazão de pico dentro de uma análise multitemporal, para bacias de médio porte, urbanizadas a parcialmente urbanizadas.

Para alcançar este objetivo foram determinados alguns objetivos intermediários, tais como:

- 1º- Mapeamento da evolução multitemporal da cobertura superficial do terreno, com a identificação dos diferentes tipos de adensamento urbano que influenciam na impermeabilização do solo;
- 2º- Desenvolvimento de uma metodologia, utilizando-se dos recursos de fotogrametria digital e de Sistemas de Informação Geográfica, para a quantificação mais precisa das áreas permeáveis e impermeáveis de uma bacia hidrográfica;
- 3º- Correlação dos dados hidrológicos com os tipos de uso e ocupação urbana através de um Sistema de Informação Geográfica, para gerar as cartas de índices de coeficientes de armazenamento do solo e de coeficientes de escoamento superficial do terreno, em diferentes datas de aquisição;
- 4º- Aplicação de modelos hidrológicos de chuva - vazão para determinação do aumento do pico de vazão de cheia e do aumento do escoamento superficial, na geração de eventos de cheias.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. IMPACTO URBANO NO SISTEMA HIDROLÓGICO

As mudanças ocorridas no interior de uma bacia hidrográfica podem ter causas naturais. Entretanto, nas últimas décadas, o homem tem participado cada vez mais como um agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrio do ciclo hidrológico. Os efeitos desses processos se fazem sentir dentro de um determinado sistema ambiental e sobre o homem, como elemento deste sistema.

Como um dos reflexos da natureza aos impactos do homem sobre ela, podem ser citadas as inundações urbanas, que são classificadas como um dos principais desastres ambientais a nível nacional, devido às características de um país em desenvolvimento urbano acelerado, associado a tipos climáticos de índices pluviométricos elevados.

As inundações podem ocorrer devido a processos naturais de extravasamento do fluxo dos rios na várzea ribeirinha e pela impermeabilização do solo, causada pela urbanização.

Na questão da urbanização, SPIN (1995) afirma que no seu conjunto, as atividades urbanas, a densidade da forma urbana e os materiais impermeáveis com os quais são construídos, o padrão de assentamento e suas relações com a rede de drenagem natural e o projeto dos sistemas de drenagem e os descontroles das enchentes, produzem um regime hídrico urbano característico. O escoamento superficial abundante e rápido dos temporais cria vazões de água extremamente altas durante e imediatamente após as chuvas.

Ainda segundo o autor (*op. cit.*, 1995), a pavimentação reduz a infiltração e baixa o nível da água do subsolo. As atividades urbanas e sua localização, a forma urbana e seus materiais de construção influenciam o nível das enchentes e a sua localização.

CHOW *et al.* (1988), resumiram os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos de duas formas:

- a) a quantidade de água aumenta na mesma proporção em que aumenta as áreas impermeabilizadas e, como conseqüência, há a redução do volume de água infiltrada;
- b) a velocidade da drenagem superficial e o tempo de pico das enchentes aumentam devido a maior eficiência do sistema de drenagem.

TUCCI e CLARKE (1998) também tratam da questão da impermeabilização de bacias urbanas. Os autores descrevem que com o aumento da densidade populacional, necessitou-se de mais infra-estrutura e de novas técnicas de construção, que afetam diretamente o meio ambiente. A ocupação intensiva tem vários efeitos sobre o ciclo hidrológico como o aumento do escoamento médio superficial, e como conseqüências, o aumento das enchentes, redução da evapotranspiração e do escoamento subterrâneo, aumento da produção de sedimentos e materiais sólidos, degradação da qualidade das águas fluviais e contaminação dos aquíferos.

Para TUCCI *et al.* (1995), com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela da água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

TUCCI *et al.* (1993), exemplificam as relações de causa e efeito das atividades urbanas sobre o sistema de drenagem (Tabela 1). Verificam-se que os problemas resultantes dessas atividades referem-se ao mau aproveitamento dos recursos hídricos, controle da poluição e falta de planejamento urbano e estrutural das cidades.

TABELA 1 - CAUSAS E EFEITOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE AS INUNDAÇÕES URBANAS.

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização.	Maiores picos e vazões.
Redes de drenagem.	Maiores picos a jusante.
Lixos.	Degradação da qualidade da água; Entupimento de bueiros e galerias.
Redes de esgotos deficientes.	Degradação da qualidade da água; Moléstias de veiculação hídrica; Inundações: conseqüências mais sérias.
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado.	Maiores picos e volumes; Mais erosão; Assoreamento em canais e galerias.
Ocupação das várzeas.	Maiores prejuízos; Maiores picos; Maiores custos de utilidades públicas.

Fonte: TUCCI et al. (1993).

Para avaliar o impacto da urbanização na Região Metropolitana de Curitiba a SEPL e PROSAM (1996) utilizaram-se de dados de bacias rurais e urbanas para fazerem uma correlação entre vazão média, enchente e a área da bacia, para as estações fluviométricas localizadas no rio Iguaçu e seus afluentes. Concluíram que as sub-bacias mais urbanizadas são as do Belém, Atuba e Palmital, em ordem de ocupação.

Ainda segundo os dados fornecidos pela SEPL e PROSAM (1996), a bacia do Belém está totalmente urbanizada no seu trecho superior, enquanto que no seu trecho inferior ainda não está densificada. A segunda bacia mais urbanizada é a do rio Atuba, com forte urbanização na sua parte mais central e densificação tanto para montante como para jusante. Todos esses afluentes são da margem direita do rio Iguaçu, onde se encontra o município de Curitiba. Portanto, os afluentes da margem direita são aqueles que produzem as maiores vazões devido à urbanização.

Os efeitos principais da urbanização são o aumento da vazão máxima, antecipação do pico e aumento do volume do escoamento superficial. Esse aumento já chegou a seis vezes no rio Belém, seção Prado Velho (SEPL e PROSAM, 1996).

FENDRICH (2005) indica que a taxa de impermeabilização dos solos da bacia do rio Belém, em 1999 era de 77,59%, ano do evento crítico máximo analisado pelo autor, correspondente a uma série histórica de 1987 a 2001. No decorrer desta série histórica o autor (*op. cit.*, 2005), identifica 25 eventos críticos máximos, fornecendo

para estes eventos dados sobre os valores calculados dos tempos de concentração da bacia, duração da chuva crítica, nível da água superficial e vazão máxima superficial.

2.2. MODELOS HIDROLÓGICOS E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG'S)

A hidrologia aplicada está voltada para os diferentes problemas que envolvem a utilização e preservação dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e formas de ocupação da bacia, sendo uma ciência que se baseia na observação dos processos desenvolvidos no meio ambiente para a análise dos fenômenos naturais encontrados no sistema hidrológico.

Para uma melhor compreensão da complexidade dos fenômenos que constituem o sistema hidrológico como as precipitações, evaporação, evapotranspiração, infiltração, escoamentos superficiais, escoamentos subterrâneos e deflúvios têm-se desenvolvido, dentro do campo da hidrologia, diversos modelos que representam a simulação de suas ocorrências.

Estes modelos são instrumentos da abordagem sistêmica e devem representar a estrutura dos elementos do sistema. O inter-relacionamento entre seus elementos deve ser uma explicação “suficiente” do sistema e seu funcionamento. O modelo representa as características da estrutura e funcionamento do sistema. Todavia, a realidade não estará representada na sua totalidade no modelo (PEREIRA e NENTWIZ SILVA in. GERARDI e MENDES, 2001).

De acordo com os autores (*op. cit.*, 2001), o objetivo de se criar um sistema conceitual que, embora sendo independente, corresponda ao mundo real, é, em termos de planejamento, entender a situação atual e suas tendências, antecipar os cenários futuros e avaliá-los para possíveis intervenções que podem ser simuladas no sistema conceitual, antes de aplicada no sistema do mundo real, atendendo a crescente preocupação com a eficiência e com a equidade do processo de planejamento.

O processo pode ser pensado como de modelagem de sistema e tem como resultado reduzir detalhes e complexidades do sistema a um modelo que possa ser manipulado e compreendido (PEREIRA e NENTWIZ SILVA in. GERARDI e MENDES, 2001).

Para XAVIER DA SILVA (2001), é preciso lembrar, no entanto, que a modelagem ambiental é, por si mesma, complexa. É praticamente impossível lançar luz, ao mesmo tempo e com a mesma intensidade, sobre todos os aspectos da realidade ambiental.

Os modelos ambientais representam síntese que se resolvem segundo a expressão espacial das entidades envolvidas, ou seja, sua distribuição territorial. Como sínteses, constituem-se em uma visão de conjunto, altamente elucidativa do jogo integrado dos fatores físicos, bióticos e sócio-econômicos responsáveis pela realidade ambiental (XAVIER DA SILVA, 2001).

SANTOS *et al.* (2001) conceituam os modelos ambientais como uma descrição matemática de um processo natural físico, químico ou biológico que consistem de equações, gráficos, tabelas e/ou expressões lógicas. Como o modelo é uma simplificação da realidade, ele não pode descrever precisamente todas as variáveis relevantes dos processos. Por isso a incerteza na saída do modelo é inevitável.

Segundo ENOMOTO (2004), geralmente os métodos utilizados para o desenvolvimento de modelos são baseados na simulação do sistema físico através de funções matemáticas empíricas ou conceituais. As limitações no uso de modelos hidrológicos residem na qualidade dos dados de entrada e na sua quantidade. As simplificações utilizadas nas formulações matemáticas devem ser analisadas com cuidado pelo usuário.

O modelo hidrológico pode ser considerado como uma ferramenta desenvolvida para representar o comportamento da bacia hidrográfica, prever condições futuras e/ou simular situações hipotéticas no intuito de avaliar impactos de alterações. A simulação hidrológica é limitada pela heterogeneidade física das bacias e dos processos envolvidos, o que têm muito contribuído para o desenvolvimento de um grande número de modelos (ENOMOTO, 2004).

No contexto dos modelos hidrológicos em bacias de grande porte é necessário utilizar técnicas determinísticas para representar processos físicos e a estatística para representar a variabilidade espacial dos parâmetros hidrológicos, causada pela dimensão da escala. Para COLLISCHONN e TUCCI (2001), a chave principal da representação hidrológica em bacias de grande escala, ocorre na utilização de modelos que representem o balanço hídrico do solo e escoamento superficial de forma distribuída.

Os autores (*op. cit.*, 2001) afirmam que a maior limitação do uso destes modelos tem sido a dificuldade na representação da distribuição espacial da capacidade de infiltração e da capacidade de armazenamento do solo em grandes áreas.

LIANG *et al.* (1994) estudando alguns modelos hidrológicos a nível internacional, que simulam a circulação da água na superfície da Terra a partir da transferência de fluxo de energia entre solo-vegetação-atmosfera (especialmente do calor latente), verificaram que a topografia do terreno tem efeito significativo na umidade do solo, na produção e velocidade do escoamento superficial e na dinâmica dos fluxos de energia superficial, em áreas de grandes escalas.

Segundo os autores (*op. cit.*, 1994) uma linha alternativa desta investigação é o desenvolvimento de modelos hidrológicos, que incorporem processos hidrológicos atuantes tanto na vertical como na horizontal. Por exemplo, modelos que representem a heterogeneidade espacial da vegetação, da topografia do terreno e dos tipos e das camadas do solo.

Na visão de PEREIRA e NENTWIZ SILVA in. GERARDI e MENDES (2001), os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), por sua vez, podem ser considerados como modelos de sistema do “mundo real”. Estes novos modelos, além de cumprir a função dos modelos convencionais (mapas, maquetes, arquivos de dados), acrescentam novos horizontes às atividades de análises, planejamento, projetos e gestão ambiental. Um SIG, então, é uma ferramenta utilizada para representar um sistema-modelo que representa um outro sistema, sistema do mundo real.

O componente mais importante do SIG é a base de dados, que contém o conjunto de dados que representam seu modelo do mundo real e possibilita extrair informações do sistema. Esta base normalmente é formada por dados que vêm de

fontes diversas tais como levantamentos cadastrais, censos, imagens de Sensoriamento Remoto, mapas, levantamentos aerofotogramétricos e outros. Uma vez formada a base de dados, é possível extrair dela diversas informações geográficas na forma de visualizações cartográficas possibilitadas por diversas técnicas (PEREIRA e NENTWIZ SILVA in. GERARDI e MENDES, 2001).

Na definição de ROCHA (2000), um SIG é um sistema com capacidade para a aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais, georreferenciadas, topologicamente estruturada, associadas ou não a um banco de dados alfanumérico.

Para TEIXEIRA *et al.* (1992), em um contexto mais amplo, os SIG's incluem-se no ambiente tecnológico que se convencionou chamar de geoprocessamento, cuja área de atuação envolve a coleta e tratamento de informação espacial, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações. A tecnologia ligada ao geoprocessamento envolve equipamentos (hardware) e programas (software) com diversos níveis de sofisticação.

PAREDES (1994) ressalta que os SIG's significam muito mais que uma simples codificação, armazenamento e recuperação de dados espaciais. Geralmente, estas informações representam um modelo do mundo real, que permitem realizar simulações com situações específicas, alguns dos quais não seriam possíveis no modelo real. Por isso é importante a capacidade de realidade e a capacidade de transformação do sistema. É esta característica do SIG que o diferencia da cartografia digital e do Sensoriamento Remoto.

No que se refere à aplicação de SIG's em modelagem hidrológica o autor (*op. cit.*, 1994), aborda que:

a) A utilização de SIG's tem possibilitado gerar dados para prever o volume das tempestades rápidas e o tempo de pico na bacia hidrográfica.

b) Os SIG's são usados para o ganho de precisão, e velocidade nas análises, já que o cálculo dos parâmetros era iterativo e intensivo.

c) Modelagem de chuvas rápidas pelo método do Soil Conservation Service foi analisada através de métodos convencionais (manuais) e hoje pode ser feito pelos SIG's.

d) Observou-se que o SIG em todas as fases do processo de modelagem provou ser mais vantajoso que o método manual para modelagem, uma vez que, necessita de cálculos repetitivos, avaliação de cenários da cobertura do solo alternados e alterados, e exame de grandes e/ou numerosos estudos da área.

MENDES (1996), estudando a integração de modelos hidrológicos e SIG(s), classifica os modelos em dois tipos: modelos concentrados e modelos distribuídos. Para o autor um modelo é dito concentrado quando os seus parâmetros e variáveis apresentam variação com o tempo, sendo a variabilidade espacial representada com um único valor médio, o que é uma simplificação muito grande da realidade. Já os modelos distribuídos dividem a bacia em elementos que são considerados homogêneos quanto as propriedade avaliadas, representando, além da variável temporal, a variabilidade espacial do sistema físico.

Como a distribuição espacial dos dados necessários à aplicação do modelo distribuído é bastante variável, para o autor (*op. cit*, 1996) os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) se inserem como uma ferramenta que prepara, armazena, atualiza, analisa e apresenta estes dados em conjunto com os outros através da aquisição, manutenção e utilização de um extenso banco de dados referenciados geograficamente.

2.3. MODELOS HIDROLÓGICOS DE TRANSFORMAÇÃO DE CHUVA-AZÃO

Conforme TUCCI *et al.* (1993), quando não existem dados históricos de vazão ou a série histórica é muito pequena, podem ser usados dados de chuvas para simular picos de vazão de cheias. As chuvas máximas são transformadas em vazões através de modelos matemáticos.

A chuva máxima é determinada com base no risco ou no tempo de retorno escolhido. A vazão resultante não possui necessariamente o mesmo risco, se comparada com os métodos estatísticos ou de regionalização de vazões, devido aos diferentes fatores que envolvem a transformação de chuva em vazão. Os principais fatores são as condições iniciais de perda do solo, de escoamento do rio e reservatório, além da distribuição temporal e espacial da chuva (TUCCI *et al.*, 1993).

Para SANTOS *et al.* (2001), a determinação da vazão máxima de uma bacia hidrográfica, realizada com base em registros de vazão, depende da existência de séries históricas que sejam:

- a) longas o suficiente para serem representativas das enchentes no local;
- b) estacionárias, que são aquelas em que suas estatísticas não se alteram devido às mudanças na bacia, sendo homogêneas e estatisticamente independentes.

Ainda segundo o autor (*op. cit.*, 2001), como geralmente estas condições não são atendidas, principalmente em bacias urbanas, é usual a utilização de séries de chuvas para as simulações de vazões. Os dados de chuvas são mais longos, e, portanto, espera-se que sejam mais representativos, pois não sofrem alterações significativas devido à urbanização.

COLLISCHONN e TUCCI (2001) sugerem que as simulações de transformação da chuva em vazão têm grande utilização em recursos hídricos, em diferentes estudos, inclusive no próprio entendimento dos processos envolvidos na parte terrestre do ciclo hidrológico. Os modelos desenvolvidos para descrever esta transformação iniciaram com relacionamentos empíricos entre as variáveis hidrológicas e aprimoram-se com os modelos distribuídos de pequena escala. Ainda

hoje, os modelos dificilmente representam de forma adequada o comportamento físico dos processos em bacias de grande escala.

De acordo com o estudo realizado por ENOMOTO (2004), os modelos que transformam chuva em vazão devem descrever a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, declividade e depressão do terreno, o fluxo através do solo pela infiltração, escoamento superficial, subsuperficial e nas calhas dos rios.

Diversas são as incertezas nas vazões obtidas a partir das chuvas devido às dificuldades encontradas na aplicação dos modelos hidrológicos de transformação de chuva-vazão. Como suas principais dificuldades podem ser citadas: a variedade temporal e espacial das chuvas, a incerteza dos dados coletados por estações pluviométricas, o fator da escala entre processos pontuais e espaciais e a heterogeneidade da representação dos elementos físicos da paisagem.

Um dos métodos mais consagrados de estimativa de vazão máxima, através da transformação da chuva em vazão, é o Método Racional que engloba todos os processos em apenas um coeficiente.

O Método Racional é bastante utilizado para o estudo do pico de cheias em pequenas bacias hidrográficas, sendo a vazão determinada em função da precipitação e das características do recobrimento da bacia. Tem como base principal o emprego da fórmula racional que consiste em:

$$Q_p = \frac{C \cdot i_m \cdot A}{3,6} \quad \text{equação (1)}$$

onde:

Q_p = vazão de pico, em m^3/s ;

i_m = intensidade máxima da chuva, para tempo de duração igual ao tempo de concentração da bacia, em mm/h ;

C = coeficiente de deflúvio ou de escoamento superficial (adimensional);

A = área da bacia em km^2 .

Para FRANCO (2004) as principais premissas do Método Racional são: a ausência de escoamento de base, a constância do armazenamento superficial em toda a área da bacia, a constância da intensidade da chuva no tempo e no espaço, além do escoamento superficial hortoniano que é produzido por intensidades de chuvas superiores a capacidade de infiltração.

Conforme ainda, o autor (*op. cit.*, 2004), essas hipóteses são razoáveis em bacias com pequenos tempos de concentração e, conseqüentemente, em áreas pequenas que permitam considerar que o escoamento na bacia torne-se permanente quando toda a bacia contribui para o escoamento direto.

Para FENDRICH *et al.* (1997), em se tratando de bacias pequenas, o Método Racional somente pode ser aplicado com maior segurança em bacias de até 0,50km², restringindo-se a pequenas áreas, devido aos seus princípios básicos que possuem as seguintes hipóteses:

- a) a duração da chuva intensa é igual ao tempo de concentração da bacia. Sendo a duração da chuva inversamente proporcional à sua intensidade, ou seja, quanto mais intensa for à chuva menor será a sua duração;
- b) a impermeabilidade das superfícies permanece constante durante a chuva;
- c) adota um único coeficiente de escoamento superficial para toda a bacia, denominado coeficiente "C", estimado com base nas características da bacia;
- d) a contribuição subterrânea na vazão de pico é desprezível;
- e) a umidade do solo gerada por chuvas anteriores não afeta a vazão máxima da seção estudada;

Embora o Método Racional tenha sido desenvolvido originalmente para determinar a vazão máxima em bacias hidrográficas pequenas, onde o tempo de concentração seja suficientemente curto para que se estabeleça o regime permanente, extensões deste método tem sido desenvolvidas para bacias de médio porte.

O Método Tempo-Área, que é uma extensão do Método Racional, considera uma maior diversidade do uso do solo na bacia hidrográfica. Baseia-se no estabelecimento de uma função que relaciona a área de contribuição de uma bacia ou sub-bacia, ao tempo necessário para que esta contribua à formação da vazão no exutório (TUCCI *et al.* 1995).

Na equação do Método Racional podem ser introduzidos coeficientes de abatimento e fatores de distribuição, para compensar a variabilidade espacial da precipitação, de modo a estender o quanto possível este método a bacias hidrográficas de áreas superiores as estipuladas no Método Racional, na sua forma original.

O DER/SP citado por FRANCO (2004), também admite o uso do Método Racional em bacias com áreas até 0,50 km². Para bacia com áreas entre 0,50km² e 1,0 km² propõe o Método Racional “modificado”, cuja vazão de pico obtém-se multiplicando a expressão original por um fator de ajuste, ou seja, $f = A^{-0,10}$, sendo “*f*” fator de ajuste e “*A*” a área da bacia em hectares.

De acordo com o autor (*op. cit.*, 2004), a Prefeitura de Porto Alegre/ RS, adota um modelo semelhante, usando na fórmula do Método Racional um coeficiente de abatimento embutido na área da bacia. Onde $A^{0,95}$ para áreas de 30 a 50 ha e $A^{0,90}$ para áreas de 50 até 150 ha.

Visando melhorar a estimativa da vazão máxima de escoamento superficial em bacias hidrográficas estudadas na região sul de Minas Gerais, EUCLYDES e PICCOLO (1987), citados por PRUSKI, et al. (2004) introduziram um coeficiente, denominado coeficiente de retardo, na equação do Método Racional, passando a vazão máxima de escoamento a ser obtida pela seguinte expressão:

$$Q_{\max} = \frac{C.i_m.A}{3,6} \varphi \quad \text{equação (2)}$$

em que φ é o coeficiente de retardamento, adimensional, em relação ao início da chuva.

Para os autores (*op. cit*, 2004) o coeficiente de retardamento procura corrigir o fato do escoamento superficial sofrer um retardo em relação ao início da chuva.

Com a aplicação do coeficiente de retardamento, que varia de zero a 1, procura-se uma compensação para esse efeito, que não é considerado no Método Racional.

Nos estudos de EUCLYDES e PICCOLO (1987) *apud* PRUSKI *et al.* (2004), foi ajustada uma equação com coeficiente de correlação igual a 0,70 que permitisse estimar o valor de ϕ de acordo com a área da bacia:

$$\phi = 0,278 - 0,00034.A \quad \text{equação (3)}$$

em que A é a área da bacia, em km².

Através da aplicação da Equação 3 os autores obtiveram valores de coeficiente de retardamento em relação ao início da chuva, apresentados na Tabela 2 e, válidos para áreas de 10 km² a 150 km².

TABELA 2 - VALORES DO COEFICIENTE DE RETARDAMENTO ϕ EM FUNÇÃO DA ÁREA DA BACIA.

Área da bacia em (km ²).	ϕ
10 – 30	0,27
30 – 60	0,26
60 – 90	0,25
90 – 120	0,24
120 – 150	0,23

Fonte: EUCLYDES e PICCOLO in. PRUSKI *et al.* (2004).

SOUZA PINTO *et al.* (1976), apresentam a equação do Método Racional introduzindo um coeficiente de abatimento que reflete o retardamento por

armazenamento na bacia, em função das declividades do terreno. Para os autores, a equação do Método Racional pode ser escrita como:

$$Q_p = \frac{C \cdot \varphi \cdot i_m \cdot A}{3,6} \quad \text{equação (4)}$$

onde:

Q_p = vazão de pico em m^3/s ;

C = coeficiente de deflúvio ou de escoamento superficial;

φ = coeficiente de retardamento, adimensional, que reflete o efeito de armazenamento da bacia;

i_m = intensidade máxima da chuva sobre toda a área drenada, para tempo de duração igual ao tempo de concentração da bacia, em mm/h ;

A = área da bacia em km^2 .

O escoamento superficial está subordinado aos diversos fatores constituintes da paisagem que irão facilitar ou dificultar a sua ocorrência. Estes fatores estão ligados às características fisiográficas do terreno e ao tipo climático da região, sendo este último relacionado à chuva.

Para VILLELA e MATTOS (1975), dentre os fatores climáticos podem-se destacar a intensidade e a duração da chuva, pois quanto maior a intensidade, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração, provocando um excesso de chuva que escoará superficialmente.

Os autores (*op. cit.*, 1975), definem o escoamento superficial ou coeficiente de deflúvio, ou ainda coeficiente de “run off”, como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado.

Do total da chuva precipitada em uma bacia hidrográfica, somente uma parcela contribui superficialmente para o aumento do volume de água nos canais de drenagem. Em seu trajeto em direção a superfície terrestre a chuva já sofre perdas iniciais, devido ao processo de evaporação. Da parcela que atinge a esfera terrestre, parte é interceptada pela vegetação ou bacias de retenção, parte umedece o solo, ou é retida pelas depressões do terreno e uma outra parte, contribui para o escoamento subsuperficial ou se aloja nos depósitos subterrâneos.

Segundo FENDRICH *et al.* (1997), o volume de água escoado em superfície é, então, um resíduo do volume precipitado e a relação entre os dois é o que se denomina, geralmente, coeficiente de deflúvio ou de escoamento superficial.

Nos métodos hidrológicos que indicam a relação entre a vazão máxima escoada e a intensidade da chuva, o coeficiente de escoamento superficial é considerado como um dos parâmetros principais, que depende de uma série de fatores, tais como:

- a) intensidade e quantidade da chuva: à medida que aumenta a quantidade de água precipitada, as perdas iniciais e a capacidade de infiltração do solo são atendidas, aumentando o escoamento superficial;
- b) tipo de solo: a característica de permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver;
- c) umidade antecedente do solo: a chuva que ocorre quando o solo está úmido ou saturado, devido a uma precipitação anterior, terá maior facilidade de escoamento;
- d) declividade do terreno: quanto maior a declividade do terreno, mais rápido e maior será o escoamento superficial e menor o seu armazenamento.
- e) tipo de cobertura superficial do terreno: quanto maior o percentual de áreas impermeáveis, maior será a contribuição do escoamento superficial, para a vazão de cheia.

2.3.1. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O coeficiente de escoamento superficial pode ser obtido através de tabelas encontradas nas literaturas específicas. PORTO in. TUCCI *et al.* (1995), reproduz a tabela elaborada por WILKEN. Esta tabela, que define o coeficiente de escoamento em função da cobertura superficial do terreno, foi elaborada para a cidade de São Paulo, sendo usada para um período de retorno de 5 a 10 anos (Tabela 3).

TABELA 3 - COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL ADOTADOS PELA PREFEITURA DE SÃO PAULO E DETERMINADOS POR WILKEN.

Zonas	C
Edificação muito densa: partes centrais, densamente construídas, de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 – 0,95
Edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitação, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 – 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,50 – 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 – 0,50
Subúrbios com algumas edificações: partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção.	0,10 – 0,25
Matas, parques e campos de esportes : partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação.	0,05 – 0,20

Fonte: PORTO in. TUCCI *et al.* (1995).

Para utilização de períodos de retorno maiores, os valores dos coeficientes de escoamento superficial podem ser corrigidos pela seguinte equação:

$$C_r = 0,8.T_r^{0,1}.C^{10} \quad \text{equação (5)}$$

onde:

C_r = coeficiente de escoamento superficial para o período de retorno desejado;

T_r = tempo de retorno em anos;

C^{10} = coeficiente de escoamento superficial para o período de retorno de 10 anos.

PORTO in. TUCCI *et al.* (1995) apresenta também, os valores de coeficientes de escoamento superficial, determinados pela ASCE, estes valores podem ser usados em áreas urbanas (Tabela 4).

TABELA 4 - VALORES DE COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL POR TIPO DE OCUPAÇÃO (ASCE).

Descrição da área	Coefficiente de escoamento superficial
Área comercial	
Central	0,70 – 0,90
Bairros	0,50 – 0,70
Área residencial	
residências isoladas	0,35 – 0,50
unidades múltiplas (separadas)	0,40 – 0,60
unidades múltiplas (conjugadas)	0,60 – 0,75
lotes > 2.000 m ²	0,30 – 0,45
áreas com apartamentos	0,50 – 0,70
Área industrial	
industrias leves	0,50 – 0,80
industrias pesadas	0,60 – 0,90
parques, cemitérios	0,10 – 0,25
playgrounds	0,20 – 0,35
pátios ferroviários	0,20 – 0,40
áreas sem melhoramentos	0,10 – 0,30

Fonte: PORTO in TUCCI *et al.* (1995).

TUCCI (2000), em seu trabalho, utilizou-se de valores de coeficientes de escoamento superficial para áreas de superfícies impermeáveis (Ci), conforme o descrito na Tabela 5.

TABELA 5 - VALORES DE Ci PARA ALGUMAS SUPERFÍCIES IMPERMEÁVEIS.

Tipo de superfície	Valor médio	Ci
Cimento e asfalto	0,95	0,90 – 0,95
Paralelepípedo	0,60	0,58 – 0,81
Blockets	0,78	0,70 – 0,89
Concreto e asfalto poroso	0,03	0,05
Solo compacto	0,66	0,59 – 0,79

Fonte: TUCCI (2000).

Segundo FENDRICH *et al.* (1997), em geral, as superfícies dos terrenos não são homogêneas, não sendo, por isso, conveniente adotar um único valor retirado da tabela para toda a área de drenagem. O mais conveniente é adotar um coeficiente composto. Para os autores (op. cit., 1997), o coeficiente composto é dado pela determinação da média ponderada para toda a área da bacia de drenagem, de todos os valores de “C” das parcelas que a compõem. Tais valores são baseados nas características da superfície e seriam os seguintes (Tabela 6):

TABELA 6 - VALORES DE "C" BASEADOS NAS CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE.

Características da superfície	Valores de "C"
Superfícies de telhados.	0,70 a 0,95
Pavimentos.	0,40 a 0,90
Vias macadamizadas.	0,25 a 0,60
Vias e passeios apedregulhados.	0,15 a 0,30
Superfícies não pavimentadas, quintais e lotes vazios.	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados, dependendo da declividade e do subsolo.	0,05 a 0,25

Fonte: FENDRICH et al. (1997).

Para áreas rurais TUCCI *et al.* (1993), apresenta os valores de "C" elaborados por WILLIAMS, conforme a topografia, tipo de solo e cobertura superficial do terreno (Tabela 7).

TABELA 7 - VALORES DE "C" PARA ÁREAS RURAIS.

Tipo de área	Valor de "C"
1. Topografia	
terreno plano, declividade de 0,2 a 0,6 m/km	0,10
terreno com declividade de 3 a 4 m/km	0,20
morros, declividade de 30 a 50 m/km.	0,30
2. Solo	
argila impermeável	0,40
permeabilidade média	0,20
arenoso.	0,10
3. Cobertura	
área cultivada	0,20
árvores.	0,10

Fonte: TUCCI *et al* (1993).

Os coeficientes "C" também podem ser definidos em função da relação entre o volume total de escoamento superficial de um evento, e o volume total precipitado, através de fórmulas que representam esta relação. Estas fórmulas permitem uma melhor análise do impacto das áreas impermeáveis no aumento do pico de vazão de cheias, auxiliando no zoneamento do espaço urbano.

Considerando uma bacia urbana onde podem existir dois tipos de superfícies, as superfícies permeáveis e as superfícies impermeáveis TUCCI (2000), estima o coeficiente de escoamento com base na seguinte expressão:

$$C = \frac{C_p \cdot A_p + C_i \cdot A_i}{A_t} \quad \text{equação (6)}$$

onde:

C_p é o coeficiente de escoamento de áreas permeáveis;

A_p é a parcela da bacia com superfícies permeáveis;

C_i é o coeficiente de escoamento de áreas impermeáveis;

A_i é a parcela da bacia com superfícies impermeáveis.

A expressão a cima pode ser transformada para:

$$C_p + (C_i - C_p) \frac{A_i}{A_t} \quad \text{equação (7)}$$

onde A_i/A_t representa a parcela de áreas impermeáveis.

A partir de diversas fontes literárias, o autor (*op. cit.*, 2000) realiza uma correlação entre áreas impermeáveis e coeficiente de escoamento superficial, a partir de amostras de 12 bacias brasileiras, com diferentes graus de urbanização e de dimensão (Tabela 8).

TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DE BACIAS URBANAS BRASILEIRAS.

Bacia	Cidade	Área da bacia km ²	Ai %	C	Fonte	Nº. de eventos
Bela Vista	Porto Alegre	2,6	50,4	0,58	1	20
Dilúvio/Ipiranga (a)	Porto Alegre	25,5	19,7	0,16	2	27
Dilúvio/Ipiranga (b)	Porto Alegre	25,5	40	0,37	2	12
Beco do Carvalho	Porto Alegre	3,4	15,6	0,16	1	15
Cascata	Porto Alegre	7,6	16,4	0,15	1	14
Casa de Portugal	Porto Alegre	6,7	1	0,09	3	7
Agronomia	Porto Alegre	17,1	4	0,11	3	5
Jaguarão	Joinville	6,5	8	0,137	3	6
Mathias	Joinville	1,86	16	0,23	3	8
Belém/ Prado Velho	Curitiba	42	40	0,42	4	10
Meninos	São Paulo	106,7	40	0,37	2	5
Gregório	S. Carlos	15,6	29	0,12	3	5

1- Silveira (1999); 2- Santos et al. (1999); 3- Diaz e Tucci (1987) e 4 – Germano (1998). (a) condições urbanas de 1979 a 1982; (b) condições urbanas de 1996 a 1997. Fonte: TUCCI (2000).

CAMPANA (1995) constatou, que os modelos matemáticos de simulação hidrológica usados para quantificar o escoamento em áreas urbanas, incluem na sua estrutura o parâmetro fração de áreas impermeáveis, separando o escoamento em superfícies permeáveis e impermeáveis, respectivamente. Notou, porém, que pela carência de dados, essa potencialidade dos modelos não pode ser aproveitada, e fração de áreas impermeáveis transforma-se em mais um parâmetro de ajuste. Esta situação confirma a necessidade de se orientar esforços no sentido de identificar novas metodologias que permitam a quantificação mais precisa desse parâmetro.

Segundo o autor (*op. cit.*, 1995) a tecnologia espacial de Sensoriamento Remoto oferece grande potencial a este respeito.

O escoamento superficial direto, ou chuva excedente é a parcela da chuva total que escoar inicialmente pela superfície do solo. Para TUCCI *et al.* (1995), a chuva excedente é a maior responsável pelas vazões de cheias, sendo calculada diretamente por meio de relações funcionais que levam em conta o total precipitado, o tipo de solo, sua ocupação e a umidade antecedente, entre outros fatores.

Um exemplo típico de método que considera a relação funcional do total precipitado com o tipo de solo, sua ocupação e umidade antecedente é o consagrado método hidrológico do Soil Conservation Service – SCS, baseado no parâmetro número da curva - CN .

Além do Método Racional, outros métodos de uso consagrado na Hidrologia Urbana, que transformam chuva em vazão, são os métodos baseados na teoria do hidrograma unitário, cuja utilização se recomenda para bacias de médio porte.

Conforme TUCCI *et al.* (1993), a distinção entre pequenas bacias e bacias de médio porte será sempre imprecisa e dependente de um certo grau de subjetividade, dada a natural variação dos parâmetros que influem no comportamento hidrológico da bacia. Os critérios mais comuns, entretanto, classificam como bacia pequena aquela cuja área de drenagem seja inferior a 2,5 km² ou o tempo de concentração seja inferior a 1 hora. Para bacias médias os limites superiores são, respectivamente, 1.000 km² e 12 horas.

Nos métodos baseados no hidrograma unitário, a vazão de pico e/ou o hidrograma de projeto são determinados a partir de uma tormenta de projeto, sendo

descontadas as diversas perdas que ocorrem durante o percurso d'água, até atingir a seção de interesse.

O Método de Ven Te Chow “Soil Conservation Service” (SCS) utilizando-se das hipóteses do hidrograma unitário, considera o fenômeno de transformação de chuva em vazão com a premissa que as vazões de cheias são proporcionais às chuvas efetivas. Para tal consideração, Ven Te Chow verificou que os dados empregados no Método do hidrograma unitário sintético do Soil Conservation Service, podem ser usados na avaliação do excesso de chuva ou do número de deflúvio (WILKEN 1971).

Segundo WILKEN (1971), o Método de Ven Te Chow apresenta as seguintes vantagens:

a) possui fundamentos analíticos porque é desenvolvido a partir de sólidos princípios hidrológicos. Quem o emprega pode seguir o processo do seu desenvolvimento, obtendo-se um conhecimento total dos princípios hidrológicos em que o mesmo se baseia;

b) os dados em que se baseia o método são admissíveis para aplicação às condições do local em consideração;

c) a aplicação do método pode ser simplificada pelo emprego de nomogramas e tabelas;

d) o método pode ser melhorado por meio de análises complementares e pesquisa, mediante a acumulação de dados de chuvas e de deflúvios, e experiência no campo. Sendo baseado em princípios analíticos, as melhorias citadas não alterarão o programa básico, porque implica somente na modificação de curvas e diagramas que dependem da parte qualitativa dos dados de entrada.

2.3.2. INTENSIDADE DA CHUVA

A intensidade da chuva considerada na aplicação dos métodos que transformam precipitação em vazão é a intensidade máxima média observada num certo intervalo de tempo, para um período de retorno determinado, sendo um resultado do valor médio da chuva, no tempo e no espaço.

A intensidade máxima média da chuva geralmente é definida através de características estatísticas, observadas em um certo local, sendo determinadas pelas variáveis aleatórias de intensidade média e/ou altura da chuva, que são funções de dois parâmetros básicos:

- 1) tempo de recorrência ou período de retorno e;
- 2) tempo de duração da chuva (em minutos).

O tempo de recorrência ou período de retorno é o período de tempo médio (medido em anos) em que um determinado evento deve ser igualado ou superado, pelo menos uma vez.

O período de retorno é o inverso da probabilidade de pelo menos um evento de intensidade igual ou superior ocorra em um ano qualquer e é definido de acordo com o objetivo do estudo.

O tempo de duração da chuva é igual à duração do evento pluvial analisado, de um determinado período de retorno, que conduza a máxima vazão do rio.

Durante a aplicação do Método Racional, FRANCO (2004) chama a atenção para a importância de se considerar a duração da chuva igual ao tempo de concentração. Segundo o autor, se considerar um intervalo de tempo menor que o tempo de concentração, haverá variações da intensidade com conseqüentes variações da vazão no exutório da bacia. Assim, muitos pesquisadores entendem a necessidade de limitar a duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia.

Conforme SOUZA PINTO *et al.* (1976), as chuvas são tanto mais raras quanto mais intensas forem. Para considerar a variação da intensidade com o período de retorno, é necessário fixar, a cada vez, a duração a ser considerada. Assim, a intensidade da chuva máxima é estimada através da determinação da curva de intensidade-duração-freqüência (ou tempo de recorrência), deduzida de observações de chuvas intensas durante um longo período de tempo e representativo dos eventos extremos do local em análise.

Tendo como principio básico que na determinação da curva de intensidade-duração-freqüência (curva de I-D-F), é preciso ajustar uma distribuição estatística

aos valores anuais de chuva para cada duração TUCCI *et al.* (1993), descrevem uma seqüência metodológica para a confecção do gráfico de curva de I-D-F, que consiste nas seguintes etapas:

- 1º) para cada duração são obtidas as chuvas máximas anuais com base nos dados do pluviógrafo;
- 2º) para cada duração mencionada é ajustada uma distribuição estatística;
- 3º) dividindo a chuva pela sua duração, obtém-se a intensidade;
- 4º) as curvas resultantes são as relações de I-D-F.

A relação entre intensidade-duração-freqüência é representada pela expressão:

$$i_m = \frac{a \cdot T_r^b}{(t + c)^d} \quad \text{equação (8)}$$

onde:

i_m = intensidade máxima da chuva sobre toda a área drenada, para tempo de duração igual ao tempo de concentração da bacia, em mm/h;

T_r = tempo de recorrência, em anos;

t = duração da chuva, em min;

a, b, c e d = parâmetros determinados para cada estação pluviográfica.

No aspecto relacionado à determinação da intensidade máxima média da chuva, Curitiba conta com uma série de equações que determinam chuvas intensas. Na Tabela 9 são apresentadas algumas equações elaboradas para a cidade de Curitiba.

TABELA 9 - EQUAÇÕES PARA DETERMINAR A INTENSIDADE MÁXIMA MÉDIA DAS CHUVAS EM CURITIBA-PR.

Autor	Equação	Elaboração
Parigot de Souza (1959).	$i_m = \frac{5950T^{0,217}}{(t + 26)^{1,15}}$	Através da relação de intensidade, duração, frequência de dados da estação de Curitiba entre 1921 a 1951. A equação é válida para duração de 5 min a 2 horas.
Fendrich e Freitas (1989).	$i_m = \frac{3221,07.T_r^{0,258}}{(t_d + 26)^{1,010}}$	Através da relação de intensidade, duração, frequência de dados da estação do Prado Velho (Curitiba-PR) entre 1981 a 1988. A equação é válida para duração de 10 min a 24 horas.
Fendrich (2000).	$i_m = \frac{5726,64.T_r^{0,159}}{(t_d + 41)^{1,041}}$	Revisada da equação de Fendrich e Freitas (1989), através de dados da estação do Prado Velho (Curitiba-PR) entre 1981 a 1999. A equação é válida para duração de 10 min a 24 horas.

Para SILVEIRA (2005), o tempo de concentração é um parâmetro hidrológico que surge da hipótese que a bacia hidrográfica responde como um sistema linear para o escoamento superficial direto. Decorre desta hipótese a definição de tempo de concentração como o intervalo de tempo, contado a partir do início da chuva, para que toda a bacia esteja contribuindo na seção de saída. Nesta condição hipotética de resposta linear da bacia o tempo de concentração é o tempo de equilíbrio quando se estabelece o regime permanente entre uma chuva efetiva de intensidade constante e o escoamento superficial direto dela decorrente.

Ainda conforme o autor (op. cit., 2005), o tempo de concentração, como parâmetro hidrológico invariável, pode ser definido como o tempo necessário para uma gota d' água caminhar superficialmente do ponto mais distante (em percurso hidráulico) da bacia até o seu exutório.

Segundo PORTO in. TUCCI *et al.* (1995), o tempo de concentração é, ao lado do coeficiente de escoamento superficial, um dos parâmetros cruciais na aplicação do Método Racional.

De acordo com FRANCO (2004), se a duração de uma chuva de intensidade constante excede o tempo de concentração, toda a área da bacia passa a contribuir para o escoamento. A vazão máxima é atingida neste tempo, e a partir daí, torna-se

constante (regime permanente). Ainda segundo o autor, é importante selecionar fórmulas adequadas para determinar o tempo de concentração em função da urbanização e do tamanho da bacia hidrográfica.

Nas literaturas que tratam de temas referentes à Hidrologia são apresentadas diversas fórmulas empíricas para o cálculo do tempo de concentração, sendo estas, elaboradas em função de características físicas da bacia, da sua ocupação e, eventualmente, da intensidade da chuva.

SILVEIRA (2005) chama atenção para uma incerteza prática na definição do tempo de concentração, que muitas vezes afeta a gênese das fórmulas de cálculo. Normalmente, as medidas ou observações do tempo de concentração, das mais sofisticadas (com traçadores diversos) às mais pragmáticas (via análise de hietograma, hidrograma ou somatória de tempo de trânsito), podem superestimar o tempo de concentração, caso refira-se ao escoamento superficial com baixa carga hidráulica.

No confronto de informações disponíveis sobre a origem das fórmulas e limitações teóricas, com o desempenho obtido em aplicações a bacias urbanas e rurais, com os dados observados, o autor (*op. cit.*, 2005) verificou que é possível o uso de fórmulas de tempo de concentração para uma faixa de áreas de bacia muito superior às usadas em sua calibragem, sobretudo em bacias rurais. No caso de bacias urbanas, as fórmulas com melhor desempenho mostraram uma faixa de erro maior do que as correspondentes em bacias rurais, restringido, na maioria, a áreas menores do que aquelas que foram recomendadas.

Quanto à variabilidade espacial da chuva, em uma região, esta dificilmente segue um padrão físico identificável, além disso, a configuração espacial muda rapidamente com os intervalos de tempos sucessivos do evento chuvoso. Em suma, há normalmente, durante a ocorrência de uma chuva, uma grande quantidade de núcleos de precipitação que nascem, crescem, deslocam-se e desaparecem sobre a área da passagem da chuva, que impede a emergência de uma estrutura espacial estável (SUDERHSA e SEMA, 2002).

Como a chuva em uma bacia é dificilmente uniforme, torna-se necessário à correção do valor da chuva máxima, através da redução desta em relação ao tamanho da bacia hidrográfica.

Este fenômeno pode ser contornado com a abordagem geoestatística, que utiliza uma correlação espacial dos eventos chuvosos no entorno do ponto de máxima precipitação.

Através de ajustes de correlações espaciais de chuvas na região de Porto Alegre, utilizando-se do Método de Lebel e Laborde, que é baseado na função de variograma da geoestatística, para representar a estrutura espacial da chuva, SILVEIRA (2001) estabelece uma equação para o cálculo de coeficientes de abatimento de distribuição da chuva, simplificada na seguinte expressão:

$$\alpha = 1 - 0,25 \frac{\sqrt{A}}{\beta} \quad \text{equação (9)}$$

Onde β é o alcance do variograma, cujo o valor pode ser estimado por:

$$\beta = a.t^n \quad \text{equação (10)}$$

sendo:

t a duração da chuva;

a e n parâmetros a ajustar.

2.4. MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES

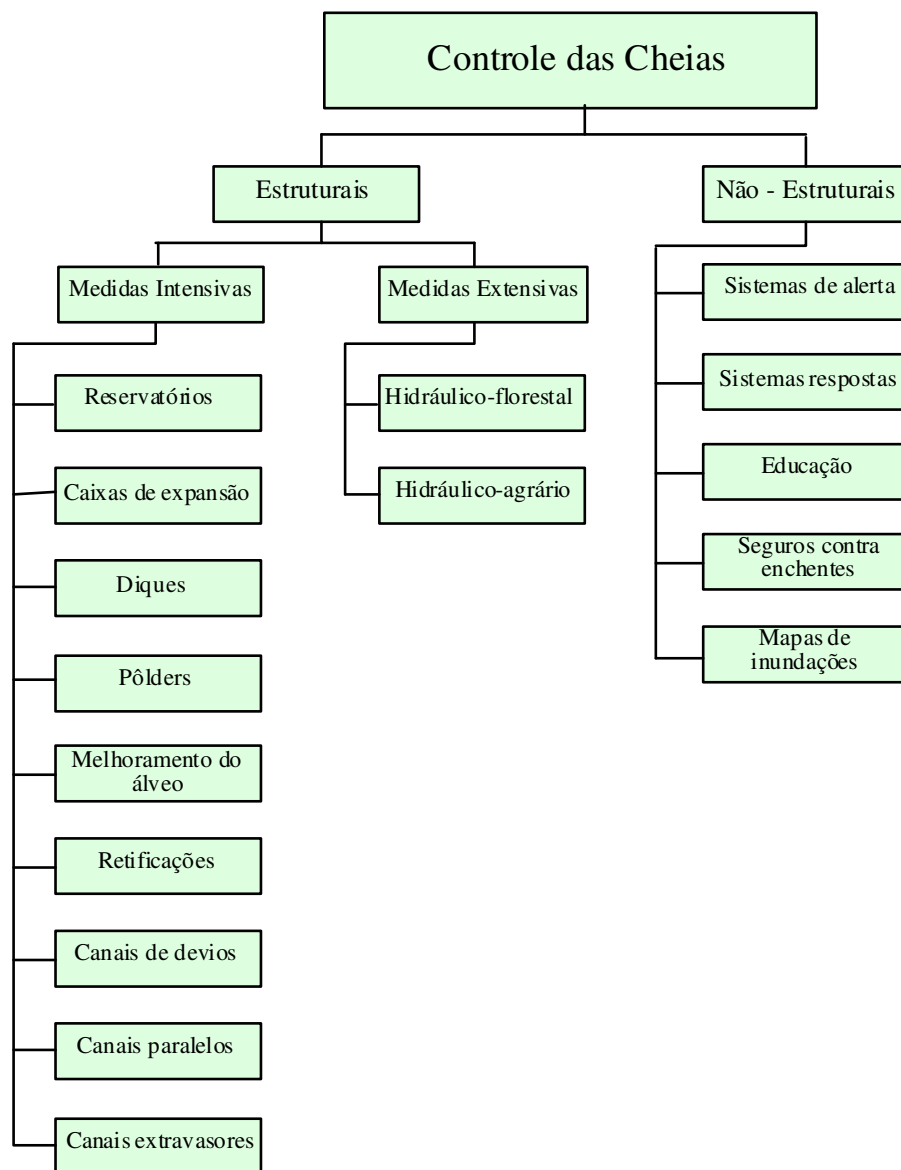
Conforme a SUDERHSA e SEMA (2002), as ações ou medidas estruturais são obras de engenharia implementadas para reduzir o risco das enchentes, e podem ser extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem no contexto global da bacia, procurando, modificar as relações entre chuvas e vazões, como a ampliação da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchentes e controla a erosão da bacia. Já as medidas intensivas são aquelas que agem nos cursos d'água e superfícies e podem abranger:

- obras de contenção como diques e pôlders;
- aumento da capacidade de descarga com retificações, ampliações de seção e corte de meandros de cursos d'água, desvio do escoamento por canais e;
- retardamento e infiltração, como reservatórios, bacias de amortecimento e dispositivos de infiltração no solo.

Para CORDEIRO *et al.* (1999), o critério de classificação das medidas de controle das cheias é aquele que se subdivide em duas categorias: as soluções estruturais e não estruturais. As primeiras influenciam na estrutura da bacia, seja na sua extensão (medidas extensivas), mediante intervenções diretas na sua sistematização hidráulico-florestal e hidráulico-agrário, seja localmente (medidas intensivas), mediante obras com o objetivo de controlar as águas, como, por exemplo: reservatórios, caixas de expansão, diques, pôlders, melhoramento do álveo, retificações, canais de desvio, canais paralelos e canais extravasores. Por outro lado, as medidas não-estruturais consistem na busca da melhor convivência do homem com o fenômeno das enchentes.

Os autores (*op. cit.*, 1999), apresentam um esquema das principais medidas estruturais e não estruturais para controle das cheias. Estas medidas estão ilustradas no fluxograma da Figura 1.

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DE MEDIDAS PARA CONTROLE DAS CHEIAS



Fonte: CORDEIRO *et al.* (1999).

Quanto à redução dos impactos das inundações em Curitiba e RMC a SUDERHSA e SEMA (2002), propõe no Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu, além das intervenções estruturais, medidas e ações não estruturais a serem aplicadas através de mecanismos de disciplinamento do uso do solo urbano; plano de ação para a proteção da população, em um sistema institucional de gestão.

A Tabela 10 apresenta uma síntese das principais medidas não estruturais, propostas pela SUDERHSA e SEMA (2002), para a região do alto Iguaçu. É importante enfatizar aqui, que estas medidas não estruturais, na maioria dos casos, requerem investimentos baixos para serem implementadas se comparadas com as medidas estruturais.

TABELA 10 - SÍNTESE DAS MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS.

Medida	Características	Benefícios	Necessidade de Legislação
Previsão e alerta em tempo real.	Prevê com antecedência de algumas horas ou até 1 dia as cotas de inundações no rio Iguaçu.	Redução das perdas pela remoção da população e seus bens.	Não
Plano de defesa civil.	Preparar a Defesa Civil para as conseqüências das inundações ribeirinhas e para as áreas críticas urbanas.	Minimização dos impactos sobre a população pela antecipação de ocorrências através da previsão e alerta em tempo real.	Não
Zoneamento de áreas de inundação ribeirinhas.	Mapeamento das áreas de risco; relação da população instalada em áreas de risco; desenvolvimento de projetos para uso público tais como parques lineares.	Preservação de áreas naturais de amortecimento e verde e de lazer próximas à malha urbana.	Sim
Controle da vazão máxima.	A vazão máxima de um novo desenvolvimento não pode exceder a de condições de pre-desenvolvimento.	Evitar a transferência de aumento de cheias para jusante na drenagem.	Sim
Regressões a ocupação de áreas de risco de erosão.	Mapeamento das áreas de risco; desenvolvimento de projetos de sistemas de contenção; relocação da população instalada em áreas de risco; controle e fiscalização de obras de terraplenagem.	Redução do assoreamento do sistema de macro drenagem e do impacto sobre a população e suas propriedades.	Sim
Incentivo a manutenção de áreas permeáveis.	Incentivar a manutenção de uma área permeável em meio às áreas desenvolvidas.	Redução do aumento do escoamento; melhoria da qualidade da água; melhoria do ambiente urbano.	Sim
Controle da qualidade da água.	Avaliação da qualidade da água; controle da qualidade da água na macro drenagem.	Melhoria da qualidade das águas a jusante.	Sim

CONTINUAÇÃO DA TABELA 10 – SÍNTESE DAS MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS.

Medida	Características	Benefícios	Necessidade de Legislação
Educação e capacitação técnica.	Educar a população, profissionais que desenvolvem a cidade; projetistas de drenagem na RMC.	Melhor entendimento dos impactos e apoio no controle e fiscalização do planejamento das cidades.	Não
Manual de drenagem urbana.	Manual de drenagem urbana voltado aos engenheiros responsáveis pela aprovação de novos empreendimentos e pelo desenvolvimento de projetos de drenagem na RMC.	Possibilitar a aplicação dos princípios propostos no Plano Diretor de Drenagem através de um instrumento de apoio técnico para projetos de obra de drenagem.	Não
Atualização do cadastro do sistema.	Implantar programas de cadastro do sistema de macrodrenagem inserindo as informações levantadas no SIGRH- Sistemas de informações de Recursos Hídricos.	Melhorar o conhecimento do sistema existente possibilitando uma atualização mais eficaz sobre seus pontos críticos.	Não
Programa de limpeza urbana.	Avaliar a carga de resíduos que chega a drenagem; planejar a sua redução pelo aumento da frequência de limpeza e disposição final do lixo.	Evitar o entupimento do sistema de drenagem e inundações localizadas em trechos obstruídos.	Não
Administração.	Avaliação dos projetos, fiscalização e operação e manutenção dos sistemas de drenagem e ocupação das áreas ribeirinhas.	Preservar o que foi planejado para a cidade dentro da sua sustentabilidade.	Não

Fonte: SUDERHSA e SEMA (2002).

CAPÍTULO 3

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DE CASO

3.1. LOCALIZAÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Atuba está localizada no Primeiro Planalto Paranaense, mais especificamente no Planalto de Curitiba entre as coordenadas de 25°17'00" e 25°30'00" latitudes sul e; 49°17'00" e 49°10'00" longitudes oeste.

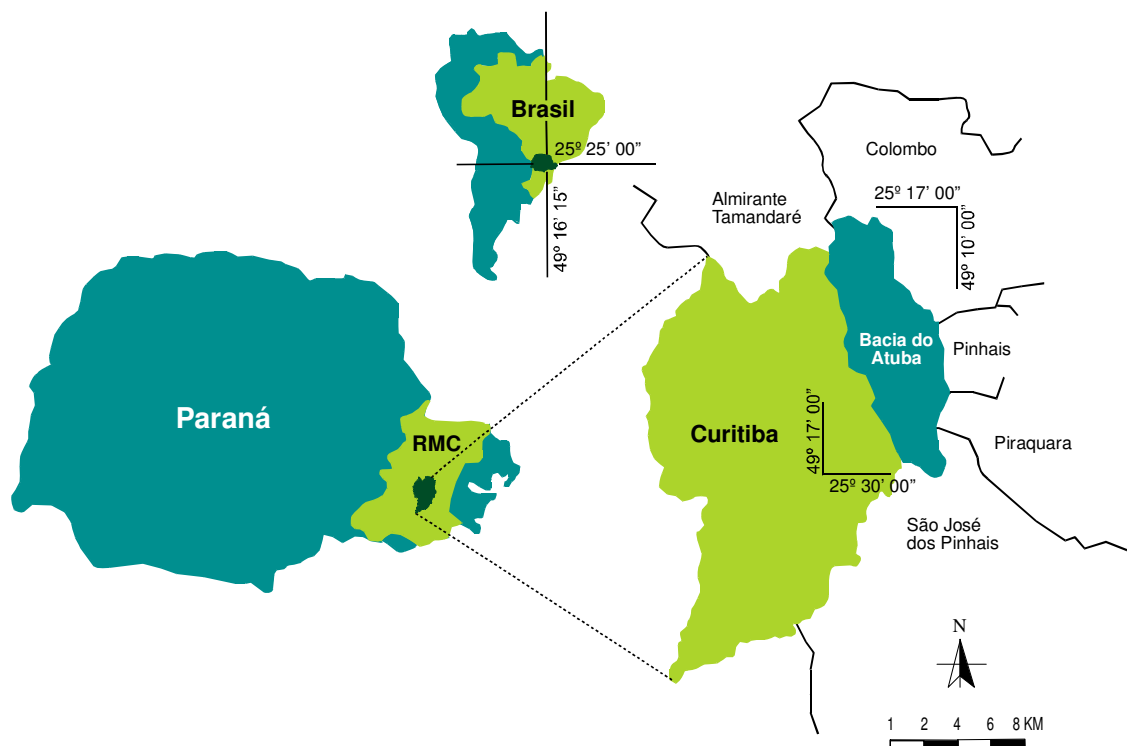
A área é limitada à leste pela bacia hidrográfica do rio Palmital, a oeste pela bacia do rio Belém, ao sul pelo rio Iguaçu e a norte pelo município de Colombo, onde se encontram as suas nascentes.

O rio Atuba, pertence à bacia hidrográfica do Rio Iguaçu sendo afluente da margem direita do mesmo. Com uma área de 127,43 km² a bacia do rio Atuba abrange a porção nordeste do município de Curitiba e sua área de drenagem engloba além de Curitiba partes dos municípios de Pinhais, Colombo, Piraquara, São José dos Pinhais e Almirante Tamandaré (Figura 2).

O canal principal com cerca de 32,43 km de extensão possui boa parte do seu percurso e de seus afluentes canalizados, tendo como afluente principal o rio Bacacheri.

Os principais acessos à área se fazem pela rodovia BR-277 que passa ao lado de sua foz e, pela rodovia BR -116. O acesso também é possível pela PR-417, além de outras vias asfaltadas do município de Curitiba.

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



3.2. GEOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Atuba é formada por rochas metamórficas do Grupo Açungui de idade pré-cambriana, correspondente aos mármore, filitos, quartzitos e pelas rochas do Complexo Migmatítico - Gnáissico, cortadas por diques de rochas básicas intrusivas de idade Mesozóica. Na área, são verificados também depósitos recentes ao longo das margens dos rios principais, constituídos pelos terrenos aluvionais e coluvionares do quaternário-terciário.

Com suas nascentes localizadas na região Serrana do Grupo Açungui e seguindo em direção à Bacia Sedimentar de Curitiba, o rio Atuba percorre trechos de migmatitos, penetrando mais adiante na Formação Guabirotuba e na região de aluviões e colúvios do Holoceno, onde deságua no rio Iguaçu.

No estudo Geológico Geotécnico da Região do Alto Iguaçu a MINENOPAR & COMEC (1994), elaboram a cartografia geológica da região, dividindo a área em diversas unidades geológicas distintas, contendo a seguinte legenda:

Sedimentos Recentes

QHi – Aluviões Atuais: sedimentos areno siltico argilosos depositados em ambientes fluviais. Camadas dessimétricas a métricas de cascalhos arenosos e áreas de granulometria média a grossa, com seixos subangulosos a subarredondados de quartzo, intercalados com argilas plásticas de cor cinza.

Qhe – Terraços Aluvionares – sedimentos areno – siltico – argilosos, depositados em ambientes fluviais, situados em posição topograficamente elevada em relação aos aluviões atuais.

Formação Guabirota

Qpga – Sedimentos argilosos de cor cinza a cinza – esverdeado, com grânulos de quartzo e feldspato intercalados com lentes centimétricas a métricas de arcósios granulometria média a grossa. Nos arcósios são presentes a estratificação cruzada tangencial na base e estruturas de corte e preenchimento.

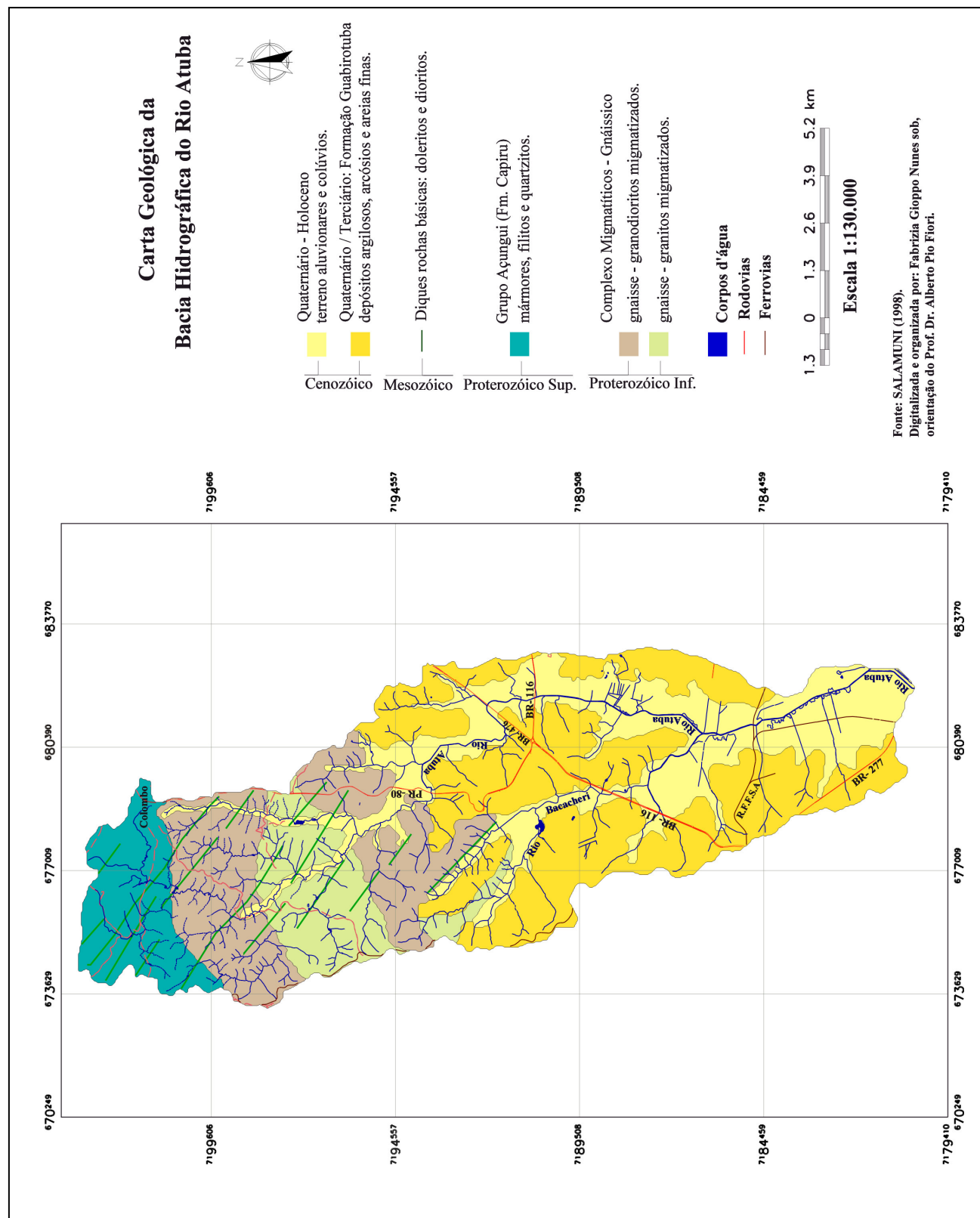
QPgb – Sedimentos argilosos de cor cinza a cinza esverdeado com grânulos de quartzo e feldspato. Ocorrem raras intercalações de lentes de arcósios. Estes sedimentos são interpretados como deposição em ambientes de leque mais distal. Localmente nas zonas basais foram encontrados sedimentos arenosos com estratificação cruzada tangencial na base.

Complexo Gnáissico – Migmatítico

CGM - Gnaisses anfibolíticos em quartzo feldspáticos localmente migmatizados com intercalações de anfibolitos, metamáficas e metaultramáfica.

Como o mapeamento realizado pela MINENOPAR & COMEC (1994), abrange, somente, parte das folhas topográficas A-104, A-105 e A-108 da COMEC 1976, não recobrando a porção oriental da bacia hidrográfica do rio Atuba, neste trabalho optou-se pelo mapeamento e divisão litológica apresentado por SALAMUNI (1998) sendo a área em estudo dividida em 4 unidades geologicamente distintas, ilustradas na Figura 3 e descritas a seguir:

FIGURA 3 - GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA DO RIO ATUBA.



a) Complexo Migmatítico - Gnáissico

Ocorre na porção do alto ao médio curso da bacia do Rio Atuba, mantendo contato com o Grupo Açungui e Formação Guabirota.

Suas principais litologias são os gnaisses-granodioritos migmatizados e gnaisses-granitos migmatizados do Proterozóico Inferior.

O Complexo Migmatítico Gnáissico conforme LOPES (1966), é constituído de embrechitos e embrechitos epibólicos, com faixas de rochas embrechíticas alternadas com faixas de material quartzo-feldspáticas, ou seja, são rochas heterogêneas compostas de porções de rochas cristalofilanas feldspátizadas, alternadas com lentes de quartzo feldspáticos. Possuem uma granulação variável podendo ir desde grosseira nas fácies pegmatóides, até muito finas.

b) Grupo Açungui

Aparece no extremo norte da área em estudo, tendo como principais ocorrências litológicas os mármore, filitos e quartzitos datados do Proterozóico Superior.

Conforme LOPES (1966), os filitos apresentam uma coloração esverdeada, podendo ser castanhos, cinza-esverdeados, cinza claros e avermelhados. São rochas muito folheadas, de brilho sedoso, com granulação fina e textura granoblastica e xistosa.

Os quartzitos são rochas ricas em minerais de quartzo, sendo comum a presença de fraturas devido a sua grande competência que, muitas vezes são preenchidas por sílica remobilizada. Além dos quartzitos ricos em minerais de quartzo, temos os intermediários, como os quartzitos xistosos, xistos quartzíticos, quartzitos calcários e outros (LOPES, 1966).

Na região de domínio do Grupo Açungui são encontradas algumas elevações com rochas mais resistentes, sobressaindo o nível geral do Planalto que originam formas de relevo em *hog-backs*, dispostos segundo as direções dos dobramentos.

Esses *hog-backs* são constituídos por quartzitos, devido a sua maior resistência, formando cristas mais altas e alongadas (espigões alongados) com direção NE-SW, além de “inselbergs” locais.

O grupo Açungui encontra-se intrudido por diques de diabásios, direcionados para noroeste. A idade das intrusões dos diques de diabásio é Jurássico-Cretáceo, com direção N40°W a N60°W, com algumas variações (LOPES, 1966).

c) **Bacia Sedimentar de Curitiba**

A Bacia Sedimentar de Curitiba compreende a Formação Guabirota e sedimentos mais recentes colúvio-aluvionares do Holoceno, depositados pelo rio Iguaçu e seus tributários. As suas formações e unidades geológicas estão depositadas sobre rochas cristalinas do Complexo Atuba.

De acordo com SALAMUNI (1998), a coluna estratigráfica da Bacia de Curitiba pode ser descrita a partir dos depósitos mais recentes do Quaternário superior e Holoceno, aos mais antigos do Proterozóico Inferior ao Arqueano do complexo Atuba, como apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE CURITIBA.

IDADE	UNIDADES GEOLÓGICAS
Quaternário (superior) – Holoceno.	Aluviões e depósitos coluvionares secundários.
Quaternário (inferior) – Pleistoceno a Holoceno.	Formação Tinguis.
Terciário (médio a superior)- Mioceno a Plioceno.	Formação Guabirota.
Jurássico – Cretáceo.	Formação Serra Geral.
Proterozóico superior a Cambriano.	Maçios graníticos da Serra do Mar.
Proterozóico superior.	Grupo Açungui (Formação Capiru).
Proterozóico inferior a Arqueano.	Complexo Atuba (Complexo Costeiro redefinido).

Fonte: SALAMUNI (1998).

Formação Guabirota

Composta por diversos tipos de sedimentos como argilas (argilitos), arcósios e areias finas, a Formação Guabirota aparece na porção do médio ao baixo curso da bacia do rio Atuba. Sua espessura média é calculada em torno de 40 m, variando desde 1 m até o máximo de 80 m.

Segundo SALAMUNI (1998) as maiores espessuras estão localizadas na porção central e centro-sudeste da bacia de Curitiba, onde estão situadas as depressões que formam a calha principal da mesma, e as menores espessuras encontram-se nas suas bordas.

BECKER (1982) subdividiu a Formação Guabirota, sugerindo a denominação de Formação Tinguis para a porção superior deste pacote sedimentar, ratificando as observações de BIGARELLA.

A Formação Tinguis é definida como o retrabalhamento dos sedimentos arenosos, arcosianos e síltico-argilosos, da própria Formação Guabirota, sendo estes intemperizados em clima semi-árido.

A MINENOPAR & COMEC (1994) dividem a Formação Guabirota em duas subunidades. A primeira apresenta sedimentos argilosos de cor cinza, com porcentagem variável de grânulos de quartzo e feldspato, com ocorrência subordinadas de níveis de arcósios. Esta subunidade (QPgb) está geralmente relacionada com níveis topográficos inferiores.

A segunda subunidade (Qpga) é composta por sedimentos argilosos com freqüentes intercalações de arcósios. Normalmente esta subunidade é encontrada nos níveis topográficos mais elevados. Estas intercalações ocorrem na escala centimétrica.

Quanto à distribuição faciológica os sedimentos mais grossos, encontram-se depositados na porção leste da bacia, ou seja, próximos às encostas da Serra do Mar. Em contrapartida, os sedimentos mais finos estão posicionados mais a oeste, ou seja, na área urbana de Curitiba, a norte e a sul e em menor parte, a oeste da maior concentração urbana (SALAMUNI, 1998).

d) Sedimentos Colúvio-Aluvionares do Holoceno

Aparecendo a jusante da bacia do rio Atuba, ao longo do rio principal, esta unidade é composta por terrenos arenosos e siltíticos, com pouca frequência de camadas argilosas.

Nas áreas de várzeas salientam-se camadas de argilas turfosas, com quantidades variáveis de matéria orgânica. Estes sedimentos estão dispostos em fraca discordância sobre as rochas do Complexo Cristalino (BIGARELLA *et al.*,2003).

Segundo a MINENOPAR & COMEC (1994) os sedimentos aluvionares recentes estão representados por depósitos assentados sobre o embasamento gnáissico – migmatítico. Os sedimentos são compostos de cascalhos arenosos, com seixos subarredondados e subangulosos de quartzo. Nos níveis superiores ocorrem camadas de argilas plásticas de cor cinza. Os depósitos aluvionares são capeados por solos hidromórficos com espessura de cerca de 1,0 m. A espessura média total dos depósitos aluvionares atingem 5,0 m. Em diversos locais foram reconhecidos depósitos de origem aluvionar situados em nível mais elevado que os aluviões, englobados sob a denominação genérica de terraços.

3.3. GEOMORFOLOGIA

A partir da litologia local e do predomínio das formas de relevo a área em estudo pode ser dividida em quatro unidades geomorfológicas distintas, conforme proposta adaptada de SALAMUNI (1998) em:

- I - Sistema de Planícies Aluvionais;
- II - Sistema de Colinas - Unidades de Topos Alongados;
- III - Sistema de Colinas - Unidades de Topos Planos e;
- V - Sistema de Morros.

- **Sistema de Planícies Aluvionais:**

Localizado na porção sul da bacia do rio Atuba, o Sistema de Planícies Aluvionais possui um relevo praticamente plano a suave ondulado, com baixas declividades, menores que 10%, onde sobressaem colinas suavemente onduladas.

Esta unidade geomorfológica é constituída pelos terrenos aluvionares e depósitos coluvionares do Holoceno, possuindo depósitos sedimentares pouco entalhados e terrenos sujeitos a alagamento. O padrão de drenagem é paralelo com baixa densidade fluvial e fraca assimetria entre os seus canais de drenagem.

- **Sistema de Colinas - Unidades de Topos Alongados:**

O Sistema de Colinas com unidades de topos alongados situa-se na parte central da área em estudo. Apresenta um sistema de relevo constituído por colinas orientadas na direção N-S e NE-SW.

Nesta unidade o processo de entalhamento e a dissecação da paisagem são lentos no desenvolvimento das formas de relevo.

As vertentes possuem declividades moderadas de 10% a 20% no domínio da Formação Guabirota e Complexos Migmatíticos. A rede de drenagem é geralmente paralela a sub-dendrítica, com densidade média.

- **Sistema de Colinas Unidades de Topos Planos:**

O Sistema de Colinas com unidades de topos planos aparece na porção centro-norte da bacia com um relevo em forma de colinas bem arredondadas, tipo “meia laranja”.

Suas vertentes são suaves, côncavas em geral, com entalhamento e dissecação pouco profundos e declividade média de 20% a 30%.

Situada sobre os Complexos Migmatíticos, esta unidade é a que apresenta maior densidade fluvial, com padrão de drenagem sub-dendrítico e sub-retangular.

- **Sistema de Morros:**

O Sistema de Morros corresponde à região do Grupo Açungui. Aparece no extremo norte da área da bacia, na região das nascentes do rio Atuba. O relevo desta unidade é formado por morros de cristas estreitas e alongadas com direção para NE-SW, podendo apresentar direções NW-SE. O padrão de drenagem que predomina é moderadamente retangular a treliça, estando, geralmente, adaptado às estruturas locais.

3.4. PEDOLOGIA

Na porção do Alto Iguaçu a pedologia, em geral, se caracteriza pela presença de solos hidromórficos desenvolvidos principalmente sobre os sedimentos aluvionares. Já na área dos terraços estão presentes os solos ricos em matérias orgânicas, com espessura média de 1 m. Na região de ocorrência da Formação Guabirota são identificadas coberturas de solos argilosos, residuais ou transportados, de cor vermelha, que cobrem a maior parte desta unidade. Na unidade de gnaisses e migmatitos são verificadas áreas de coberturas predominantes de solos residuais, com espessuras entre 1,5 ou 3,0 m e áreas com cobertura de solos transportados e /ou residuais sobre saprolitos, com espessura entre 1,5 m (MINENOPAR & COMEC 1994).

As descrições das classes e respectivas unidades de solos mapeadas na área em estudo se basearam no Boletim Técnico de Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná, realizado pelo convênio EMBRAPA, SUDESUL, IAPAR e GOVERNO DO ESTADO (1984), tendo como ênfase o levantamento das suas principais características físicas. Estas características são as que mais influenciam na permeabilidade, circulação e armazenamento da água no solo, que são aspectos cruciais na determinação dos grupos hidrológicos.

Apesar da existência da nova classificação dos solos propostas pela EMBRAPA (1999) optou-se neste trabalho por manter a classificação antiga, devido

às dificuldades na troca das novas terminologias. Até o segundo nível taxonômico é possível realizar uma simples troca de nomenclaturas, desde que se disponha de um certo grau de conhecimento dos solos e uma análise detalhada das características descritas pela EMBRAPA e IAPAR (1984).

Do terceiro nível taxonômico em diante, torna-se necessária à realização de análises físicas e químicas das propriedades dos solos em laboratório, que não é objetivo deste trabalho. Dessa forma, preferiu-se manter a antiga classificação para não incorrer em simplificações inadequadas durante as descrições.

Devido ao tamanho da escala original da carta de solos da EMBRAPA e IAPAR (1984) e para se obter um melhor detalhamento e delimitação das classes de solos nela observadas, houve a necessidade de realizar um ajuste da carta de solos confeccionada para a bacia hidrográfica do rio Atuba.

O ajuste ocorreu através da sobreposição das unidades de solos mapeadas pela EMBRAPA e IAPAR (1984) com as cartas de geologia e de declividade confeccionadas para a bacia, observando sempre, as descrições de cada unidade de solo quanto: a litologia presente, declividade e formas de relevo predominantes, para verificar e redefinir os polígonos que representam cada unidade mapeada.

Tendo por base o estudo de KERSTZMAN e COSTA in. ABGE e IPT (1995), procurou-se realizar também uma descrição dos problemas geotécnicos referentes a encharcamento e drenagem das classes de solos mapeadas, relacionadas à boa permeabilidade ou não da água superficial que é um dos focos principais deste trabalho.

As descrições das classes de solos da área de estudo são apresentadas a seguir e a Figura 4, mostra a carta de solos da bacia hidrográfica do rio Atuba, com as suas respectivas unidades de solos mapeadas.

3.4.1. DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO

Os latossolos vermelho amarelo são solos minerais, com perfis bem desenvolvidos e profundos. Apresentam horizontes B latossólicos, de textura argilosa, coloração vermelho-amarelada, porosos, bem drenados e com seqüência de horizontes A, B, C. Possuem um baixo conteúdo de silte e baixa relação silte argila.

O horizonte A, apresenta, geralmente espessura de 30 a 80 cm, e coloração variável com o teor de matéria orgânica. A textura é argilosa, com estrutura fraca a moderada média a grande granular e alguns blocos subangulares. O grau de consistência a seco varia de macio a duro. Este solo é friável quando úmido e plástico e pegajoso quando molhado.

O horizonte B tem uma espessura média entre 150 a 120 cm. A estrutura é fraca média a grandes blocos subangularres. A cerosidade quando presente é fraca e pouca. Possui uma consistência dura quando seco, friável a firme quando úmidos e plástico a muito plástico e pegajoso quando molhado.

A distribuição de argila ao longo do perfil é relativamente uniforme, o que indica uma fraca mobilidade.

Quanto aos aspectos geotécnicos, os latossolos possuem grande capacidade de infiltração d'água superficial, graças ao grande volume de poros e do tamanho desses. Os seus principais problemas geotécnicos advêm do uso inadequado. Os latossolos argilosos, por exemplo, apresentam como principal problema a compactação, que diminui os poros de maneira acentuada comprometendo a capacidade de infiltração da água.

Como principais unidades de solos pertencentes a esta classe, foram identificadas e mapeadas na área de estudo 4 tipos, sendo que uma destas unidades é associada ao Latossolo Vermelho-Amarelo Álico:

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO ÁLICO, com horizonte A proeminente e textura argilosa (LVa3) - Aparecendo por quase toda a porção do médio ao baixo curso da bacia do rio Atuba o LVa3 é formado pelos sedimentos argilosos, arcósios e de areias finas da Formação Guabirota. Com uma extensão de 34,85km², ou seja, 27,35% da área em estudo é a unidade de solo que possui a maior área mapeada na bacia. Aparece geralmente, sobre uma morfologia de relevo suave ondulado, em declividades médias a elevadas de 25% a 10%.

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO ÁLICO, com horizonte A proeminente, pouco profundo e textura argilosa (LVa6) - Situado na porção nordeste da área em questão, o LVa6 é desenvolvido a partir dos produtos da meteorização de gnaisses migmatizados do Complexo Migmatítico. Com uma área de 3,45 km², equivalente a 2,70% da bacia, esta unidade de solo ocorre em relevo suave ondulado e ondulado, com declives de 25% a 10%.

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO ÁLICO, com horizonte A proeminente, pouco profundo e textura argilosa (LVa8) - Apresente unidade mapeada aparece em forma de duas pequenas manchas localizadas na porção do médio curso da bacia. Possui uma extensão total de 2,13 km², correspondente a 1,67% das unidades mapeadas. Sendo formado a partir da decomposição de rochas do Complexo Migmatítico, este tipo de solo está associado a um relevo suave ondulado, com declividades médias entre 15% a 10%.

Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO + CAMBISSOLO ÁLICO Tb, ambos com horizonte A proeminente e textura argilosa (LVa13) - Esta associação de solos ocorre no extremo norte da bacia, na região de suas nascentes sobre uma topografia de relevos forte ondulado e ondulado, com declives superiores a 15%. Apresentando uma área de 3,40 km², ou seja, 2,67% da bacia, esta unidade de solos é proveniente da meteorização de rochas do Grupo Açungui correspondentes aos mármore, filitos e quartzitos.

CAMBISSOLOS

Compreendem solos minerais não hidromórficos, com horizonte B câmbico. Os cambissolos são solos moderadamente a bem drenados, com seqüência de horizontes A, B, C, com transição clara entre eles.

Quanto ao desenvolvimento pedogenético, são solos com certo grau de evolução, mas não o suficiente para a meteorização completa de minerais primários, de fácil intemperização. A maior parte de seus perfis são rasos ou mediamente profundos, de 50 a 100 cm, com coloração pouco uniforme.

A atividade da argila varia de alta a baixa, sendo geralmente superior as dos latossolos.

A textura argilosa ao longo de cada perfil é bastante uniforme, notando-se uma pequena variação no teor de argila entre o horizonte A e o B, possuindo menor quantidade de argila no horizonte B.

A estrutura do horizonte A é do tipo granular grande, moderada a fortemente desenvolvida e/ou fraca com pequenos blocos subangulares. O horizonte B apresenta uma estrutura em blocos subangulares pequenos e médios e francamente desenvolvida.

A consistência dos cambissolos varia de macio a muito duro no estado seco, de friável a firme com o solo molhado, e de ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso a muito plástico e muito pegajoso com o solo molhado.

Os solos desta classe possuem boas características físicas, relacionadas à porosidade, permeabilidade, drenagem e flocculação das argilas.

Devido as suas características físicas e ao posicionamento em relação ao relevo, pois predominam geralmente em áreas de morros, montanhas e serras com vertentes acima de 20% de declive, os cambissolos são solos que não irão apresentar problemas geotécnicos em relação a encharcamento e má drenagem. As unidades de solos desta classe, mapeadas na área em questão são:

CAMBISSOLO ÁLICO Tb, com horizonte A proeminente e textura argilosa (Ca²) - Com uma área de 30,64 km², correspondente a 24,04% do total dos solos da

bacia do rio Atuba, o Ca2 encontra-se situado no alto e médio curso da área de estudo. Possui um percurso que se estende de leste a oeste, sobre os substratos rochosos do Complexo Migmatítico. Esta unidade de solo está associada a um relevo ondulado, com declividades médias de 25% a 10%.

CAMBISSOLO ÁLICO Tb, com horizonte A proeminente e textura argilosa (Ca5) - Situado na porção norte da área de estudo o Ca5 ocorre entre a faixa de transição das litologias do Grupo Açungui para as litologias do Complexo Migmatítico, com uma grande variedade litológica em sua composição. Esta unidade de solo abrange uma área de 13,04 km², ou seja, 10,23% do total da bacia do rio Atuba sobre um relevo forte ondulado, de topografias elevadas, com declives maiores que 15%.

Associação de CAMBISSOLO ÁLICO Tb + Solos LITÓLICOS DISTRÓFICOS, ambos com horizonte A moderado e textura argilosa (Ca37) – Sobre um relevo montanhoso com vertentes íngremes de declives superiores a 25%, esta associação de solos, aparece apenas na porção extremo norte da bacia, intercalada ao solo LVa13. Possui a menor área mapeada com certa de 1,25 km², ou seja, 0,98% da bacia do rio Atuba, sobre o substrato de filitos do Grupo Açungui.

TERRA ROXA ESTRUTURADA

Nesta classe estão compreendidos solos minerais não hidromórficos, com horizonte B textural. A argila apresenta baixa capacidade de troca de cátions com baixo gradiente textural. São solos de coloração avermelhada, profundos, argilosos, bem drenados, porosos e com seqüência de horizonte A, Bt e C.

Possuem pequena variação de cor e de textura ao longo do perfil, com transições entre os subhorizontes graduais ou difusas. A espessura destes solos varia de 130 a 250 centímetros.

A textura do horizonte A é argilosa ou muito argilosa e, no horizonte Bt é muito argilosa diminuindo gradativamente para o C.

A estrutura do horizonte A é do tipo granular, moderada e fortemente desenvolvida e a do Bt é prismática, composta de blocos subangulares e angulares.

O grau de consistência a seco varia de ligeiramente duro a duro. Em condição úmida é firme e quando molhado, o grau de consistência varia de muito plástico a ligeiramente plástico e de muito pegajoso a ligeiramente pegajoso, com plasticidade e pegajosidade diminuindo, dos horizontes superficiais para os inferiores.

Na área mapeada, esta classe é representada apenas por uma unidade associada a outros solos, descrita a seguir:

Associação de TERRA ROXA ESTRUTURADA DISTRÓFICA + LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, ambos com horizonte A moderado e textura argilosa (TRd4) - Esta associação de solos aparece como uma pequena mancha na porção nordeste da bacia do rio Atuba, sendo desenvolvida a partir da decomposição de rochas do Complexo Migmatítico. Como a única unidade representante desta classe o TRd4 possui uma área de 4,53 km², correspondendo a 3,55% da área da bacia, sobre um relevo suave ondulado e ondulado.

SOLOS HIDROMÓRFICOS

São solos mal drenados ou muito mal drenados, formados em terrenos de planícies onde a circulação da água é baixa, se apresentado, geralmente, encharcados.

Com uma grande influência do lençol freático à superfície ou próxima dela, a má drenagem pode ser verificada pela presença de cores cinzentas e mosqueadas nos horizontes subsuperficiais, devido ao fenômeno de óxido-redução. Em alguns casos, pode apresentar ainda, acúmulo superficial de matéria orgânica.

Os solos hidromórficos possuem horizontes A e Bg, em geral pouco profundo, de textura predominantemente argilosa com uma granulometria muito fina.

Pelas próprias características físicas e posicionamento na paisagem, os principais problemas dos solos hidromórficos são referentes à capacidade de suporte de drenagem. São normalmente áreas pouco recomendáveis para uma urbanização residencial e/ou comerciais.

Na área de estudo, esta classe é constituída por uma única unidade mapeada, descrita a seguir:

SOLOS HIDROMÓRFICOS GLEYZADOS INDISCRIMINADOS, com textura argilosa (HG2) - Ocorre em duas regiões diversas da área em estudo, uma a extremo sudeste, em sua foz e, a outra na porção centro oeste da bacia. São solos formados a partir de sedimentos aluvionais não consolidados, associados a um relevo plano, com declividades baixas inferiores a 15%. Somente 6,16 km², ou seja, 4,83% da área da bacia apresenta este tipo de solo.

SOLOS ORGÂNICOS

São solos hidromórficos, essencialmente orgânicos, pouco evoluídos, provenientes de depósitos de restos vegetais em graus variáveis de decomposição. Esta classe de solo é constituída por um horizonte superficial de coloração preta, devido aos elevados teores de carbono orgânico.

Conhecidos por turfas são solos que apresentam a seguinte seqüência: horizonte A, que pode ou não ser subdividido, seguido de camadas orgânicas sobrepostas ao material mineral.

O horizonte A possui normalmente espessura de 30 cm. A textura é variável de um local para outro. Assim como as características a ela relacionadas.

Os solos orgânicos são solos mal drenados, uma vez que são desenvolvidos sob condições de permanente encharcamento, com lençol freático próximo ou a superfície durante grande parte do ano.

Como ocorrem em superfícies planas e ocupam as posições de cotas mais baixas, em áreas originalmente abaciadas que constituem pequenas depressões

sedimentares próximas aos cursos d'água, o relevo torna-se um dos fatores mais importantes na formação destes solos.

Assim como os solos hidromórficos, os solos orgânicos, também apresentam como principais problemas geotécnicos, áreas sujeitas a constantes inundações. Pois estes solos encontram-se nas regiões baixas, formando as planícies aluviais, a beira dos grandes rios.

Como unidade representante dessa classe de solo na área de estudo, tem-se o solo HOa1:

SOLOS ORGÂNICOS ÁLICOS (HOa1) - Na área em questão a presente unidade encontra-se sobre as planícies aluviais, beirando as margens dos principais rios formadores do médio e baixo curso da bacia do rio Atuba. Este solo é constituído pelos sedimentos colúvio aluviais do Quaternário, encontrados nas partes baixas e abaciadas do relevo, em declividades muito baixas, menores que 10%. Na área em estudo, esta unidade de solo é bastante expressiva possuindo 29,47 km², o que correspondente a 23,13% do total de toda a bacia.

3.5. CLIMA

De acordo com as informações fornecidas pela SEAB e ITCF (1987) Curitiba e seus arredores possuem precipitação média anual em torno de 1.400 mm e umidade média relativa do ar entre 80% a 85%. A precipitação mensal máxima acontece nos meses de janeiro e fevereiro e as mínimas em agosto e abril, respectivamente.

O tipo climático, conforme a classificação de Köppen e apresentado por MAACK (1981), é o Cfb clima Subtropical Úmido Mesotérmico, de verões frescos e com ocorrência de geadas severas e freqüentes. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C, com verões frescos e a temperatura do mês mais quente fica abaixo de 22°C, sem estação seca definida.

Para FENDRICH e OLIVEIRA (2006) a cidade de Curitiba possui uma tendência de apresentar três sazonalidades climáticas no decorrer do ano que são:

a) Clima quente e úmido de novembro até março; b) Clima frio e úmido (devido à umidade relativa do ar) de maio até agosto e; c) Clima temperado e úmido nos meses de abril, setembro e outubro.

Através de uma série histórica compreendida no período entre 1990 a 2004 de dados de temperatura do ar; umidade relativa do ar e altura pluviométrica fornecidos pela estação Curitiba – Prado Velho, os autores (*op. cit.*, 2006) realizaram uma comparação destes dados com os dados obtidos por MAACK, de uma série histórica de temperaturas compreendida entre 1884 a 1961, e de precipitações e umidades relativas do ar compreendidas entre 1889 a 1931. Os autores obtiveram como resultado os seguintes valores informados na Tabela 12:

TABELA 12 - COMPARAÇÃO DOS VALORES CLIMÁTICOS OBTIDOS POR MAACK COM OS VALORES OBTIDOS POR FENDRICH e OLIVEIRA (2006).

Dados	MAACK	FENDRICH e OLIVEIRA
Temperatura do ar - média anual.	16,5° C.	19,6° C (19% >).
Temperatura – mês mais quente.	20,4° C (janeiro).	22,2° C (janeiro) (9% >).
Temperatura mês mais frio.	12,7° C (julho).	16,0° C (julho) (26% >).
Umidade relativa do ar - média anual.	81,5%.	70,2% (14 % <).
Precipitação pluvial – média anual.	1.451,8 mm.	1.584,2 mm (9% >).
Maior média mensal de chuva.	190,7 mm (janeiro).	222,6 mm (janeiro) (17% >).
Menor média mensal de chuva.	78,2 mm (agosto).	70,9 mm (abril) (9% <) 78,7 mm (agosto).

Fonte: FENDRICH e OLIVEIRA (2006).

Para a cidade de Curitiba FENDRICH e OLIVEIRA (2006) concluíram que: I - existem elevações nas temperaturas do ar; II – decréscimos das umidades relativas do ar; III - aumentos nas alturas pluviométricas nos meses mais quentes do ano e, os índices pluviométricos nos meses frios e temperados do ano mantiveram-se os mesmos.

3.5.1 PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Proveniente principalmente de chuvas convectivas de grande intensidade e curta duração, o regime pluviométrico em Curitiba e seu entorno caracteriza-se por apresentar chuvas bem distribuídas durante todos os meses do ano com maior

concentração nos meses de verão. A instabilidade adquirida na Massa de ar Tropical Atlântica (TA) e seus confrontos com a Polar Atlântica (PA), bem como a atuação da Equatorial Continental (Ec), respondem pelos valores mais elevados de precipitação durante esse período do ano. Já o inverno, um pouco menos chuvoso, apresenta maior estabilidade do ar, dada principalmente pela participação da Massa Polar Atlântica, tendo-se o mês de agosto como o mais seco (MENDONÇA, 2001).

Apesar de possuir clima subtropical úmido, Curitiba apresenta uma variedade mensal e interanual de chuvas bastante significativa, que gera freqüentes episódios de racionamento d'água como também de enchentes, verificadas nos transbordamentos dos rios de suas redes hidrográficas (DANNI-OLIVEIRA, 1997).

De acordo com a autora (*op. cit.*, 1997) a análise das chuvas que ocorrem em Curitiba, executada durante um período de 45 anos de estudo (série temporal de 1951 a 1995), sugere a existência nítida de três padrões comportamentais de pluviosidade ao longo do ano: um mais seco e longo, com chuvas de 60 a 100 mm, abrangendo os meses de abril a agosto; um intermediário e breve, com chuvas de 100 a 120 mm, correspondente aos meses de setembro a novembro e, finalmente, um último mais chuvoso e de duração intermediária, com totais de 130 a 170 mm, que se estende de dezembro a março. Os mesmos padrões se repetem ao analisar-se o número de dias com chuvas superiores a 1 mm.

Considerando-se as chuvas máximas em 24 horas, existe novamente uma coincidência de comportamento com estes padrões, com exceção de maio que supera os totais de chuvas máximas do padrão de inverno, mostrando uma maior variabilidade (DANNI-OLIVEIRA, 1997).

Dos três padrões comportamentais descritos pela autora, pode-se concluir que o verão curitibano constitui-se no período mais chuvoso, enquanto que o inverno se apresenta como o mais seco, sendo o mês de janeiro o que possui o maior registro mensal de chuvas e o mês de agosto o que possui o menor registro de média mensal.

Ainda segundo a autora (*op. cit.*, 1997) no que se refere às precipitações máximas diárias em Curitiba, em 20% dos anos da série temporal de 45 anos analisada, os meses de março e dezembro caracterizaram-se por serem os meses

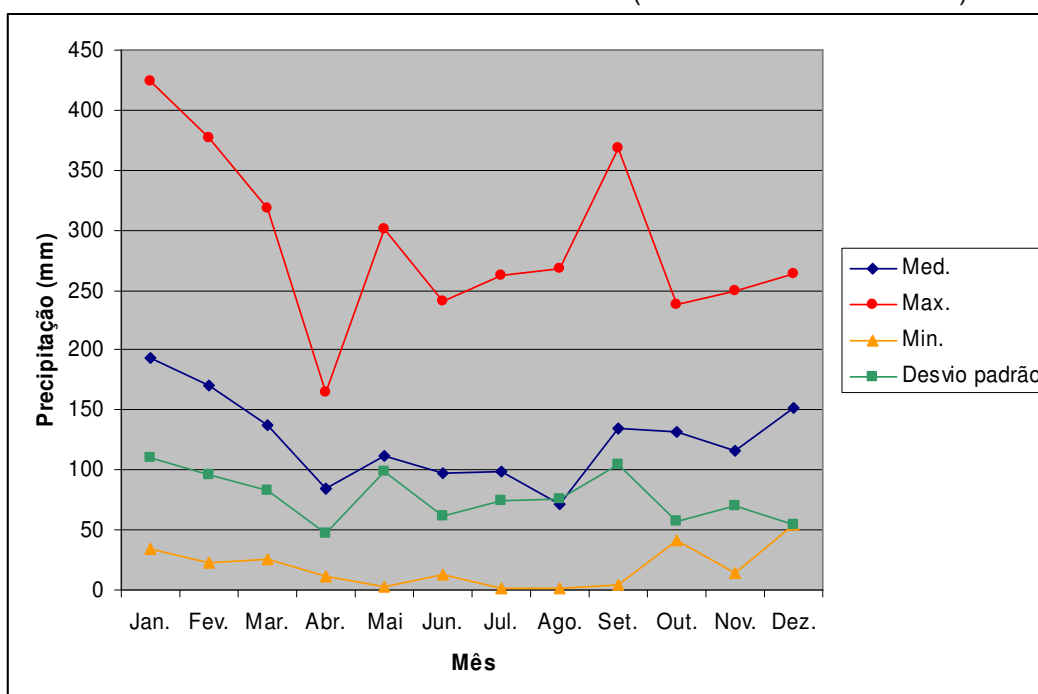
onde ocorreram os maiores valores anuais das chuvas máximas em 24 horas, seguindo-se os meses de fevereiro (15%), junho (14%) e janeiro (11%).

Os episódios pluviométricos mais críticos, bem como os desvios anuais das chuvas em relação às médias pluviométricas, evidenciam a variabilidade interanual das chuvas em Curitiba, à mercê da intensidade dos ritmos de alternância entre os sistemas atmosféricos de controle regional (DANNI-OLIVEIRA, 1999).

Para DANNI-OLIVEIRA (1999) a concentração maior de chuvas no verão decorre da ação de linhas de instabilidade de NW e dos processos frontológicos resultantes do confronto entre os fluxos polares e aqueles tropicais.

Reportando-se aos dados observados em estações pluviométricas circunvizinhas à bacia do rio Atuba, os mesmos vêm a confirmar os estudos apresentados por FENDRICH e OLIVEIRA (2006) e por DANNI-OLIVEIRA (1997), verificados nos gráficos das Figuras (5, 6, 7 e 8).

FIGURA 5 - ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE CURITIBA - PRADO VELHO A 884 m DE ALTITUDE (PERÍODO: 1982 A 2004)

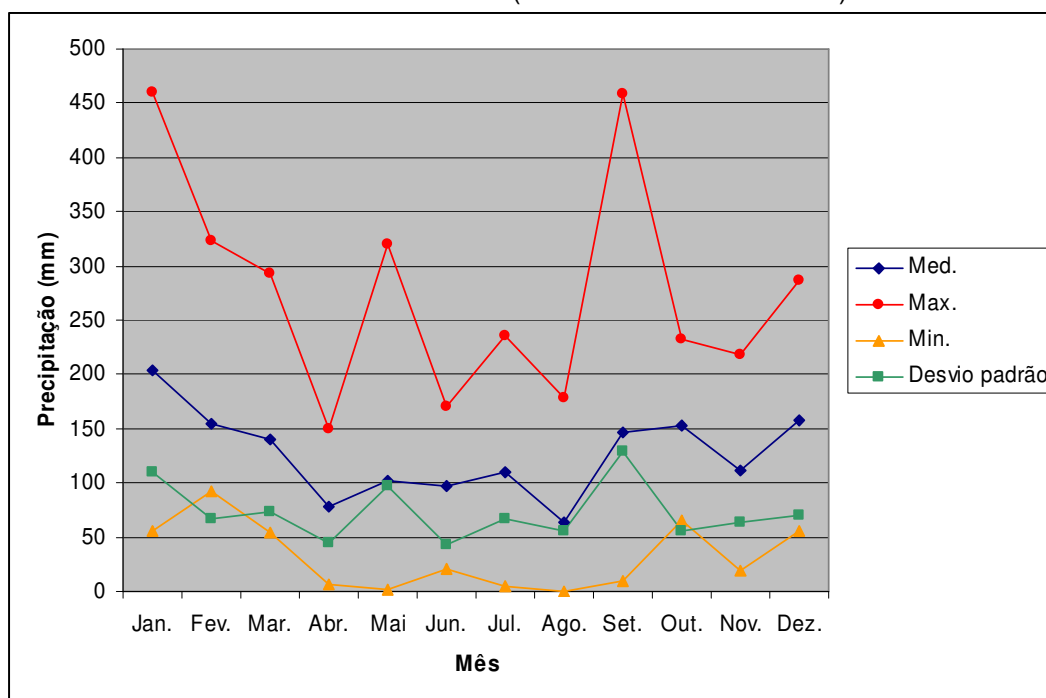


* Elaborado a partir de dados fornecidos pela SUDERHSA.

Na estação pluviométrica de Curitiba - Prado Velho, durante o período analisado de 1982 a 2004, o maior índice pluviométrico ocorreu no mês de janeiro, sendo a sua média de 193,5 mm. A máxima mensal registrada neste mês foi de 423,5 mm em 1995 e a mínima de 33,7 mm em 1985, gerando um desvio padrão da máxima com a mínima de 110,05 mm.

O mês de menor altura de chuva nesta estação é agosto, com uma média de 71,04 mm, sendo a máxima mensal em torno de 267,8 mm em 1998 e a mínima de 1,9 mm no ano de 1988, com um desvio padrão de 76,11 mm.

FIGURA 6 - ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE COLOMBO A 977 m DE ALTITUDE (PERÍODO: 1988 A 2004)



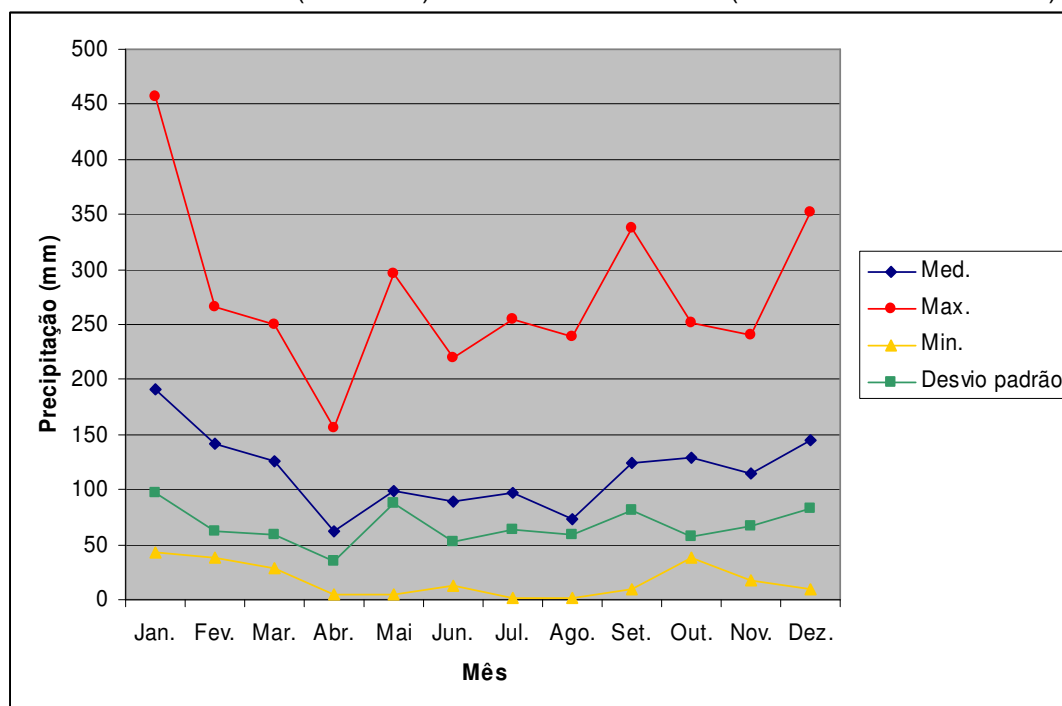
* Elaborado a partir de dados fornecidos pela SUDERHSA.

O gráfico da estação de Colombo ilustra que os meses de janeiro e setembro são os dois meses que mais ocorrem chuvas, sendo a média do mês de janeiro de 204,27 mm, com máxima registrada igual a 459,6 mm em 1995 e mínima de 56,1 mm em 1992, gerando um desvio padrão de 110,13 mm. O mês de setembro possui uma média de precipitação de 146,86 mm com uma máxima registrada de 459,2 mm

em 1993 e mínima de 9 mm em 1994, sendo o desvio padrão ente a máxima e a mínima de 128,68mm.

O mês de agosto possui uma média mensal de precipitação de 64,30 mm, sendo o mês que apresenta o menor registro pluviométrico da série histórica analisada. A sua máxima foi de 179,1 mm em 1998 e a mínima de zero em 1988, com desvio padrão de 56,42 mm.

FIGURA 7- ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE FAZ. EXP. FAC. AGRONOMIA (PINHAIS) 900 m DE ALTITUDE (PERÍODO:1971 A 2004)



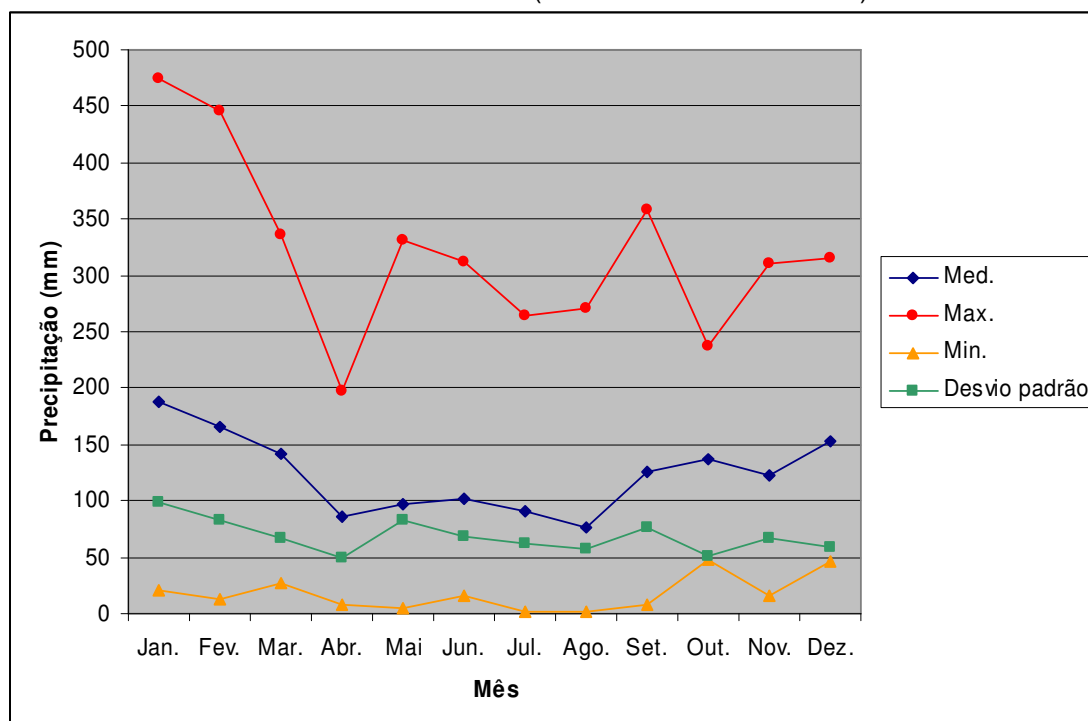
* Elaborado a partir de dados fornecidos pela SUDERHSA.

A estação da Fazenda Experimental da Faculdade de Agronomia durante os anos de 1971 a 2004, apresentou a sua maior oferta pluviométrica no mês de janeiro, com média de 191,63 mm de chuva. A máxima registrada foi de 457,3 mm no ano de 1995, a mínima foi de 43,6 mm no ano de 1982. O desvio padrão analisado foi de 97,50 mm.

Nesta estação os meses que apresentaram os menores registros pluviométricos são: os meses de abril e agosto. O mês de abril possui uma média de 61,70 mm de chuva com sua máxima de 155,4 mm em 1998 e mínima de 4 mm em

2000. O desvio padrão da máxima com a mínima foi de 34,93 mm. O mês de agosto registrou média de 73,98 mm. A máxima apresentada foi de 239,0 mm em 1998 e a mínima de 1,6 mm em 1988, com desvio padrão de 59,24 mm.

FIGURA 8 - ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE CURITIBA A 929 m DE ALTITUDE (PERÍODO: 1960 A 2004)



* Elaborado a partir de dados fornecidos pela SUDERHSA.

O gráfico da estação de Curitiba mostra que o mês de janeiro, como o observado nas demais estações, também é o que possui o maior registro de chuvas com uma média pluviométrica de 188,45 mm, sendo a máxima de 473,8 mm em 1995 e a mínima de 20,9 mm em 1982 e desvio padrão de 98,01 mm.

O mês menos chuvoso é o de agosto, possuindo média de chuvas de 76,14 mm, sendo a máxima de 271,1 mm em 1998 e mínima de 2 mm em 1988, com desvio padrão da máxima com a mínima de 57,78 mm.

Em todos os gráficos analisados o mês de janeiro é o que apresentou a maior oferta pluviométrica na área da bacia e regiões circunvizinhas. Em todas as estações estudadas o ano de 1995 é o que possui o maior registro de máxima mensal, do mês de janeiro, evidenciando assim a grande cheia ocorrida neste ano.

CAPÍTULO 4

4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO E MATERIAIS UTILIZADOS

O procedimento metodológico adotado no trabalho constituiu-se na aplicação de modelos hidrológicos baseados na utilização de técnicas de processamento de dados e confecção de cartas temáticas em ambiente SIG, visando analisar e espacializar o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Atuba, durante eventos de vazão de cheias.

Os dois modelos aplicados são modelos de transformação de chuvas em vazões, sendo um deles, o Método de Ven Te Chow, método consagrado na literatura específica, e o outro, elaborado a partir da adaptação do Método Racional para bacias de médio porte.

Os dois modelos têm por finalidade o estudo dos impactos da urbanização sobre o sistema de drenagem, através do uso da técnica de quantificação de áreas impermeáveis e da representação das características superficiais do terreno para quantificar o escoamento superficial e simular picos de vazão de cheias, em uma bacia hidrográfica urbana a parcialmente urbanizada.

Para as suas aplicações, fazendo-se uso das técnicas de SIG, foi indispensável o desenvolvimento de diversas tarefas tais como:

- 1ª) revisão bibliográfica e compilação de dados;
- 2ª) preparação de bases cartográficas em meio digital;
- 3ª) análise de bancos de dados hidrológicos;
- 4ª) caracterização morfométrica da bacia hidrográfica;
- 5ª) interpretação de fotografias aéreas para o mapeamento da cobertura superficial do terreno e análise multitemporal do uso e ocupação urbana;
- 6ª) quantificação das áreas permeáveis e impermeáveis da bacia do rio Atuba;

- 7ª) elaboração de cartas temáticas, cruzamento, geração e análise de informações em ambiente SIG;
- 8ª) determinação dos parâmetros necessários para o cálculo da vazão de pico e;
- 9ª) aplicação de modelos hidrológicos para o cálculo da vazão de pico.

Na quantificação das áreas permeáveis e impermeáveis, utilizou-se a técnica de análise multitemporal dos aspectos relacionados à evolução da cobertura superficial do terreno e redução de áreas naturais.

A referida técnica foi realizada através da fotointerpretação de fotografias aéreas de diferentes datas de aquisição, sendo possível mapear o crescimento das áreas urbanas e o conseqüente aumento das áreas impermeáveis.

Para tais cálculos, foi necessário definir alguns parâmetros tais como: intensidade da chuva, características físicas da bacia (área, comprimento do talvegue, tempo de concentração, grupos hidrológicos de solos, umidade antecedente dos solos, declividade do terreno entre outros), chuva efetiva, coeficiente de armazenamento por infiltração, coeficiente de retardo por efeito da declividade, tempo de pico do hidrograma, fator de redução de pico do hidrograma, fator de deflúvio e o coeficiente de escoamento superficial do terreno, discriminando o tipo de cada ocupação urbana que demonstra os diferentes graus de impermeabilização do solo.

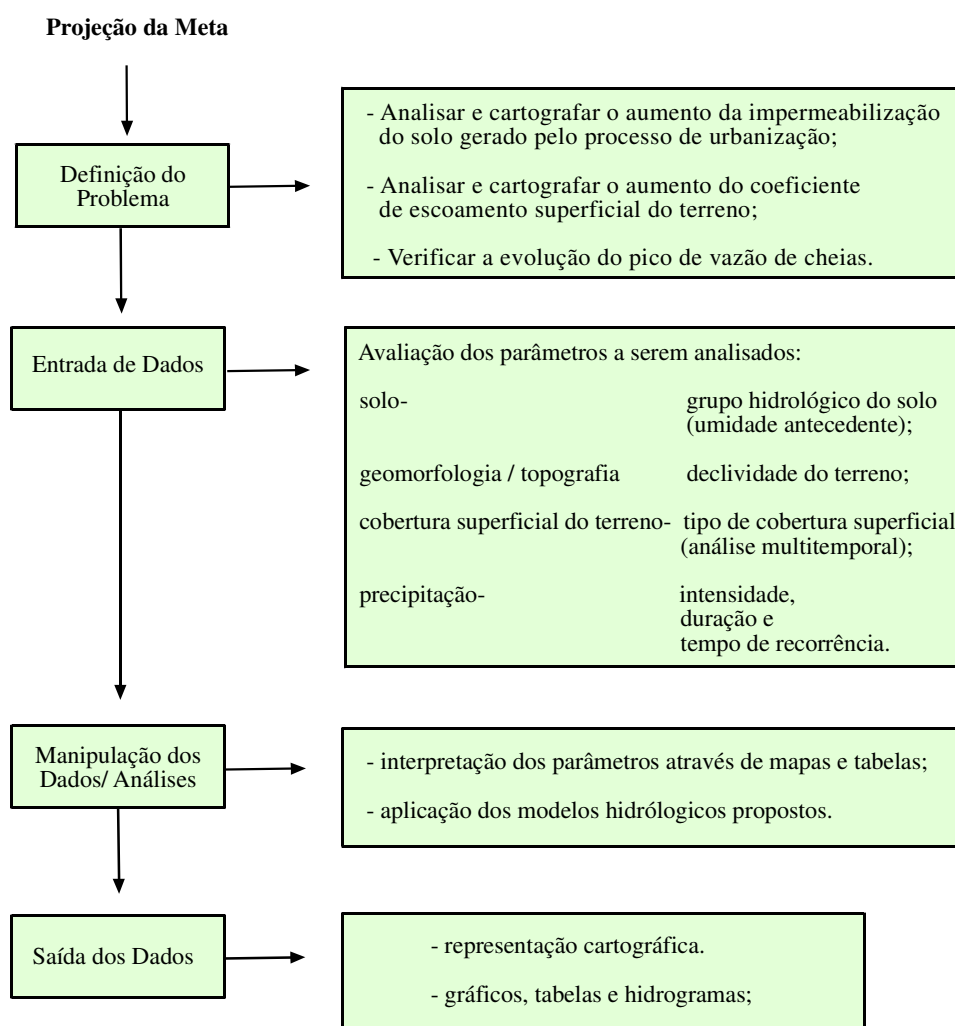
Na etapa de SIG foi criado um banco de dados contendo informações temáticas da superfície da bacia, através da confecção e combinação de cartas e tabelas por operações algébricas.

Para a simulação da vazão de pico foram utilizadas diversas cartas temáticas elaboradas em meio digital como: carta de solos, carta geológica, carta de declividade do terreno, cartas de coberturas superficiais do terreno, cartas de índices de armazenamento (coeficiente "S") e cartas de índices de escoamento superficial (coeficiente "C"), além de outras informações que fazem parte dos parâmetros necessários à aplicação dos métodos utilizados.

Todos os parâmetros considerados foram analisados em conjunto e integrados em ambiente SIG, visando, como resultado final, a quantificação e o mapeamento do escoamento superficial e a análise dos picos de vazão de cheias dentro de uma visão multitemporal.

Na Figura 9 é apresentado um ilustrativo das diversas etapas do procedimento metodológico seguidas durante o desenvolvimento do trabalho.

FIGURA 9 - FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO METODOLÓGICO ADOTADO NO TRABALHO



4.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Os documentos cartográficos, “software” e informações hidrológicas utilizadas na obtenção e geração de dados deste trabalho foram:

Documentos Cartográficos:

- Cartas topográficas da COMEC (Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba) na escala de 1:10.000, do ano de 1976 das seguintes articulações SG 22 X: 400, 402, 404, 411, 413, 415, 417, 419, 414, 416, 418 e 420;
- Carta Geológica compilada e adaptada de SALAMUNI (1998);
- Carta de solos compilada e adaptada do Levantamento e Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná - EMBRAPA & IAPAR (1984), na escala de 1:600.000;
- Fotografias aéreas pancromáticas da Cobertura Aerofotogramétrica Cruzeiro do Sul do ano de 1962, na escala de vôo - 1:70.000, cedida pela SEMA;
- Fotografias aéreas pancromáticas da Cobertura Aerofotogramétrica do Instituto de Terras, Cartografia e Florestas (ITCF-PR) de 28/06/1980, na escala de vôo - 1:25.000, cedida pela SEMA;
- Fotografias aéreas coloridas da Cobertura Aerofotogramétrica da região Metropolitana de Curitiba de 07/06/2000, na escala de vôo - 1:30.000, cedida pela SUDERHSA.

Software:

- Auto-CAD 2006, versão para Windows;

- Erdas Imagine 8.6[®], versão para Windows;
- Módulo cálculo do “CN” contido no programa IPHS1-2.11 (Modelagem Hidrológica e Hidráulica), versão para Windows, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS e Faculdade de Engenharia Agrícola – UFPel.;
- Spring 4.2 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), versão para Windows, desenvolvido pelo INPE.

Informações Hidrológicas:

- Dados pluviométricos mensais e diários, fornecidos pela SUDERHSA, referentes as estações de:

Colombo - código 02549090, dos anos de 1988 a 2004, localizada no município de Colombo, a montante da bacia do rio Atuba;

Fazenda Experimental da Agronomia - código 02549041, dos anos de 1971 a 2004, localizada no município de Pinhais na proximidade do baixo curso da bacia do rio Atuba, porção sudeste;

Curitiba – código 02549002, dos anos de 1960 a 2004, localizada no município de Curitiba na porção sudoeste, baixo curso da bacia do rio Atuba;

Curitiba - Prado Velho – código 02549075, dos anos de 1982 a 2004, localizada no município de Curitiba (Campus da PUCPR) próxima ao baixo curso da bacia do rio Atuba, porção sudoeste.

- Dados fluviométricos da vazão máxima diária anual, fornecidos pela SUDERHSA, referentes as estações do Autódromo próxima a foz do rio Atuba.

4.2. MÉTODO RACIONAL

Para a aplicação do Método Racional na bacia hidrográfica do rio Atuba foi utilizada a “fórmula racional”, modificada por SOUZA PINTO *et al.* (1976). Os autores introduzem na equação racional um coeficiente de retardo que reflete o efeito de armazenamento d’água, devido às diferenças da declividade do terreno.

Como a bacia hidrográfica do rio Atuba pode ser considerada uma bacia de médio porte, segundo as classificações de TUCCI *et al.* (1993) a escolha da equação modificada por SOUZA PINTO *et al.* (1976) teve por base a necessidade de se ajustar o melhor possível o método ao tamanho da área em questão, uma vez que o mesmo possui uma série de limitações para bacias deste porte:

Partindo do princípio que as limitações do Método Racional usado na sua forma original podem implicar em erros grosseiros quando aplicado em bacias superiores ao tamanho estipulado, durante o trabalho, além de se utilizar à equação mencionada acima, procurou-se calcular todos os parâmetros hidrológicos utilizados no Método Racional, de modo a representar o melhor possível a heterogeneidade e variação espacial dos elementos fisiográficos da bacia.

A heterogeneidade dos elementos fisiográficos da bacia foi levada em consideração através da diferenciação de alguns de seus fatores físicos, tais como:

- a) diferenças de grupos hidrológicos de solos;
- b) umidade antecedente do solo;
- c) diferenças nos tipos de cobertura superficial do terreno;
- d) diferenças da variação espacial da precipitação, através da média ponderada de chuvas na bacia do rio Atuba e;
- e) diferença na variação da declividade do terreno, que reflete no coeficiente de retardo por armazenamento.

Estas diferenças ajudaram a minimizar a generalização das características dos elementos constituintes da paisagem para toda a área da bacia, procurando

compensar este efeito, que não é contemplado no Método Racional, em sua concepção original.

A consideração das diferenças existentes nos elementos da paisagem possibilitou também a aquisição de diversos valores do coeficiente de escoamento superficial e do coeficiente de armazenamento, sendo os mesmos mapeados de acordo com cada grupo de área distinta verificadas na bacia hidrográfica.

4.3. MÉTODO DE VEN TE CHOW – SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)

Tendo por base as informações descritas por WILKEN (1971), o Método de Ven Te Chow foi aplicado a partir da seguinte relação:

$$Q_p = \frac{A.X.Y.Z}{3,6} \quad \text{equação (11)}$$

onde:

Q_p é a vazão de pico, em m^3/s ;

A é a área da bacia, em km^2 ;

X é o fator de deflúvio, também denominado de intensidade da chuva excedente, em mm;

Y é o fator climático e;

Z é o fator de redução de pico.

Uma vez que o fator de deflúvio “X” é a razão da chuva excedente pela duração, para o cálculo do excesso da chuva foi utilizada a fórmula do Soil Conservation Service, sendo aplicada somente após a determinação da chuva total e do número de deflúvio.

Como a duração da chuva para a qual a vazão será máxima é desconhecida, durante os cálculos da vazão de pico pelo Método de Ven Te Chow foi necessário adotar um procedimento tentativo, conforme descrito a seguir:

- 1º) primeiro, arbitraram-se valores para a duração da chuva (t_d);
- 2º) para cada valor arbitrado foi obtida a intensidade da chuva (i_m) a partir da equação de intensidade-duração-freqüência;
- 3º) calculou-se a chuva total correspondente a cada duração e em relação a diferentes períodos de retorno ($R = i_m \cdot t_d$);
- 4º) verificou-se o número de deflúvio para cada ano analisado (N), sendo estes, estipulados, igual aos valores de (CN) do método do SCS;
- 5º) calculou-se a precipitação excedente (Re), com o auxílio da fórmula do SCS;
- 6º) calculou-se a intensidade da chuva excedente ($X = Re / t_d$);
- 7º) calcula-se o valor da razão (t_d/t_p) para fixação do valor do fator de redução de pico;
- 8º) determinou-se o fator climático para a região em estudo, através de uma equação de IDF local e;
- 9º) por fim, calculou-se a vazão de pico pela fórmula de Ven Te Chow (Equação 11);

O procedimento descrito acima foi repetido para todos os valores de duração da chuva arbitrados. A vazão de pico para cada um dos anos analisados, e em diferentes tempos de retorno foi aquela que resultou a máxima nos cálculos efetuados.

Para levar em consideração a distribuição da chuva durante o seu tempo de duração, o fator climático pode ser determinado com base na relação:

$$Y = \frac{Re}{Ro} \quad \text{equação (12)}$$

no qual:

Ro é a altura de chuva, em milímetros, na localidade base e;

Re é a altura de chuva, em milímetros, em outra localidade.

4.4. GERAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS EM AMBIENTE SIG

4.4.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS EM MEIO DIGITAL

O presente estudo foi conduzido através da análise e geração de dados em ambiente CAD e SIG, utilizando-se de informações de fotografias aéreas e cartas topográficas.

O processo de aquisição dos dados em meio digital consistiu, primeiramente, na transferência das informações contidas nos elementos cartográficos para o meio digital através da “escanerização” de cartas topográficas e de fotografias aéreas, obtendo-se como resultado, os arquivos de dados em formato raster.

4.4.1.1 DIGITALIZAÇÃO DAS CARTAS TEMÁTICAS

Após “escanerizadas”, as cartas topográficas foram trabalhadas no “software” Auto-Cad, efetuando-se o georreferenciamento e correção geométrica para eliminar as distorções cartográficas geradas no processo de “escanerização”.

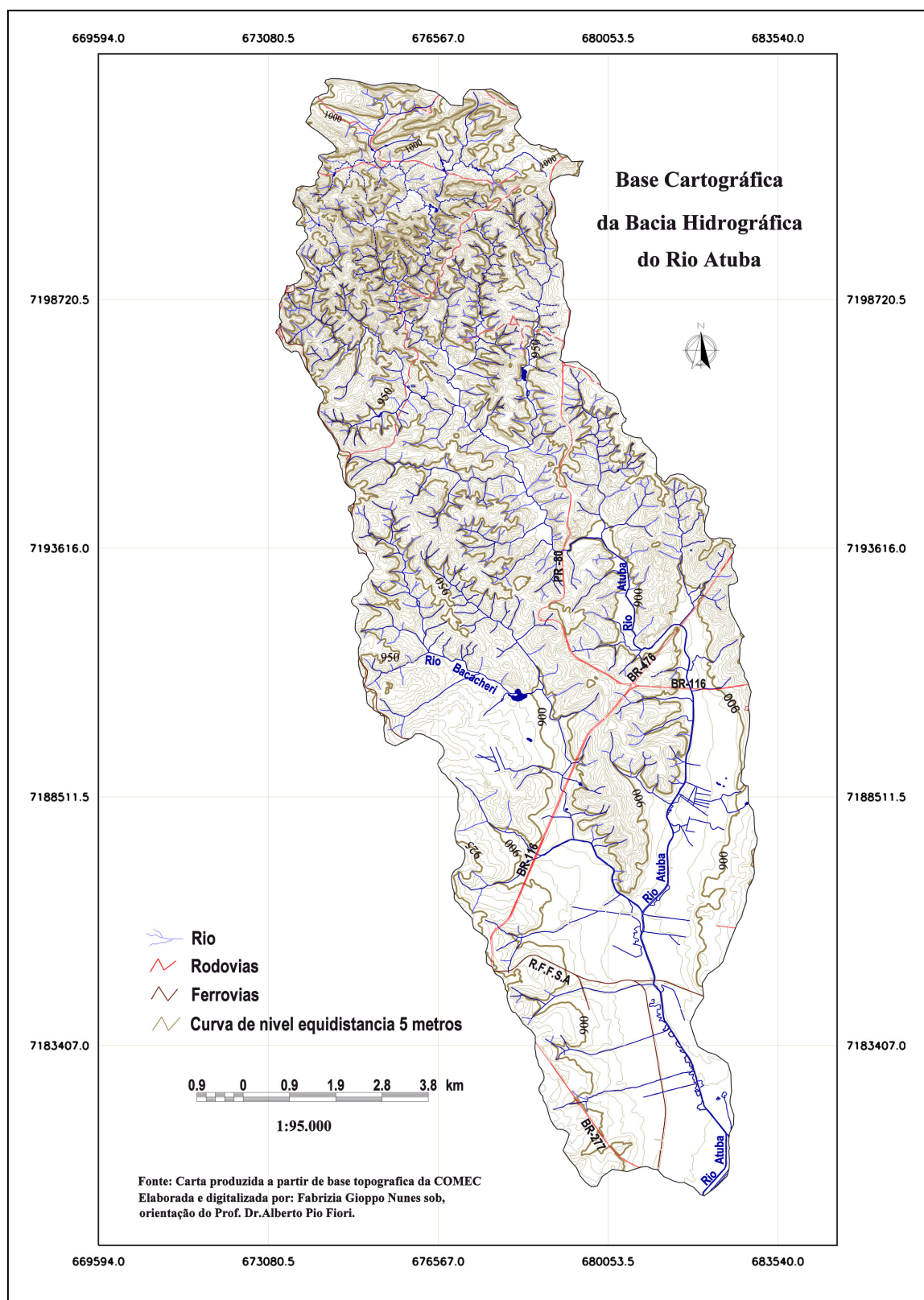
As cartas corrigidas e georreferenciadas foram utilizadas como imagens de fundo para a vetorização de informações. Convertendo-se as informações raster em dados vetoriais, obteve a cartografia base da bacia do rio Atuba (Figura 10).

Os dados vetoriais gerados foram agrupados em temáticas diferentes tais como: curvas de nível, pontos cotados, rede hidrográfica, rede viária e polígonos de topologias.

Para uma melhor organização e reconhecimento em ambiente SIG, cada temática foi digitalizada segundo o critério de subdivisão de “layers” (PIs). Às curvas de nível e pontos cotados foram atribuídas suas cotas altimétricas, para a confecção em ambiente SIG do modelo digital do terreno e da carta de declividade.

As cartas temáticas de geologia e solos, usadas como plano de informação, foram transferidas para meio digital através do mesmo procedimento descrito para as cartas topográficas.

FIGURA 10 - BASE CARTOGRAFICA - BACIA DO RIO ATUBA.



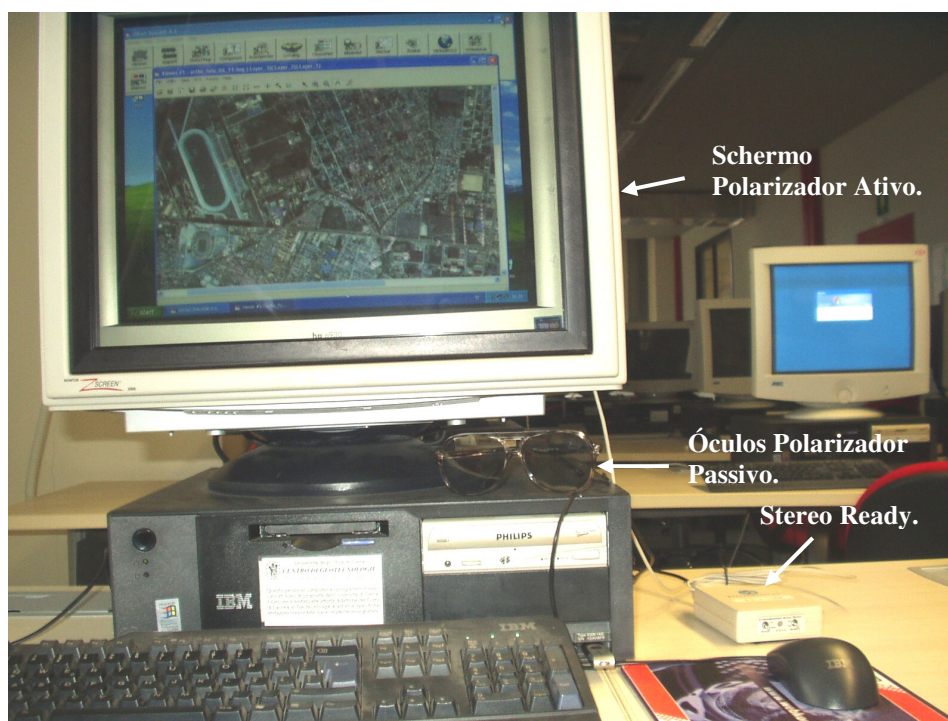
4.4.1.2. TÉCNICA DE FOTOGRAMETRIA COM O USO DE ESTEREOSCOPIA DIGITAL

Durante o processo de restituição das fotografias aéreas para a confecção das cartas de cobertura superficial do terreno e da carta de drenagem detalhada, utilizou-se à técnica de fotogrametria digital desenvolvida pela equipe do Laboratório de Fotogrametria Digital do Centro de Geotecnologia da Universidade de Siena - Itália.

A fotogrametria digital é realizada através de um equipamento de fotorestituição digital chamado de “estereo-restituídor digital”, que permite uma visão estereoscópica tridimensional das fotografias aéreas. O equipamento de fotorestituição é composto por:

- a) Um computador no qual são carregadas as imagens digitais (fotografias aéreas) “escaneadas” no formato raster, constituídas de uma matriz bidimensional em tonalidade pancromática ou colorida;
- b) “Software” Erdas Imagine 8.6[®] que permite o georreferenciamento e a fotorestituição das fotografias aéreas;
- c) Um equipamento acessório que permite a visão estereoscópica tridimensional, implementada através do uso combinado de uma “scheda gráfica” do tipo “Stereo Ready” e de um sistema composto de uma tela polarizadora ativa e de um óculos polarizador passivo, ilustrados na Figura 11.

FIGURA 11 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A FOTO RESTITUIÇÃO DIGITAL



Os materiais utilizados na realização da fotogrametria digital foram:

- a) fotografias aéreas dos anos de 1962, 1980 e 2000;
- b) cartas topográficas da região Metropolitana de Curitiba, da COMEC, na escala de 1:10.000;
- c) “software” Erdas Imagine 8.6[®] e Auto-Card 2006;
- d) equipamentos de fotorestituição “estereorestituidor digital”.

A referida técnica de fotogrametria digital, que consiste na restituição de fotografias aéreas em meio digital, é dividida em três fases distintas:

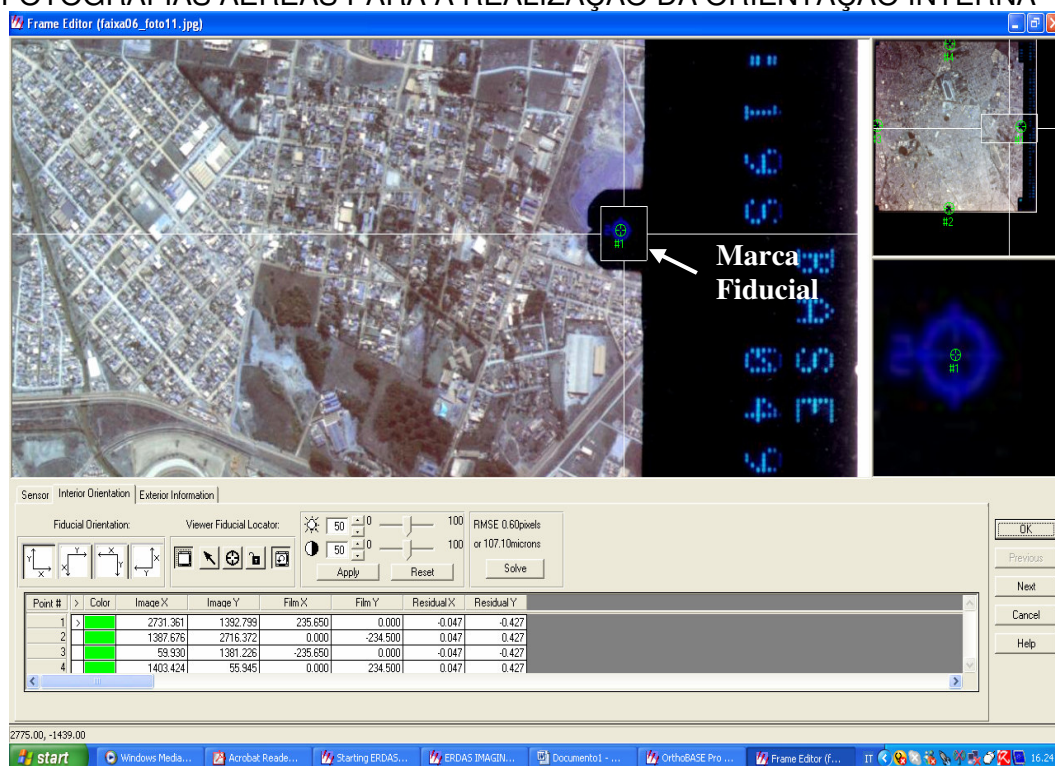
- 1ª Fase:** orientação das fotografias aéreas, subdividida em orientação interna e orientação externa;
- 2ª Fase:** restituição dos elementos observados nas fotografias aéreas e;
- 3ª Fase:** controle de campo.

4.4.1.2.1. FASE DE ORIENTAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Orientação Interna:

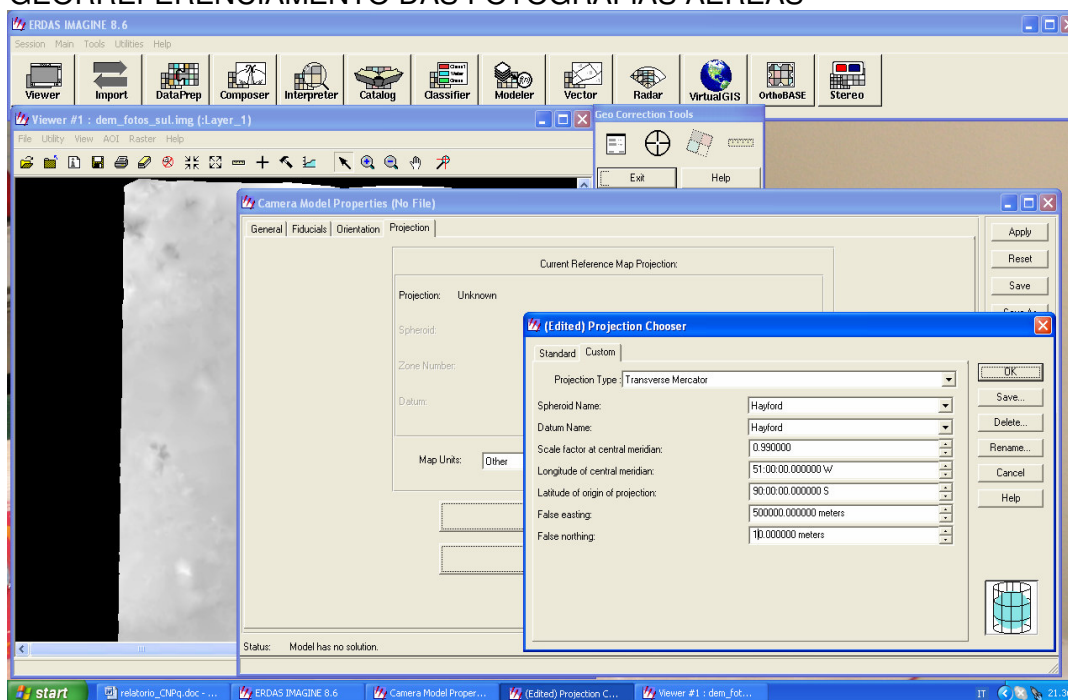
A orientação interna é realizada através da obtenção de dados fornecidos pelas próprias fotografias aéreas. Consiste na associação das fotografias aéreas com o tipo de câmera digital que as captou. Nesta fase foram fornecidas informações sobre a distância focal, sistema de coordenadas fotográficas paralelas às fotografias aéreas e posicionamento das marcas fiduciais, utilizando a função “Ortho Base” do “software” Erdas Imagine, como o ilustrado na Figura 12.

FIGURA 12 - EXEMPLO DE POSICIONAMENTO DAS MARCAS FIDUCIAIS NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS PARA A REALIZAÇÃO DA ORIENTAÇÃO INTERNA



Durante a orientação interna também foram atribuídos os parâmetros geodésicos de georreferenciamento como: tipo da projeção, esferóide, datum, fator de escala do meridiano central, longitude do meridiano central e latitude de origem da projeção (Figura 13).

FIGURA 13 - ATRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS GEODÉSICOS PARA O GEORREFERENCIAMENTO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS



As fotografias trabalhadas foram transportadas para meio digital com o auxílio do “scanner”, em formato Tif, com uma resolução de 600 dpi. Após a orientação interna realizou-se a orientação externa, onde as fotografias foram georreferenciadas no sistema de coordenadas da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) South America e Esferóide/ Datum Hayford, utilizando ainda, a função “Ortho-Base” do “software” Erdas Imagine 8.6®.

Orientação Externa:

A orientação externa consiste no georreferenciamento das fotografias aéreas em relação às coordenadas geográficas do globo terrestre, ou seja, o seu posicionamento global.

Na orientação externa o georreferenciamento foi realizado através da colocação de GCPs (pontos de controle terrestre) sobre as fotografias aéreas, tendo

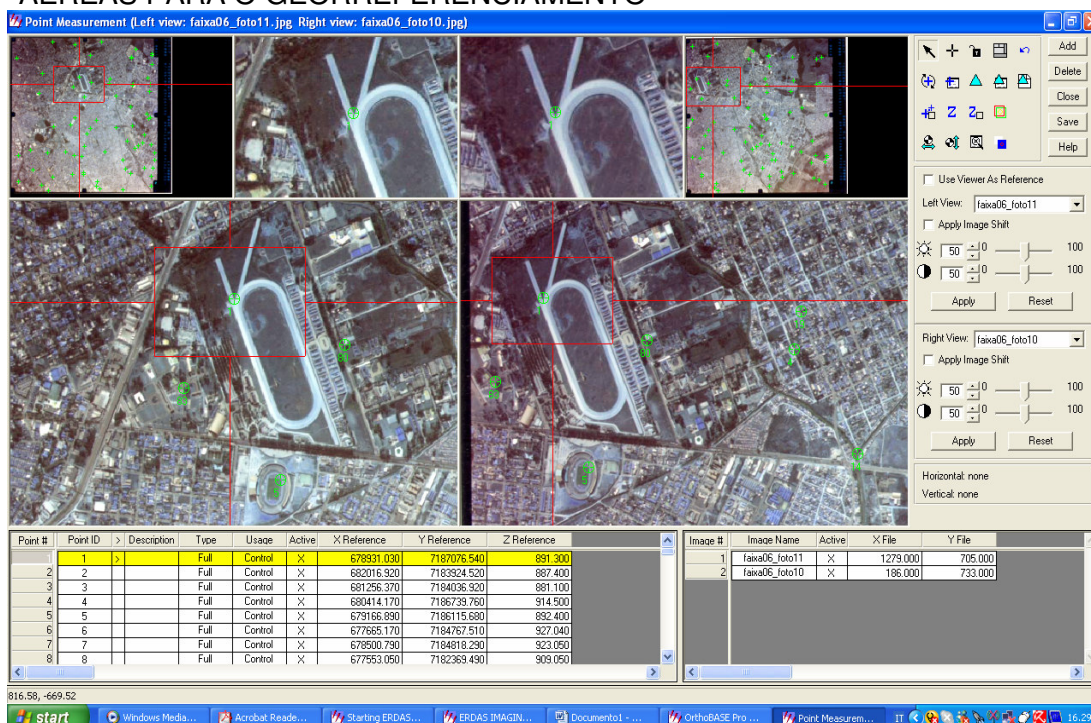
como base de referimento cartas topográficas da COMEC, em formato digital e registradas no Auto-Cad.

Sobre as cartas topográficas foram lançados GCP(s) em regiões visíveis e coincidentes com as fotografias aéreas como: cruzamentos de estradas, confluências de rios, curvas de rios, curvas de estradas, edificações e feições geomorfológicas salientes.

Após, foram extraídas de cada GCP as suas coordenadas cartesianas: latitude (x), longitude (y) e altitude (z) e, por fim, os pontos foram transferidos para as fotografias aéreas obedecendo as suas coordenadas identificadas.

Para o georreferenciamento cada fotografia aérea recebeu cerca de 23 a 25 GCP(s), distribuídos uniformemente sobre toda a sua área. O procedimento de georreferenciamento realizado durante a orientação externa com a atribuição de GCP(s) e coordenadas “X”, “Y” e “Z” é ilustrado na Figura 14.

FIGURA 14 - EXEMPLO DE ATRIBUIÇÃO DOS GCP(S) SOBRE AS FOTOGRAFIAS AÉREAS PARA O GEORREFERENCIAMENTO



Através do procedimento de lançamento de GCPs e da ortorectificação contidos na fase de orientação externa, realizou-se a rotação e o ajuste das

fotografias aéreas para um sistema de coordenadas cartesianas, usando-se de equação matemática contida no “Interpolador Bilinear” do próprio “software”. Como resultado desta fase obteve-se a rotação e o referenciamento geográfico de cada fotografia aérea para a posterior confecção de um mosaico das mesmas.

Tanto a orientação interna como a orientação externa foram realizadas para todas as fotografias aéreas que recobrem a área da bacia hidrográfica do rio Atuba dos anos de 1962, 1980 e 2000.

No trabalho foram utilizadas um total de 47 fotografias aéreas obedecendo às linhas de vôo e as suas seqüências de pares, para a sobreposição das mesmas. A sobreposição das fotografias aéreas foi realizada na função Piramidal do “software” Erdas, que prepara as fotografias em meio digital para serem visualizadas em estereoscopia. A Tabela 13 mostra a seqüência das fotografias áreas utilizadas no trabalho.

TABELA 13 - LISTA DE FOTOGRAFIAS AÉREAS QUE RECOBREM A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.

Ano- 2000/ escala 1:30.000.	Faixa	Fotos
	03	07,08,09,10.
	04	06,07,08,09,10.
	05	21,22,23,24.
	06	09,10,11.
	07	24,25,26.
Ano- 1980/ escala 1:25.000.	Fotos	
	51039, 51040, 51041, 51042.	
	51071, 51072, 51073.	
	54779, 54780, 54781,54782.	
	51013, 51014, 51015, 51016, 51017.	
	50916, 50917, 50918 54740, 54741, 54742.	
Ano- 1962/ escala 1:70.000.	Fotos	
	4465, 4466, 4467 4486, 4487, 4488.	

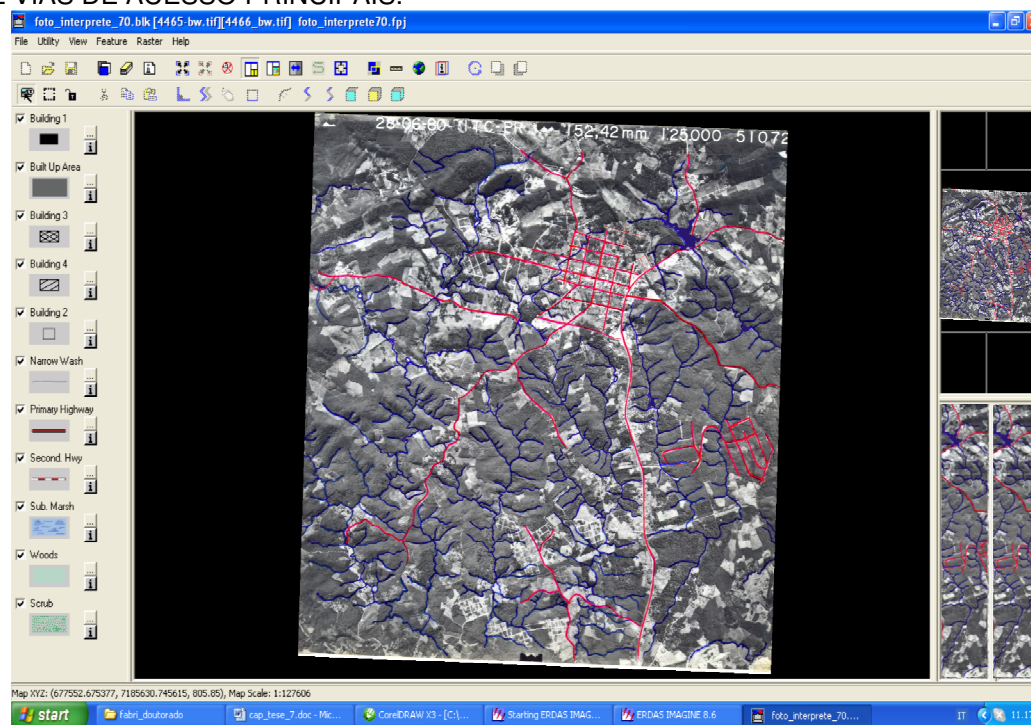
4.4.1.2.2. RESTITUIÇÃO DOS ELEMENTOS OBSERVADOS NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Durante a restituição dos elementos observados nas fotografias aéreas utilizou-se à função “Stereo Analyst” do “software” Erdas Imagine 8.6[®], que permite a visão estereoscópica tridimensional das fotografias aéreas para a sua interpretação.

Inicialmente foram restituídas as estradas e a rede de drenagem detalhada, considerando tanto os canais de escoamento perenes como os intermitentes. No traçado das vias de acesso foram consideradas somente as vias principais para, posteriormente, serem utilizadas na calibragem com as cartas temáticas.

O detalhamento da rede de drenagem foi realizado através da restituição dos canais intermitentes, constituídos pelos cursos da rede de drenagem que possuem água somente durante a precipitação. Estes canais foram identificados nas fotografias aéreas de 1980 através dos tracejados das incisões de seus vales presentes nas encostas (Figura 15).

FIGURA 15 - EXEMPLO DE FOTOINTERPRETAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM DETALHADA E VIAS DE ACESSO PRINCIPAIS.



Fonte: Fotografia aérea nº 51072/Cruzeiro do Sul, ano de 1980.

Após serem traçadas as vias de acesso e a rede de drenagem detalhada, foram estipuladas classes temáticas para cada cobertura superficial do terreno conforme os diferentes padrões de aglomerados urbanos e do tipo de uso e ocupação do solo, que irão determinar as áreas permeáveis e impermeáveis da bacia do rio Atuba (Tabela 14). Os diferentes padrões de aglomerados urbanos foram identificados através do adensamento das edificações, observando sempre o percentual da impermeabilização e dos espaços livres existentes entre as construções.

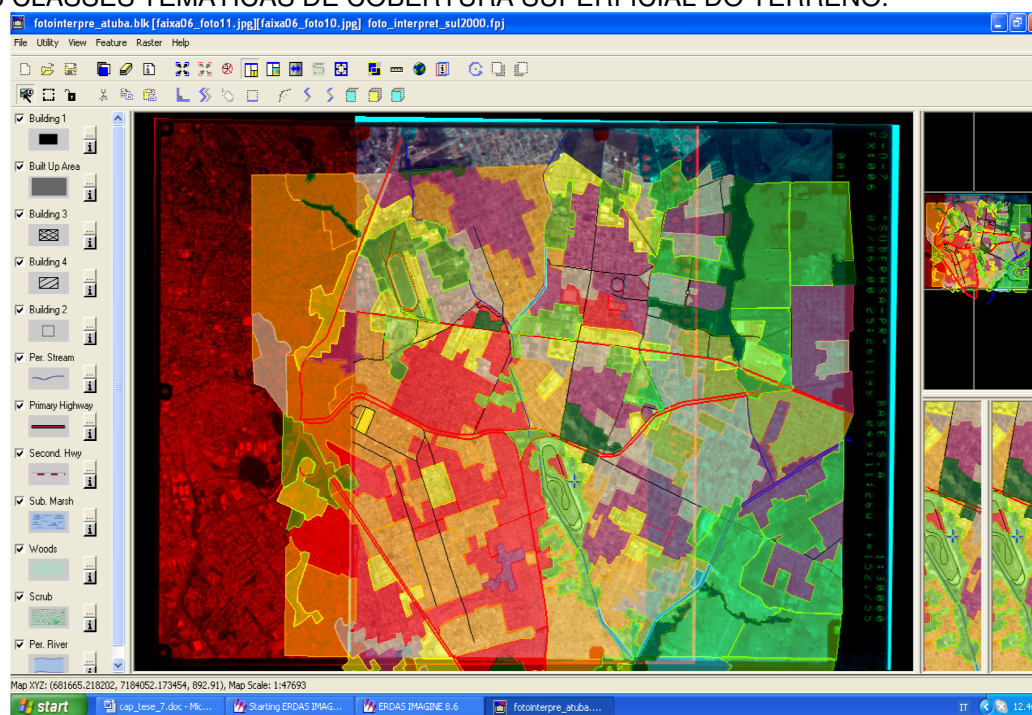
TABELA 14 - CLASSES DE COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO.

Classes Temáticas
1- Edificações muito densas: partes centrais de uma cidade densamente construídas, com cerca de 85% de taxa de impermeabilização dos solos.
2- Edificações não muito densas: zonas residenciais adjacentes ao centro, de menor densidade de habitação que as regiões centrais, com cerca de 65% de taxa de impermeabilização dos solos.
3- Edificações com superfícies livres: zonas residenciais, com cerca de 38% de taxa de impermeabilização dos solos.
4- Edificações com muitas superfícies livres: zonas residenciais com construções esparsas, com cerca de 30% de taxa de impermeabilização dos solos.
5- Zonas industriais e comerciais: áreas industriais e barracões de comércios, com cerca de 72% de taxa de impermeabilização dos solos.
6- Campo e áreas verdes: parques, praças, campos de esportes, áreas cultivadas, áreas com gramados e terrenos desnudos.
7- Zonas florestais e vegetação densa: área com vegetação de porte arbóreo natural ou reflorestadas em boas condições.
8- Corpos d'água: lagos artificiais ou naturais.

Fonte : Modificadas de WILKEN, 1978 e do Método de SCS in. TUCCI et al. (1995).

Determinadas as classes temáticas de cobertura superficial do terreno, identificaram-se e digitalizaram-se sobre as fotografias aéreas os polígonos que contornam cada classe. Cada polígono gerado foi classificado de acordo com a sua temática observada nas fotografias aéreas dos anos de 1962, 1980 e 2000. Como resultado, teve-se a confecção das cartas de cobertura superficial do terreno da bacia hidrográfica do rio Atuba, para cada ano analisado. A técnica utilizada para a identificação e digitalização dos polígonos sobre as fotografias aéreas está ilustrada na Figura 16.

FIGURA 16 - EXEMPLO DE FOTOINTERPRETAÇÃO DOS POLÍGONOS QUE REPRESENTAM AS CLASSES TEMÁTICAS DE COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO.



Fonte: Fotografia aérea número-10, faixa de vôo-06 da (SUDERHSA, 2000).

Concluída a interpretação das fotografias aéreas, os dados gerados foram transferidos para um Sistema de Informação Geográfica (SIG) realizando o mosaico de todos os polígonos digitalizados e as medidas de suas áreas, de acordo com cada uma das classes temáticas atribuídas aos polígonos. Este procedimento serviu para a análise multitemporal da cobertura superficial do terreno e aplicação dos modelos hidrológicos.

Todo o procedimento de fotogrametria digital utilizando a metodologia descrita anteriormente foi, realizado no Centro de Geotecnologia da Universidade de Siena com o apoio e a orientação dos membros do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria Digital. O procedimento utilizado foi bastante demorado, durando cerca de 9 a 10 meses para a digitalização das cartas topográficas, aprendizagem do “software”, das funções de estereoscopia digital, manuseio do equipamento e execução do trabalho.

4.4.1.2.3. CONTROLE DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados primeiramente para o reconhecimento prévio da área em estudo, verificação e atualização das informações já existentes.

Em uma segunda etapa, conferiu-se em campo, as características e as localizações geográfica dos tipos de cobertura superficial do terreno fotointerpretadas. Nas Figuras 17, 18 e 19 são ilustrados alguns exemplos das classes de cobertura superficial do terreno observadas nas fotografias aéreas e verificadas em campo.

Na segunda etapa de campo, foi realizado também, o reconhecimento de áreas que apresentassem indícios de ocorrências de inundações. As áreas sujeitas às inundações puderam ser identificadas através das características físicas da paisagem e do tipo de construções existentes no local (Figura 20).

Os trabalhos de campo serviram para o esclarecimento de dúvidas sobre os alvos observados nas fotografias aéreas, sendo realizados, em todas as etapas, com o apoio das fotografias aéreas do ano de 2000, das cartas topográficas e das cartas temáticas confeccionadas.

FIGURA 17 - EXEMPLO DE FOTOINTERPRETAÇÃO E CONTROLE DE CAMPO (A)

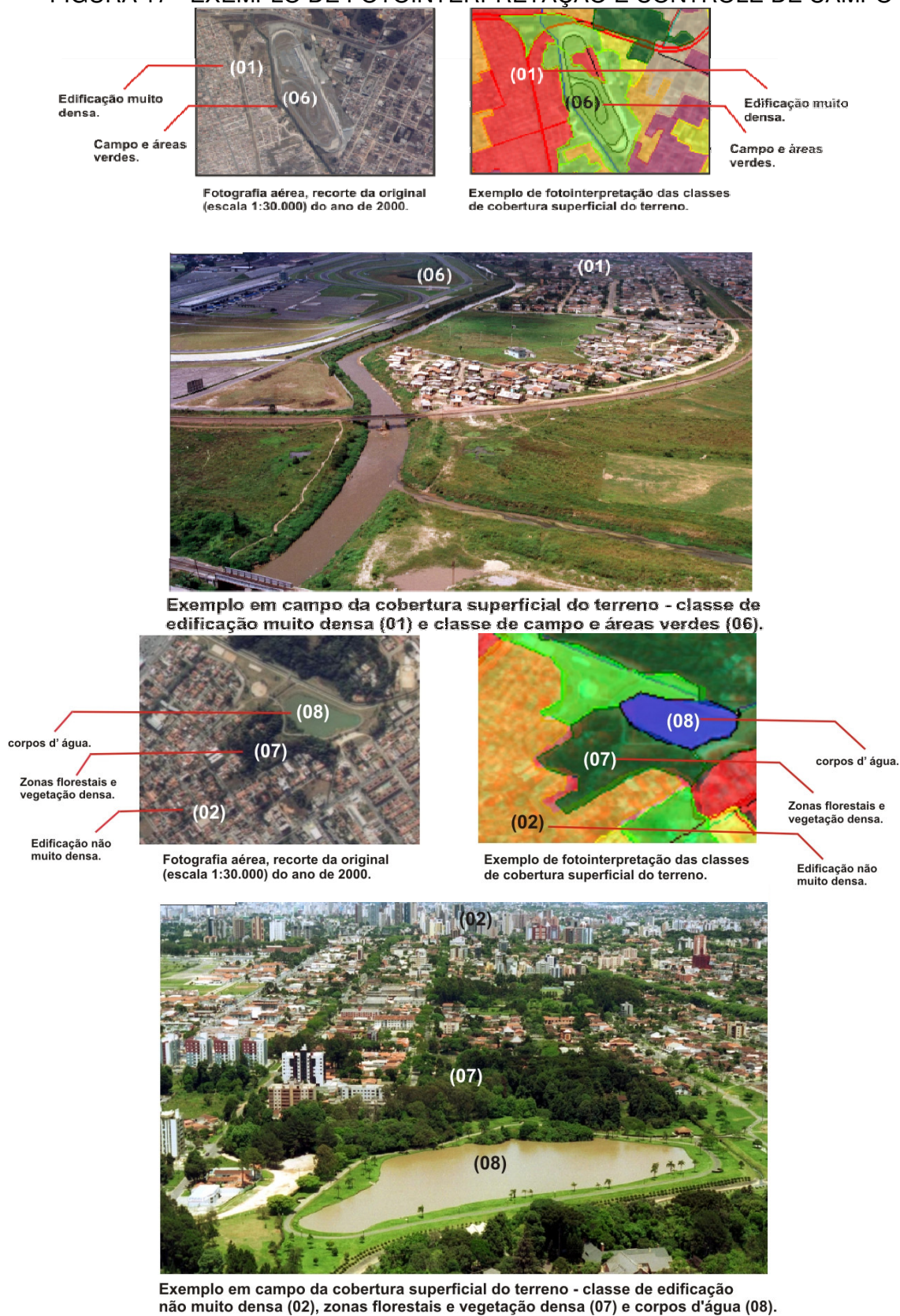
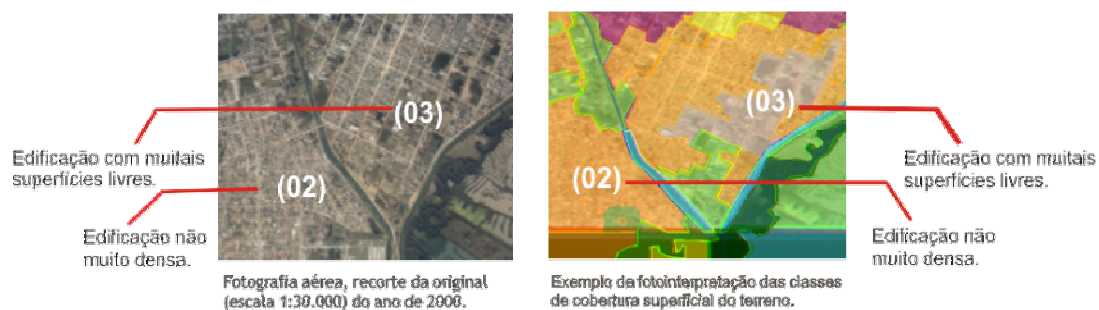


FIGURA 18 - EXEMPLO DE FOTOINTERPRETAÇÃO E CONTROLE DE CAMPO (B)



Exemplo em campo da cobertura superficial do terreno - classe de edificação não muito densa (02) e classe de edificação com muitas superfícies livres (03).

FIGURA 19 – EXEMPLO DE CLASSES DE COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO



A) Exemplo da classe de edificações não muito densas (02) e da classe de campo e áreas verdes (06). Trecho do rio Atuba canalizado no bairro Capão da Imbuia - divisa com o município de Pinhais.



B) Exemplo da classe de zonas industriais e comerciais (05) e da classe de campo e áreas verdes (06) Trevo do Atuba.

FIGURA 20 - TRECHOS DO CANAL DE DRENAGEM DO RIO ATUBA



A) Área preservada com presença de vegetação natural. Montante do rio Atuba no município de Colombo/ PR, sobre o Grupo Açungui.



B) Exemplo de ocupação irregular as margens do rio Atuba município de Colombo/PR, próximo a BR-116.



C) Médio curso do rio Atuba com ocupação ao longo da margem direita e processo de erosão ocasionado pela retirada da mata ciliar.



D) Curso inferior do rio Atuba na Vila Autódromo bairro – Cajuru. Ao fundo ocupações irregulares na região de planície de inundações do rio Atuba.



E) Ponto de desembocadura do rio Bacacheri no rio Atuba –bairro Capão da Imbuia/ Curitiba. Exemplo de ocupação desordenada sujeita as inundações na margem direita do rio Atuba.



F) Foz do rio Bacacheri, detalhe da ocupação desordenada na região do leito menor - bairro Tarumã / Curitiba.

4.4.2. TRANSFERÊNCIA DOS DADOS CARTOGRÁFICOS PARA O AMBIENTE SIG

Antes da importação dos dados digitalizados para o ambiente SIG, foi necessário converter os mesmos em formato DXF, que é um formato compatível com o “software” Spring.

Para o armazenamento, processamento, manipulação e análise dos dados introduzidos no Spring, objetivando a saída destes na forma de cartas convencionais e arquivos digitais, executou-se uma série de etapas tais como:

1^a) **Criação do Banco de Dados:** que serviu para armazenar todas as informações geográficas trabalhadas;

2^a) **Criação do Projeto:** que permitiu especificar o espaço geográfico da área de trabalho, onde foram inseridos todos os mapas. Nesta etapa, também foram definidas as propriedades cartográficas da área em estudo com: projeção, datum e coordenadas geográficas;

3^a) **Criação dos Modelos de Categoria:** para a organização dos diferentes tipos de dados geográficos, dos diversos modelos de categorias. Os modelos categóricos criados durante o trabalho foram os Temáticos e Numéricos.

A categoria do Modelo Temático foi reorganizada em classes temáticas, sendo elas: classes de solos, classes de cobertura superficial do terreno, classes de geologia, classes de coeficiente de retardo por armazenamento, classes de coeficiente de escoamento superficial, entre outras.

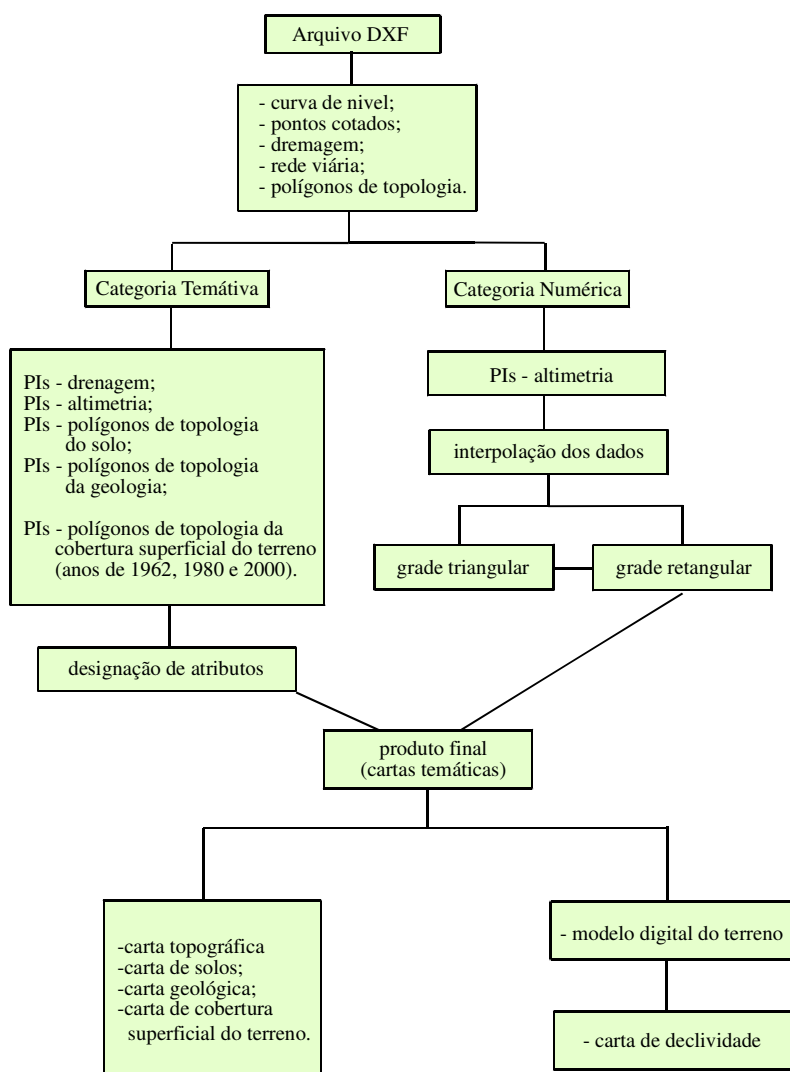
A categoria do Modelo Numérico foi utilizada para o armazenamento de informações numéricas do terreno, contendo os dados de altimetria (curvas de nível e pontos cotados) usados na confecção do Modelo Digital do Terreno e da carta de declividade.

A organização dos dados em categorias definiu a representação espacial na qual estes serão apresentados, matricial e/ou vetorial e o tipo de operação a ser executada.

4^a) **Criação dos Planos de Informação (PIs):** os PIs são os planos de armazenamento de informações que representam as diversas características temáticas. Durante o trabalho foram criados PIs para todos os mapas introduzidos no Spring, atribuindo aos dados cartográficos, distribuídos em cada PI, identificações próprias a partir da designação de seus atributos. A cada atributo de um PI foi associado um visual gráfico diferente para uma melhor identificação dos elementos mapeados.

A Figura 21 apresenta o fluxograma do processo de transferência dos dados para o ambiente SIG, desde a importação dos arquivos DXF até a criação das categorias e PIs para a elaboração das cartas temáticas, como produto final.

FIGURA 21 - FLUXOGRAMA DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA O AMBIENTE SIG



4.4.3. INTEGRAÇÃO DOS DADOS EM AMBIENTE SIG

A integração dos dados em ambiente SIG para a confecção das cartas de índices de armazenamento dos solos (coeficiente “S”) e das cartas de índices de escoamento superficial (coeficiente “C”), teve como ferramenta de trabalho o “software” Spring 4.2.

Durante a interpolação Bilinear dos dados utilizou-se à linguagem de programação espacial para geoprocessamento algébrico (LEGAL), disponível no próprio “software”. A linguagem de programação LEGAL trabalha com expressões aritméticas para a análise e tabulação cruzada de dados contidos em mapas e tabelas.

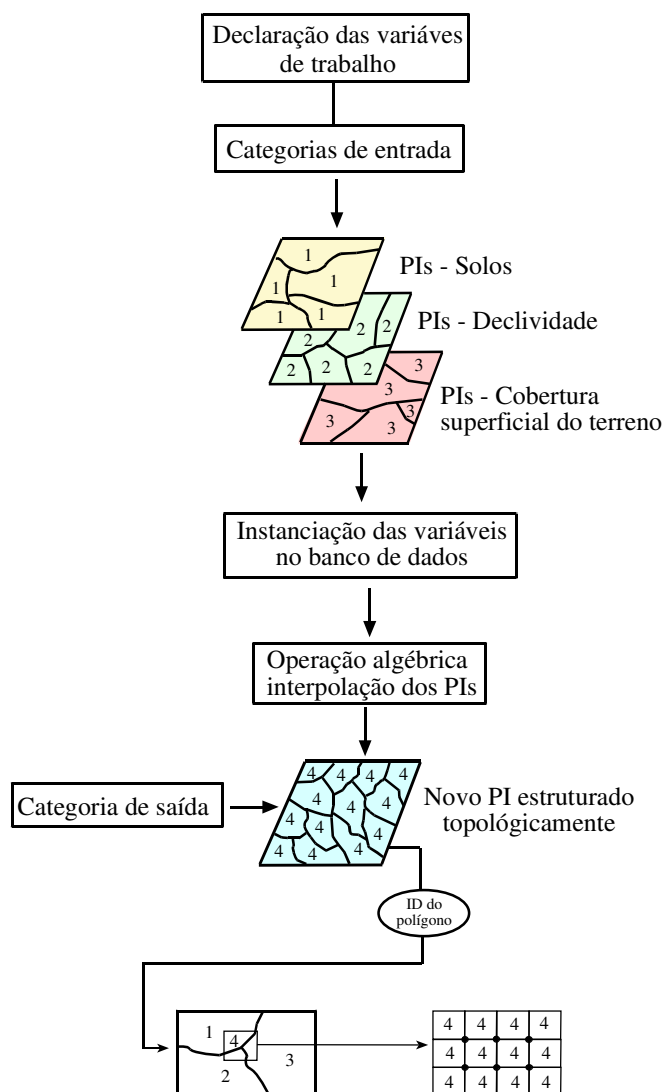
Conforme o INPE (2005) o programa LEGAL é constituído de sentenças (linhas de comando) que estão estruturadas em três fases: declarações, instanciações e operações (Figura 22).

- **Declarações:** nesta fase definem-se variáveis de trabalho. Cada variável deve ser declarada explicitamente, isto é, deve-se fornecer um nome e associá-la a uma categoria no esquema conceitual;

Instanciação: nesta fase os dados já existentes devem ser recuperados do banco de dados ou cria-se um novo PI.

Operação: nesta fase realizam-se as operações da álgebra de mapas, ou seja, a interpolação de informações.

FIGURA 22 - ESQUEMA UTILIZADO DURANTE A INTEGRAÇÃO DOS DADOS EM AMBIENTE SIG.



As cartas de índices de armazenamento dos solos foram geradas a partir da interpolação de informações das cartas de cobertura superficial do terreno (dos anos de 1962, 1980 e 2000) e da carta de solos.

As cartas de índices de escoamento superficial foram confeccionadas a partir da interpolação das cartas de cobertura superficial do terreno (dos referidos anos analisados), declividade e solos.

CAPÍTULO 5

5. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS ENVOLVIDOS NA ANÁLISE

5.1. PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

O levantamento dos parâmetros morfométricos da área de estudo foi baseado na proposta de HORTON apresentada na literatura por CHRISTOFOLETTI (1980) e por VILLELA e MATTOS (1975). Estes índices envolvem a determinação da densidade de drenagem, densidade hidrográfica, extensão do canal principal, coeficiente de compacidade, fator de forma da bacia, sinuosidade, extensão do percurso superficial, relação de relevo, gradiente do canal principal e hierarquia da rede de drenagem.

A densidade de drenagem (D_d) é a relação entre o comprimento total de todos os cursos de água e a área total da bacia. O resultado é dado em km/km^2 , sendo expresso por: $D_d = L_t / A$, onde L_t é o comprimento total de todos os canais da rede hidrográfica e A é a área da bacia.

Este índice varia de $0,5 \text{ km}/\text{km}^2$, para bacias com drenagem pobre, a $3,5 \text{ km}/\text{km}^2$ ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas. Quanto maior for este índice, maior capacidade tem a bacia de escoar suas enchentes.

A densidade hidrográfica (D_h) é definida pelo número de canais de primeira ordem (N_1) pela área da bacia (A), ou seja, $D_h = N_1/A$. O resultado é expresso em números de rios por km^2 (N/km^2).

O coeficiente de compacidade (K_c) pode ser interpretado como a relação entre o perímetro da bacia (P) e a circunferência de área (A) igual a da bacia. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade, que pode ser expresso por:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{equação (13)}$$

Para VILLELA e MATTOS (1975), a tendência de uma bacia hidrográfica sofrer cheias será tanto maior quanto mais próximo de 1,0 for K_c , ou seja, mais próxima for à bacia de um círculo.

O fator de forma (K_f) é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia hidrográfica. É expresso por: $K_f = A / L^2$, sendo L^2 , a extensão do rio em km. Quanto menor for o fator de forma, mais alongada será a bacia. Uma bacia que apresenta fator de forma baixo estará menos sujeita a enchentes do que outra bacia com maior fator de forma. Isto é devido a menor possibilidade de ocorrerem chuvas intensas em todos os pontos de uma bacia comprida e estreita.

A sinuosidade (S_{in}) de uma bacia hidrográfica representa a relação entre o comprimento do canal principal e a extensão do seu talvegue. Este índice é um fator controlador da velocidade de escoamento superficial, sendo calculado pela fórmula: $S_{in} = L_{cp} / L_{tal}$, sendo L_{cp} , a extensão do canal principal e L_{tal} a extensão do talvegue.

De acordo com a classificação de CHRISTOFOLETTI (1980), canais que apresentam índices de sinuosidade superior ou igual a 1,5 são considerados meândricos.

A extensão do percurso superficial (E_{ps}) é considerada como a distância média que um fluxo hídrico percorre até chegar ao leito do rio. Este coeficiente é expresso por: $E_{ps} = 1 / 2D_d$.

A relação de relevo (R_r) é expressa por $R_r = H_b / L_b$, onde H_b é o desnível topográfico, ou seja, altitude mais elevada da bacia menos a sua menor altitude, e L_b é o comprimento da bacia medido em linha reta ao longo do canal principal, até encontrar a borda da bacia, ou seja, o seu divisor.

O gradiente do canal principal (G_{cp}) é um bom indicador da capacidade de transporte de sedimentos de um rio. Quanto maior for o gradiente do canal principal, maior será a capacidade de transporte de um rio, pois maior é a sua declividade. É representado por $G_{cp} = H_{cp} / L_{cp}$, sendo H_{cp} o desnível geométrico do canal principal e L_{cp} a extensão do canal principal.

A ordem dos cursos de drenagem consiste em dar uma hierarquia aos segmentos de canais da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. Neste trabalho, a hierarquia dos cursos d'água foi realizada pelo método de STRAHLER

(1952) apud. CHRISTOFOLETTI (1980) e representada na Figura 23. Este estudo é importante, pois indica a maior ou menor velocidade com que a água escoia numa bacia hidrográfica.

As grandezas métricas necessárias para o estudo dos parâmetros morfométricos da bacia foram obtidas pelo emprego da função de operações métricas do Software Spring versão 4.2, possibilitando assim uma rápida análise e uma maior precisão dos dados obtidos.

Na Tabela 15 é apresentada a hierarquia da drenagem da bacia do rio Atuba, pelo Método de Strahler, com o número de segmentos de canais para cada ordem hierárquica e o seu comprimento total.

TABELA 15 - SEGMENTOS DOS CANAIS POR ORDEM HIERÁRQUICA.

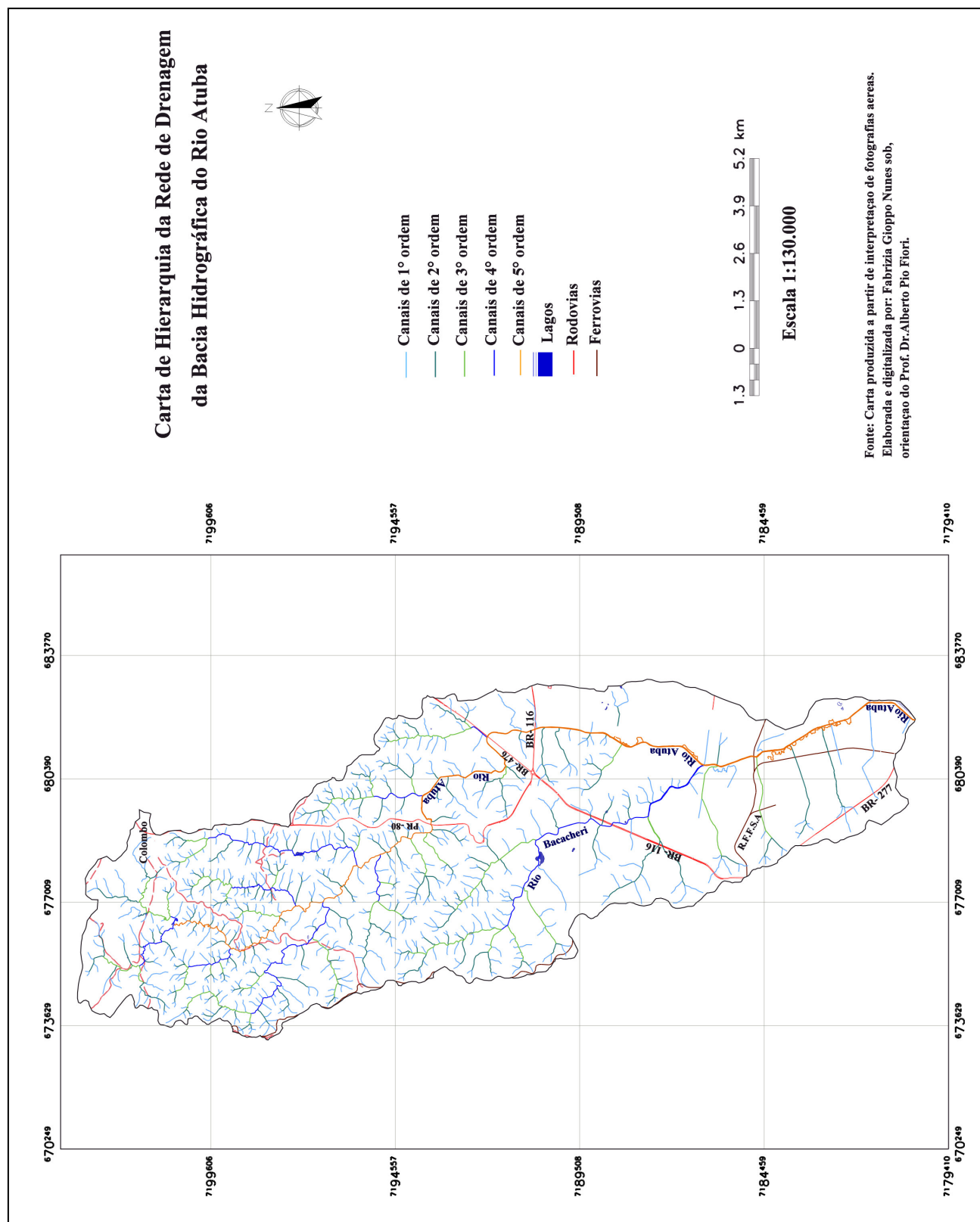
Ordem	Nº de segmentos.	Lt - Comprimento total dos canais em (km).
1º	212	201,45
2º	47	81,03
3º	32	43,43
4º	9	28,15
5º	1	28,34
Total	301	382,4

Os resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos e das medidas métricas dos elementos da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Atuba são apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO ATUBA.

Área da bacia - (A).	127,43 km ² .
Perímetro da bacia - (P).	64,92 km.
Extensão do canal principal - (L _{cp}).	32,43 km.
Densidade de drenagem - (D _d).	3 km/km ² .
Densidade hidrográfica -(D _h).	1,66 rios/ km ² .
Coeficiente de compacidade - (K _c).	1,61.
Fator de forma - (K _f).	0,12.
Extensão do talvegue - (L _{tal}).	23,50 km.
Sinuosidade - (S _{in}).	1,40.
Extensão do percurso superficial - (E _{ps}).	16,66 m.
Desnível topográfico da bacia - (H _b).	227,3 m.
Comprimento da bacia - (L _b).	23,87 km.
Desnível geométrico do canal principal - (H _{cp}).	146 m.
Relação de relevo - (R _r).	9,67 m/km.
Gradiente do canal principal - (G _{cp}).	4,5 m/km.

FIGURA 23 – HIERARQUIA DA REDE DEDRENAGEM – BACIA DO RIO ATUBA.



Através dos dados da Tabela 16 verifica-se que:

a) a densidade de drenagem de 3km de cursos d'água por km² de área, demonstra que a bacia do rio Atuba é bem drenada, ou seja, possui alta capacidade de escoamento de suas enchentes.

b) a densidade hidrográfica de 1,66 cursos d'água por km² e a ordem hierárquica igual a 5 também evidenciam a boa capacidade de drenagem da bacia.

c) a bacia do rio Atuba possui uma grande discrepância na distribuição e concentração dos cursos d'água. Esta discrepância pode ser explicada pela grande quantidade de canais de baixa ordem encontrados na região das nascentes, sobre o Grupo Açungui e Complexo Migmatíticos e da escassa drenagem de canais de 1^a e 2^a ordem, próximo à sua foz, na região dos aluviões e colúvios do Holoceno. Isso evidencia a influência da litologia, quanto à impermeabilização da água, no comportamento morfológico da rede de drenagem.

d) a distribuição e concentração irregular dos cursos d'água de 1^a e 2^a ordem revelam que o escoamento dos fluxos d'água é bem mais rápido na porção superior da bacia. As águas precipitadas concentram-se na porção do baixo curso da bacia, onde a densidade de drenagem e a rede de canais de 1^a e 2^a ordem são bem mais baixas.

e) o coeficiente de compacidade de 1,61 e o baixo fator de forma de 0,12 indicam que a bacia é bastante irregular e alongada. Isto demonstra que o tempo de concentração do fluxo até o seu exutório é lento, na bacia em seu estado natural, com vazões mais regulares, pouco sujeita a enchentes.

f) a sinuosidade baixa de 1,36 indica que este fator exerce pouca influência no controle da velocidade de escoamento d'água principal, correndo está livremente pelo canal de drenagem principal.

g) a extensão média do percurso superficial dos afluentes, igual a 16,66m revela que as águas precipitadas percorrem um curto trajeto até atingir o leito de um curso de água qualquer, contribuindo mais rápido para o aumento do volume de água nos canais receptores.

h) a relação de relevo de 9,67 m/km e o gradiente do canal principal de 4,5 m/km representam o moderado desnível topográfico da bacia em estudo, refletindo assim, a baixa capacidade energética dos seus fluxos d'água no processo erosivo e no transporte de sedimentos.

5.2. COBERTURA SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA

A quantificação das classes de cobertura superficial do terreno dos anos de 1962, 1980 e 2000 para a verificação do percentual de áreas permeáveis e impermeáveis, tornou-se possível através da operação de análise espacial realizada pelo Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - SPRING.

Para tal operação foi executado o cálculo de áreas e verificada a percentagem de cada polígono, que representam nas cartas temáticas de 1962, 1980 e 2000 (Figuras 24, 25 e 26) as classes de cobertura superficial do terreno.

Para o melhor detalhamento durante a quantificação das superfícies permeáveis e impermeáveis da bacia do rio Atuba, em cada classe de cobertura superficial do terreno mapeada, foi realizada a separação do percentual de áreas pertencentes às superfícies permeáveis do total pertencente às superfícies impermeáveis (Tabela 17). O mapeamento das coberturas superficiais teve como critério básico, que nenhuma das classes de edificações analisadas possui cem por cento de suas áreas impermeáveis, ou seja, o total de áreas impermeáveis não é equivalente ao total de áreas urbanizadas.

TABELA 17 - CÁLCULO DAS ÁREAS DAS CLASSES DE COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS ANOS (1962, 1980 e 2000).

Descrição das Classes		Área na bacia do Atuba /Anos											
		1962				1980				2000			
		Km ²	%	Total da Classe		km ²	%	Total da Classe		Km ²	%	Total da Classe	
				km ²	%			km ²	%			km ²	%
1-Edificações muito densas.	Permeável	0,0335	0,03	0,2032	0,16	0,4760	0,37	3,1734	2,5	1,4343	1,12	9,5618	7,5
	Impermeável	0,1697	0,13			2,6974	2,12			8,1275	6,38		
2-Edificações não muito densas.	Permeável	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,9797	1,43	2,7991	2,2	6,513	5,11	18,607	14,6
	Impermeável	0,0000	0,0			1,8194	0,77			12,094	9,49		
3-Edificações com superfícies livres.	Permeável	0,1644	0,13	0,2651	0,21	5,5838	4,38	9,0061	7,0	11,029	8,70	17,789	14
	Impermeável	0,1007	0,1			3,4223	2,62			6,7598	5,30		
4-Edificações com muitas superfícies livres.	Permeável	11,028	8,59	15,755	12,3	18,911	14,8	27,016	21,2	10,675	8,31	15,250	11,9
	Impermeável	4,7265	3,75			8,1048	6,36			4,5750	3,59		
5- Zonas industriais e comerciais.	Permeável	0,0672	0,05	0,2400	0,2	1,3113	1,04	4,6833	3,7	2,3044	1,75	8,2301	6,4
	Impermeável	0,1728	0,15			3,3719	2,66			5,9257	4,65		
6- Campo e áreas verdes.	Permeável	76,543	60,1	76,543	60,1	53,638	42,1	53,638	42,1	27,109	21,2	27,109	21,2
7- Zonas florestais e vegetação densa.	Permeável	34,367	26,9	34,367	26,9	27,050	21,2	27,050	21,2	30,747	24,1	30,747	24,1
8- Corpos d'água.	0,0605			0,05				0,0605	0,05	0,1397			0,11
Área total das classes.	Permeável	122,20	95,6	127,43	100	107,95	85,3	127,43	100	89,812	70	127,43	100
	Impermeável	5,1697	4,5			19,416	14,5			37,48	30,0		

A quantificação das classes temáticas foi de grande importância para este trabalho, não só no que se refere à obtenção dos valores de CN, para o cálculo dos coeficientes de escoamento superficial do terreno, mas também para a análise multitemporal da evolução urbana, que irá refletir no aumento do coeficiente de escoamento superficial da bacia.

FIGURA 24 - CARTA DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO (1962).

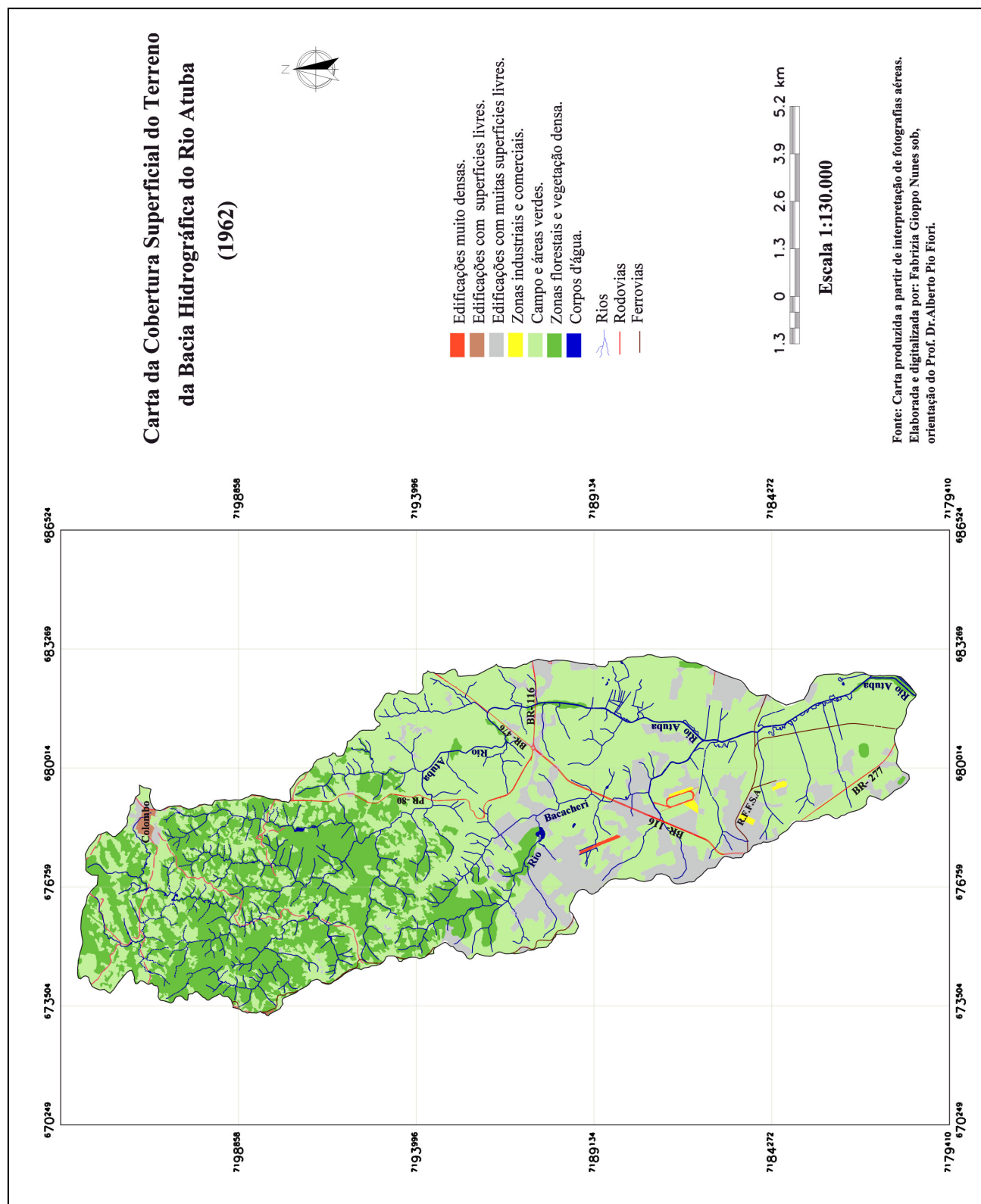
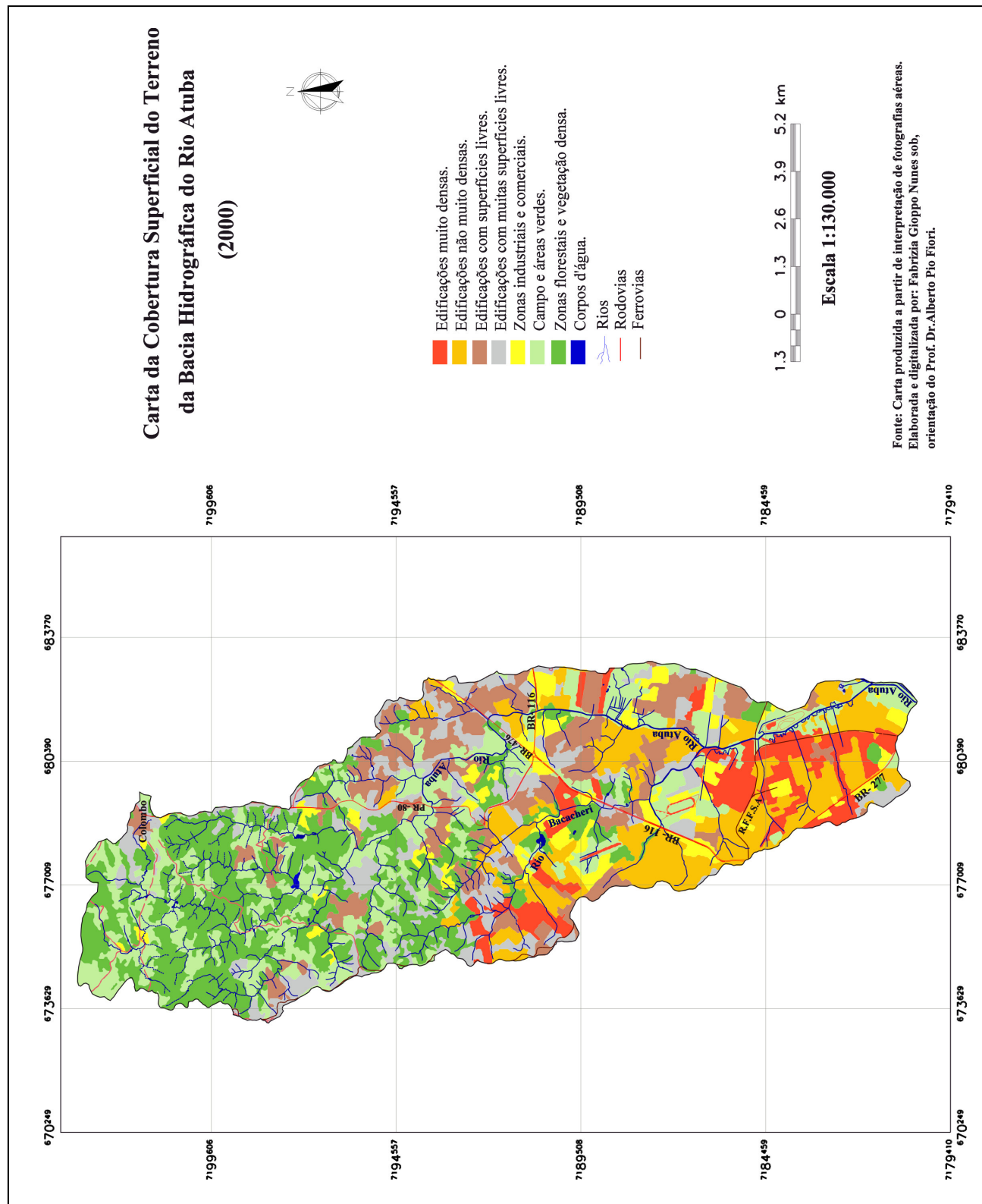


FIGURA 26 - CARTA DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO (2000).



5.2.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL DAS CLASSES TEMÁTICAS DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO

Para melhor compreender a dinâmica da paisagem na área em estudo, foi executada a técnica de análise multitemporal, envolvendo os aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo e redução das áreas naturais. Através da aplicação dessa técnica foi possível quantificar e mapear o crescimento das áreas urbanas e verificar o aumento das áreas impermeáveis.

Os dados da análise multitemporal das classes de cobertura superficial do terreno (Tabela 17) mostram que havia um grande predomínio de campos e áreas verdes nos anos de 1962 e 1980. Em 1962 essa classe possuía uma área de 76,54 km² com um percentual de 60,13%, diminuindo em 1980 para 53,64 km², com um percentual de 42,12%, de toda a área da bacia hidrográfica do rio Atuba.

No ano de 2000 os campos e áreas verdes diminuíram acentuadamente, passando a ocupar somente 27,10 km², ou seja, 21,27% de toda a área em estudo. Nota-se que esta classe aparecia bem distribuída por toda a bacia nos anos de 1962 e 1980, restringe-se, em 2000, quase que no seu total, às regiões do alto e médio curso. Este fato vem a demonstrar que o processo de urbanização na bacia do rio Atuba, como na maioria das bacias brasileiras localizadas nas regiões metropolitanas, vem ocorrendo, via de regra, na direção de jusante para montante.

A classe de zonas florestais e vegetação densa representava a segunda maior área em extensão nos anos de 1962 e 1980. Em 1962 apresentava uma área de 34,36 km² com um percentual de 26,96%. Em 1980 verifica-se uma diminuição desta classe para 27,05 km², ou seja, para 21,25% de área ocupada. Já no ano de 2000 observa-se uma pequena regeneração das zonas florestais e vegetação densa, passando esta classe, a possuir 30,74 km² com 24,12% de toda a área da bacia. Na Figura 27 é ilustrada uma amostra de áreas que sofreram o processo de regeneração das zonas florestais e vegetação densa.

A classe de zonas industriais e comerciais compreendia 0,24 km² com 0,19% da área em 1962. No ano de 1980 esta classe aumentou para 4,68 km², chegando a

atingir 3,68% de toda a bacia. Em 2000 eleva-se para 8,23 km² correspondendo a um total de 6,45% da área.

FIGURA 27 - EXEMPLO DE ÁREAS QUE SOFRERAM REGENERAÇÃO DA CLASSE DE ZONAS FLORESTAIS E VEGETAÇÃO DENSA (1980 – 2000)



Região de campos e áreas verdes – fotografia n° 54780, (ITCF-PR, 1980).



Região de zonas florestais e vegetação densa – fotografia n° 22, faixa 5 (SUDERHSA, 2000).

A região compreendida de edificações com muitas superfícies livres possuía 15,75 km², ou seja, 12,35% da área, em 1962. No ano de 1980 esta classe aumenta para 27,016 km² com 21,2% e, no ano de 2000, diminui para 15,25 km² com 11,95%.

A partir de 1980, verifica-se uma intensificação no processo de urbanização com o acelerado adensamento das edificações, fazendo com que parte da classe de edificações com muitas superfícies livres passe para as classes de urbanização mais densa como as classes de: edificações muito densas, edificações não muito densas e edificações com superfícies livres.

As edificações com superfícies livres, no ano de 1962 compreendiam apenas 0,26 km², perfazendo 0,21% da bacia do rio Atuba. Em 1980, esta classe cresce para 9,0 km² com um percentual de 7%. No ano de 2000, aumenta para 17,78 km², abrangendo 14% da área.

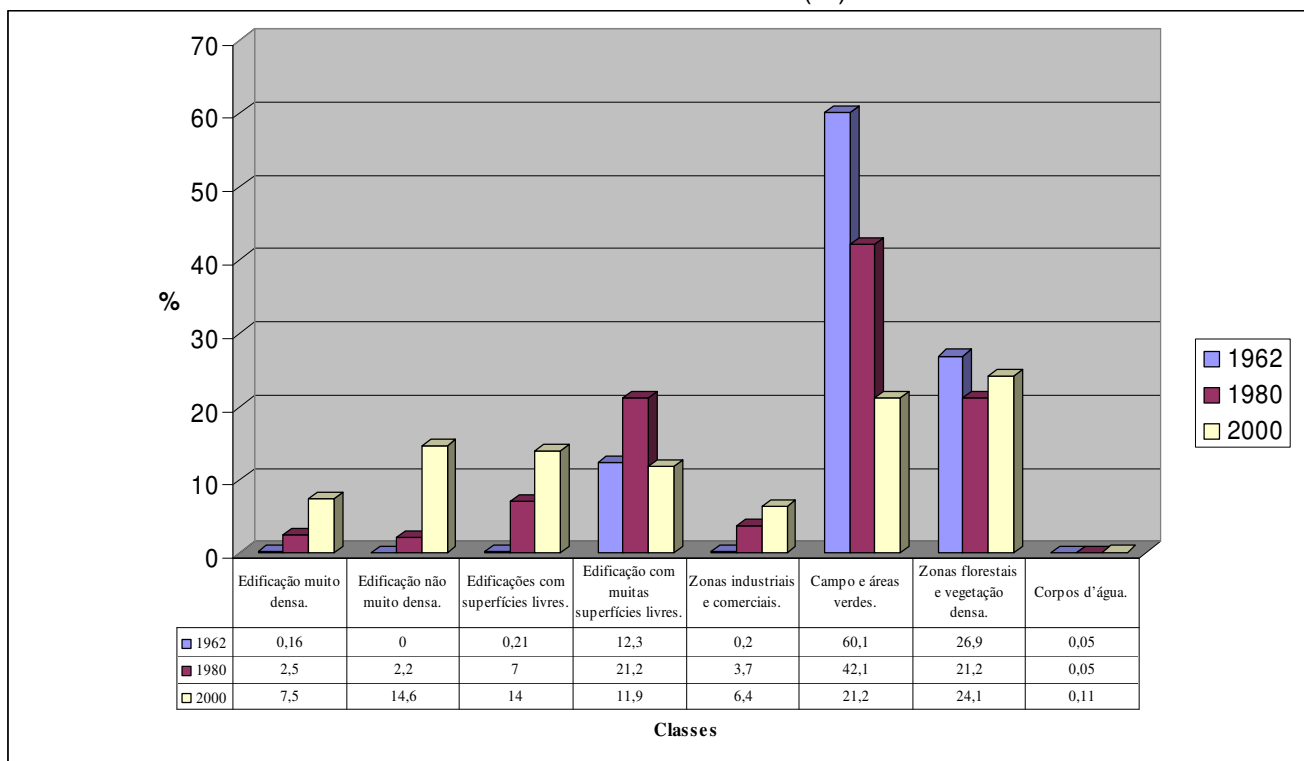
A classe de edificações não muito densas surge somente a partir de 1980, somando uma pequena área de 2,79 km², que representava 2,2% da área em estudo. Em 2000 essa classe aumentou acentuadamente, passando para 18,607km², ocupando 14,6% do total da área.

Na classe de edificações muito densas verifica-se um crescimento acelerado no decorrer dos anos analisados. Em 1962 esta classe ocupava somente 0,20 km²,

ou seja, 0,16%. Em 1980 aumenta para 3,17 km² com 2,5% e em 2000 para 9,56 km² com um total de 7,5% de toda a área analisada.

O gráfico da Figura 28 ilustra a percentagem de área de cada classe de cobertura superficial da bacia hidrográfica do rio Atuba e, sua respectiva evolução através dos anos de 1962, 1980 a 2000.

FIGURA 28 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DAS CLASSES DE COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA (%).



No gráfico da figura acima observa-se que a classe de campo e áreas verdes e a classe de zonas florestais e vegetação densa ainda são as duas classes que possuem a maior área em extensão territorial, ao longo dos anos analisados.

No entanto, deve-se salientar aqui o aumento das classes de edificações muito densas, zonas industriais e comerciais, edificações não muito densas e edificações com superfícies livres.

Dentro do perímetro da bacia hidrográfica do rio Atuba é verificada a presença de algumas áreas preservadas com espécies vegetais da Floresta Ombrófila Mista ou de florestas secundárias. Estas áreas encontram-se principalmente na região de

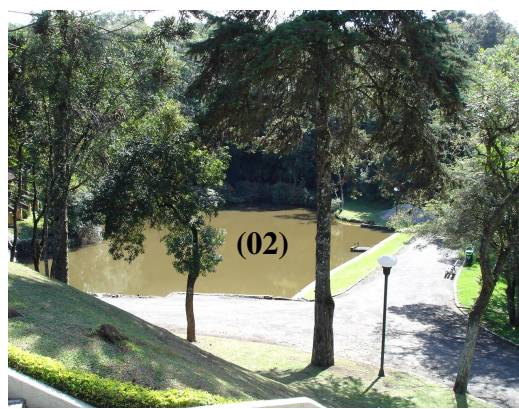
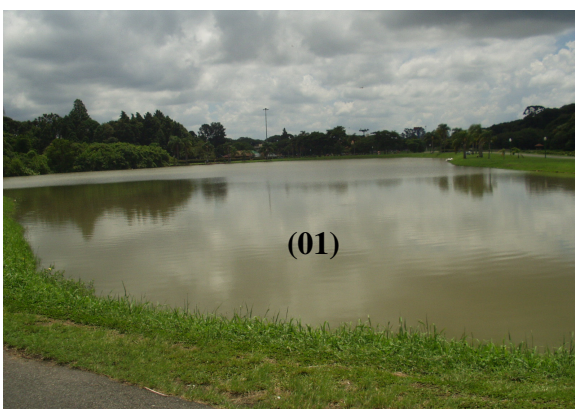
suas nascentes, e mais ao seu interior, em áreas de preservação natural como os parques municipais do Bacacheri, da Barreirinha e o Museu de História Natural do Capão da Imbuia. Apesar da existência destas áreas de preservação a bacia vem sofrendo um intenso processo de ocupação urbana, com forte urbanização na sua parte mais central e a jusante, e com densificação em direção a montante.

Existe uma preocupação da Prefeitura Municipal de Curitiba com a implementação de medidas estruturais que ajudem a minimizar os problemas de inundação. No Programa de Planejamento de Saneamento Ambiental, para o controle de cheias da região de Curitiba, foram efetuadas obras de retificação de alguns trechos do rio Atuba e Bacacheri além da construção de dutos de drenagem e da criação de parques lineares com lagos artificiais, que servem como bacias de amortecimento das águas pluviais (Figura 29).

FIGURA 29 - MEDIDAS ESTRUTURAIS PARA O CONTROLE DE CHEIAS NA REGIÃO DE CURITIBA



A) Exemplo de medidas intensivas - retificação do canal de drenagem do rio Bacacheri e sistema de dutos de drenagem artificial, que conduzem as águas pluviais até o leito do rio / Parque-Bacacheri (Bairro do Bacacheri).



B) Parque do Bacacheri (01) e Parque da Barreirinha (02) – lagoas artificiais que servem para o amortecimento das águas pluviais.

5.3. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (t_c)

O cálculo do tempo de concentração na bacia hidrográfica do rio Atuba foi realizado através da equação de GERMANO *et al.* (1998).

Os autores (*op. cit.*, 1998) estabeleceram uma relação entre o comprimento da bacia e as áreas impermeáveis, para determinar o tempo de concentração obtido através do ajuste destes parâmetros, utilizando o modelo IPH-II.

Para tal estudo, selecionaram parâmetros de 28 bacias urbanas das cidades de Porto Alegre, Joinville, São Paulo, Rio de Janeiro e Curitiba. Em Curitiba os dados selecionados foram referentes às bacias onde estão situadas as estações fluviométricas de Curitiba - Prado Velho no rio Belém e Autódromo no rio Atuba. A relação estabelecida pelos autores foi:

$$t_c = 18,628 \frac{L_{tal}^{0,882}}{IMP^{0,272}} \quad \text{equação (14)}$$

onde:

t_c = tempo de concentração em minutos;

L_{tal} = extensão do talvegue em quilômetros;

IMP = porcentagem de áreas impermeáveis na bacia.

De acordo com GERMANO *et al.* (1998), uma das limitações de sua fórmula é que a mesma foi elaborada com base em bacias de tamanho superior ao de aplicabilidade do Método Racional.

Na literatura técnico-científica são diversas as fórmulas apresentadas para o cálculo do tempo de concentração, tanto para áreas rurais como para áreas urbanas. A maioria destas fórmulas, principalmente as de aplicação em áreas urbanas, são elaboradas a partir de observações de bacias de micro escalas, tendo assim, uso restrito a estas áreas.

Apesar da fórmula elaborada por GERMANO *et al.* (1998) envolver poucos parâmetros em relação à maioria das fórmulas de cálculo de tempo de concentração

verificadas em SILVEIRA (2005), TUCCI *et al.* (1995) e SOUZA PINTO *et al.* (1976) a sua escolha teve como critério básico à seleção de uma fórmula que se adaptasse a bacias urbanas com áreas superiores ao tamanho de áreas recomendadas pelo Método Racional, além de ser a única que leva em conta o percentual de áreas impermeáveis, sendo desta forma, a mais adequada aos objetivos do trabalho.

Outro fator levado em consideração durante a sua seleção é que a fórmula de GERMANO *et al.* (1998) foi determinada a partir de bacias experimentais localizadas nas regiões sul e sudeste do país, sendo uma delas, a bacia do rio Atuba. Este fator vem a caracterizar melhor os aspectos fisiográficos da região em estudo.

Para possibilitar a realização da análise multitemporal do processo de impermeabilização do solo, o tempo de concentração (t_c) na bacia do rio Atuba foi determinado para quatro períodos distintos de desenvolvimento urbano, sendo eles:

- a) início da década de 60 (ano de 1962) quando a impermeabilização do solo ocupava apenas 4,5% da área total da bacia, estando esta quase que em seu estado natural;
- b) década de 80 (1980), início do processo de urbanização na bacia e intensificação da impermeabilização;
- c) ano 2000 período com nível de urbanização e impermeabilização do solo, próximo ao atual;
- d) cenário futuro, equivalente a uma projeção correspondente a um estágio de impermeabilização do solo para o ano de 2020.

A escolha das datas para o cálculo do tempo de concentração ocorreu em função das fotografias aéreas disponíveis para a região.

O uso da fórmula de GERMANO *et al.* (1998), possibilitou considerar a evolução das áreas impermeáveis entre os anos de 1962, 1980, 2000 e um cenário futuro.

A determinação dos parâmetros necessários à aplicação do modelo hidrológico de transformação de precipitação em vazão para o cenário futuro (ano de 2020), foi definida através da confecção gráfica dos dados existentes dos anos de

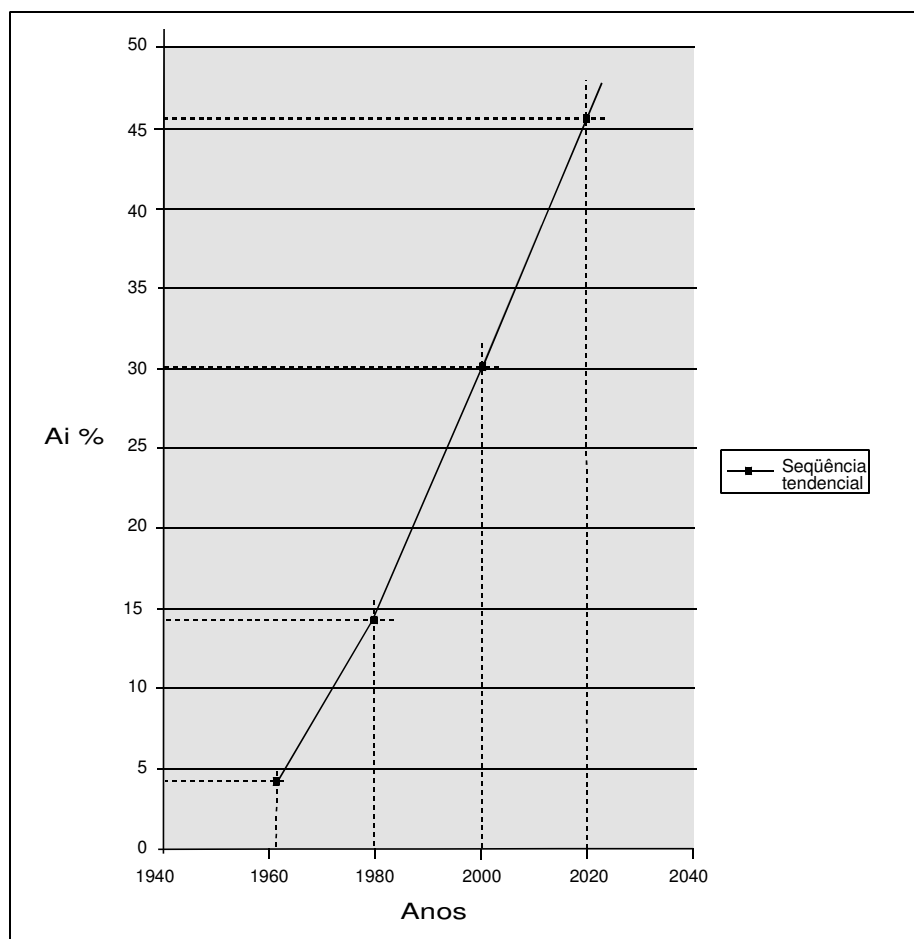
1962, 1980 e 2000, com a projeção da inflexão da curva de tendência desses dados, para o ano de 2020.

Como áreas impermeáveis (A_i) foram consideradas a somatória dos percentuais da impermeabilização de todas as classes temáticas de cobertura superficial do terreno, verificadas na Tabela 17. Os resultados calculados para os referidos anos analisados são apresentados na Tabela 18.

TABELA 18 - VALORES DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS ANOS DE 1962, 1980 E 2000.

Anos	A (área da bacia)	Ltal (extensão do talvegue)	A_i km ²	A_i %	t_c min	t_c h
1962	127,43	23,50 km	5,20	4,5	199,73	3,35
1980	127,43	23,50 km	18,48	14,5	145,70	2,43
2000	127,43	23,50 km	37,71	30,0	119,68	2,00
2020	127,43	23,50 km	57,98	45,5	106,95	1,45

FIGURA 30 - CURVA DE TENDÊNCIA DOS VALORES DE A_i



5.4. INTENSIDADE MÁXIMA DA CHUVA (i_m)

Várias são as equações que calculam a intensidade máxima da chuva para Curitiba e outras cidades do país. Neste trabalho, optou-se pela equação de chuvas intensas apresentada por FENDRICH (2003).

O autor elabora a equação de chuvas intensas através da relação de intensidade-duração-freqüência, baseada na análise dos registros pluviométricos observados na Estação Pluviométrica de Curitiba-Prado Velho, da série histórica de 1981 a 1999.

Utilizando-se de ajustes estatísticos determinou-se os valores de a, b, c e d para a região de Curitiba, obtendo a seguinte equação:

$$i_m = \frac{5.726,64.T_r^{0,159}}{(t_d + 41)^{1,041}} \quad \text{equação (15)}$$

onde:

i_m = intensidade máxima da chuva, em mm/h;

T_r = tempo de recorrência em anos;

t_d = tempo de duração da chuva, em min.

No trabalho foram selecionados quatro períodos de retorno diferentes para a aplicação da equação de chuvas intensas. Os valores da intensidade da chuva obtidos para os tempos de concentração determinados, e respectivos anos analisados, são apresentados na Tabela 19.

TABELA 19 - VALORES DA INTENSIDADE DA CHUVA (mm/h) PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.

Ano	Tempo de concentração (t _c) min.	Intensidade da chuva (mm/h)			
		Tempo de Retorno (Tr) em anos			
		5	10	15	20
1962	199,73	24,55	27,40	29,22	30,59
1980	145,70	31,97	35,70	38,07	39,86
2000	119,68	37,40	41,75	44,51	46,60
2020	106,95	40,75	45,48	48,51	50,78

5.5. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (C)

A estimativa do coeficiente de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba, ou seja, a determinação da chuva de projeto nela ocorrida, foi realizada pelo método do Soil Conservation Service (SCS), elaborado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América.

A metodologia do SCS é fundamentada em um parâmetro que busca descrever o tipo de uso do solo e a condição da superfície do terreno, em relação ao potencial de gerar escoamento superficial. Este parâmetro é representado pela sigla "CN" ('curve number' ou 'complex number'), tendo tradução em português de "curva número".

Segundo OSTA (1997) o valor de CN é compreendido entre zero e 100, sendo zero a representação de uma bacia de condutividade hidráulica infinita e 100 o valor correspondente a uma bacia totalmente impermeável. Para o autor é importante assinalar que o valor de CN não corresponde à percentagem de zonas impermeáveis da bacia.

A partir de dados de precipitação total e de precipitação efetiva em diversas bacias hidrográficas, o SCS estipulou valores de CN para vários tipos de solos utilizando-se das características superficiais do terreno e das condições de umidade antecedente do solo, tanto para áreas rurais como para as bacias urbanas a parcialmente urbanizadas (CHOW *et al.*, 1988).

Como é provável que as bacias apresentem regiões com valores de CN distintos, o valor global pode ser calculado pela ponderação dos diversos valores parciais de CN, feito em função das áreas a que cada um corresponde (OSTA, 1997).

Conforme o Manual de Fundamentos do Modelo IPHS1 (2004) e CHOW *et al.* (1988), o algoritmo do SCS está baseado na proporção:

$$\frac{(P - C)}{S} = \frac{C}{P} \quad \text{equação (16)}$$

onde:

P = precipitação acumulada, ou seja, a precipitação total de um evento considerado (mm);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

S = coeficiente de armazenamento superficial, por infiltração, que está relacionada com os parâmetros que caracterizam a superfície (CN), dado em (mm).

O método considera uma perda inicial de água igual à quantidade de precipitação que não produz escoamento no início da chuva de tormenta. Introduzindo a perda inicial (I_a) da precipitação acumulada (P) na equação anterior (Equação 16) e isolando (C) tem-se:

$$C = \frac{(P - I_a)^2}{(P - 0,8.S)} \quad \text{equação (17)}$$

No método do SCS o valor da perda inicial (I_a), é considerado como 20% das perdas potenciais máximas, sendo:

$$I_a = 0,2 * S \quad \text{equação (18)}$$

Substituindo a Equação (18) em (17), obtêm-se as seguintes relações:

$$C = 0 \quad \text{para } P < I_a \quad \text{e,} \quad C = \left[\frac{(P - 0,2.S)^2}{(P + 0,8.S)} \right] \frac{1}{P} \quad \text{para } P > I_a \quad \text{equação (19)}$$

Para determinar a capacidade máxima de infiltração da camada superficial do solo (valor de “S”), o método do SCS relaciona esse parâmetro com o fator de CN pela seguinte expressão:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{equação (20)}$$

A Equação 20 retrata as condições de cobertura superficial do terreno e do solo, variando desde superfície muito impermeável até superfície completamente permeável. Os valores de CN dependem das características físicas do solo, umidade antecedente do solo e da cobertura superficial do terreno.

Segundo TUCCI *et al.* (1995), a aplicação do método do SCS consiste nas seguintes etapas:

- 1ª) determinação do grupo hidrológico do solo;
- 2ª) escolha das condições de saturação do solo;
- 3ª) determinação de valores de CN para a condição de umidade do solo desejada e;
- 4ª) a determinação do escoamento superficial pela Equação (10).

O método do SCS distingue quatro grupos hidrológicos de solos e três condições de umidade antecedente, descritas a seguir:

Grupos Hidrológicos de Solos

- Grupo A – solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camada argilosa, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de humos é muito baixo, não atingindo 1%. Este grupo de solos apresenta baixo potencial de escoamento, alta taxa de infiltração quando completamente úmido.
- Grupo B – solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os teores de humos podem subir, respectivamente, a 1,2% e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m. Os solos do grupo B são solos com moderada taxa de infiltração quando completamente úmidos.
- Grupo C – solos argilosos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras, até profundidade de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade. Os solos do grupo C possuem baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos.
- Grupo D – solos argilosos, com 30% a 40% de argila total, com camada densificada a uns 50 cm de profundidade e quase impermeável. São solos com elevado potencial de escoamento e baixa taxa de infiltração.

Umidade Antecedente do Solo

- condição I – solos secos: as chuvas, nos últimos 5 dias, não ultrapassaram 15 mm;
- condição II – situação média na época das cheias: as chuvas, nos últimos 5 dias, totalizaram de 15 a 40 mm;
- condição III – solo úmido (próximo da saturação): as chuvas, nos últimos 5 dias, foram superiores a 40 mm.

Os últimos 5 dias considerados são os 5 dias antecedentes ao dia da precipitação máxima analisada.

Através de observações e das descrições das classes e umidades de solos mapeadas foram determinados os grupos hidrológicos de solos para a bacia hidrográfica em estudo, indicados na Tabela 20.

TABELA 20 - GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.

Classes	Características	Unidades	Material de origem	Área em km ²	Grupos hidrológicos
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO	textura argilosa, porosos, bem drenado.	LVa3	sedimento argiloso, arcósios e areias finas.	34,85	C
		LVa6	rochas dos Complexos Migmatíticos.	3,45	C
		LVa8	rochas dos Complexos Migmatíticos.	2,13	C
		LVa13	rochas do Grupo Açungui.	3,40	C
CAMBISSOLOS ÁLICOS	textura argilosa, porosos, moderado a bem drenado.	Ca2	rochas dos Complexos Migmatíticos.	30,64	C
		Ca5	transição ente rochas do Grupo Açungui e dos Complexos Migmatíticos.	13,04	C

CONTINUAÇÃO DA TABELA 20 - GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.

Classes	Características	Unidades	Material de origem	Área em km²	Grupos hidrológicos
CAMBISSOLOS ÁLICOS.	textura argilosa, porosos, moderado a bem drenado.	Ca37	rochas do Grupo Açungui.	1,25	C
TERRA ROXA ESTRUTURADA DISTRÓFICA.	textura argilosa, porosos, bem drenado.	TRd4	rochas dos Complexos Migmatíticos.	4,53	C
SOLOS HIDROMÓRFICOS GLEYZADOS.	textura argilosa, camada densificada, mal a muito mal drenados.	HG2	sedimentos aluvionais não consolidados.	6,16	D
SOLOS ORGÂNICOS ÁLICOS.	mal drenados.	HOa1	sedimentos colúvio aluviais do Quaternário.	29,47	D

5.5.1. DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE (CN)

Os valores de CN foram estimados a partir da utilização do módulo cálculo do “CN”, para bacias urbanas a parcialmente urbanizadas, contido no modelo hidrológico-hidrodinâmico IPHS1 para WINDONS versão 2.1, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS e Faculdade de Engenharia Agrícola – UFPel.

O modelo fornece o valor de CN para cada umidade antecedente dos solos, a partir da interpolação de características da cobertura superficial do terreno com cada grupo hidrológico de solos, considerados no método do SCS.

A Tabela 21 apresenta os valores de CN calculados para cada tipo de cobertura superficial do terreno, grupo hidrológico de solos e condições I, II e III de umidade antecedente na bacia hidrográfica do rio Atuba.

TABELA 21 - VALORES DE CN EM FUNÇÃO DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO, DO TIPO HIDROLÓGICO E CONDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.

Tipo de Cobertura Superficial do Terreno	Valor de CN					
	condição-I de umidade e grupo hidrológico de solos.		condição-II de umidade e grupo hidrológico de solos.		condição-III de umidade e grupo hidrológico de solos.	
	C	D	C	D	C	D
Edificações muito densas: em média 85% de áreas impermeáveis.	86,08	87,00	94,00	95,00	96,97	98,00
Edificações não muito densas: em média 65% de áreas impermeáveis.	78,00	84,25	90,00	92,00	95,39	96,36
Edificações com superfícies livres: em média 38% de áreas impermeáveis.	68,35	75,40	83,00	87,00	91,79	92,80
Edificações com muitas superfícies livres: em média 30% de áreas impermeáveis.	66,71	74,53	81,00	86,00	89,58	91,73
Zonas industriais e comerciais: em média 72% de áreas impermeáveis.	83,34	85,17	91,00	93,00	94,00	95,94
Campo e áreas verdes.	53,96	61,43	71,00	81,00	83,31	88,73
Zonas florestais e vegetação densa.	51,00	60,64	70,00	77,00	85,00	87,59

Como a bacia hidrográfica em estudo apresenta diversos tipos de solos e de ocupação, calcularam-se os valores dos CN médio para os três anos em análise, a partir da média ponderada dos diversos CNs correspondentes a cada área homogênea, formada por um dado grupo de solos e um determinado tipo de cobertura superficial do terreno (Tabela 22).

TABELA 22 - VALORES PONDERADOS DE CN PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.

Valor de CN			
Condição de umidade do solo	1962	1980	2000
I	57,00	61,52	66,27
II	73,20	76,50	80,57
III	86,00	87,72	89,82

Os valores ponderados dos CNs calculados para a condição II de umidade antecedente do solo, serão utilizados como número de deflúvio (valor de N) durante a determinação da precipitação excedente (Re).

5.5.2. DETERMINAÇÃO DOS VALORES DO COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO (S)

Através da Equação 20 que estipula a capacidade máxima de infiltração da camada superficial do solo foram calculados os valores do parâmetro “S” para cada tipo de cobertura superficial do terreno, grupo hidrológico de solos e condições de umidade antecedente, obtidos com base nos valores de CN indicados na Tabela 21. Os valores de “S” obtidos são verificados na Tabela 23.

TABELA 23 - VALORES DE “S” DADOS EM FUNÇÃO DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO, DO TIPO HIDROLÓGICO E CONDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO PARA A BACIA HIDROGRAFIA DO RIO ATUBA.

Tipo de Cobertura Superficial do Terreno	Valores de “S” em (mm)					
	condição-I de umidade e grupo hidrológico de solos.		condição-II de umidade e grupo hidrológico de solos.		condição-III de umidade e grupo hidrológico de solos.	
	C	D	C	D	C	D
Edificações muito densas: em média 85% de áreas impermeáveis.	41,07	37,95	16,21	13,37	7,9	5,18
Edificações não muito densas: em média 65% de áreas impermeáveis.	71,64	47,48	28,22	22,08	12,27	9,59
Edificações com superfícies livres: em média 38% de áreas impermeáveis.	117,61	82,87	52,02	37,95	22,72	19,70
Edificações com muitas superfícies livres: em média 30% de áreas impermeáveis.	126,75	86,80	59,58	41,35	28,88	22,90
Zonas industriais e comerciais: em média 72% de áreas impermeáveis.	50,77	44,22	25,12	19,12	16,21	10,75
Campo e áreas verdes.	216,72	159,48	103,74	71,64	50,88	32,26
Zonas florestais e vegetação densa.	244,04	164,65	108,86	75,87	44,82	35,98

Como a bacia apresenta regiões com valores de “S” distintos em função dos tipos de cobertura superficial do terreno e dos grupos hidrológicos de solos, esses valores foram mapeados (Figuras 31, 32, 33) para possibilitar o cálculo da área que cada valor de “S” corresponde dentro do perímetro da bacia. As áreas totais de cada tipo de cobertura superficial do terreno combinadas aos grupos hidrológicos de solos (valores de “S”), estão apresentadas na Tabela 24.

FIGURA 31 - ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL (1962).

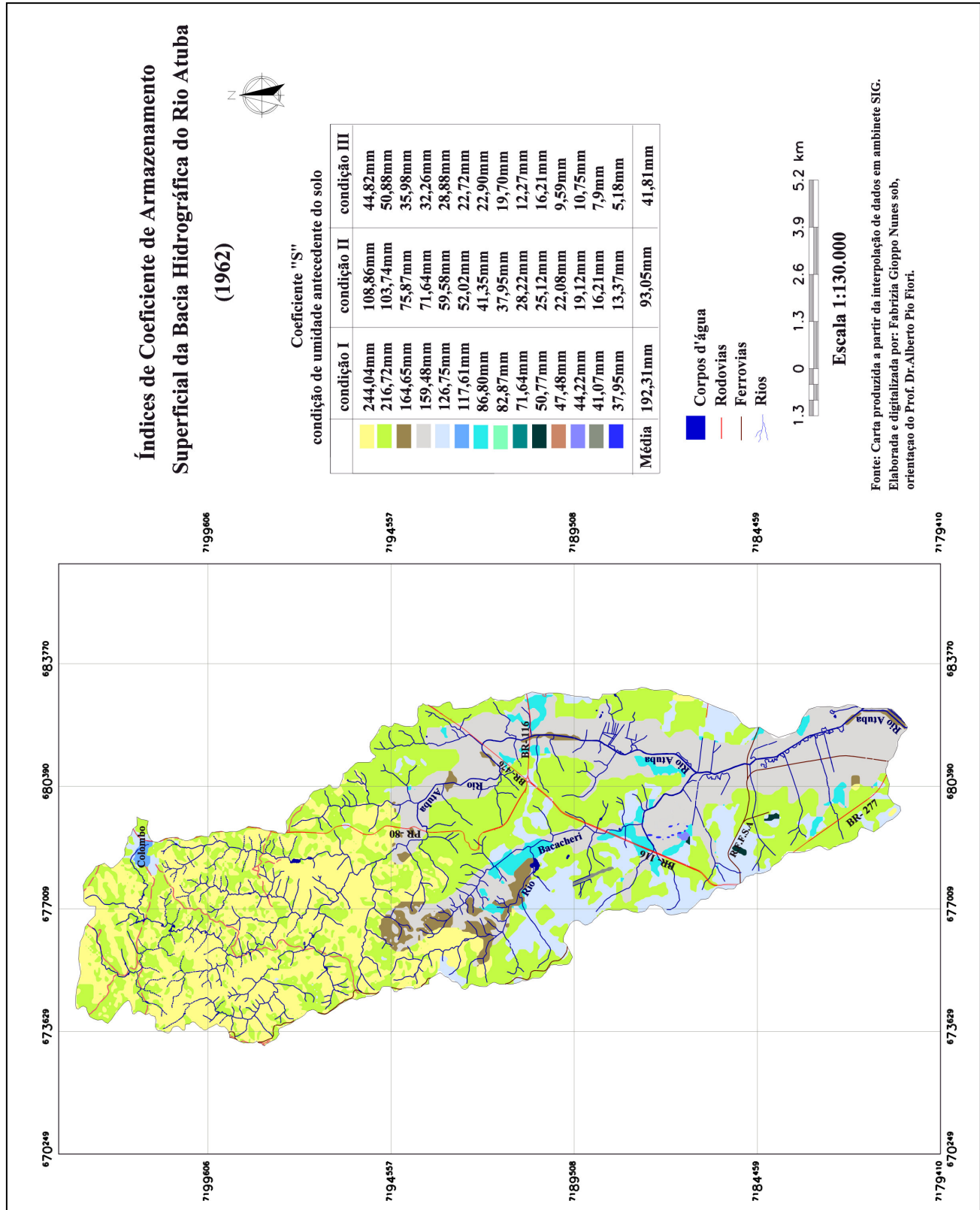


FIGURA 32 - ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL (1980).

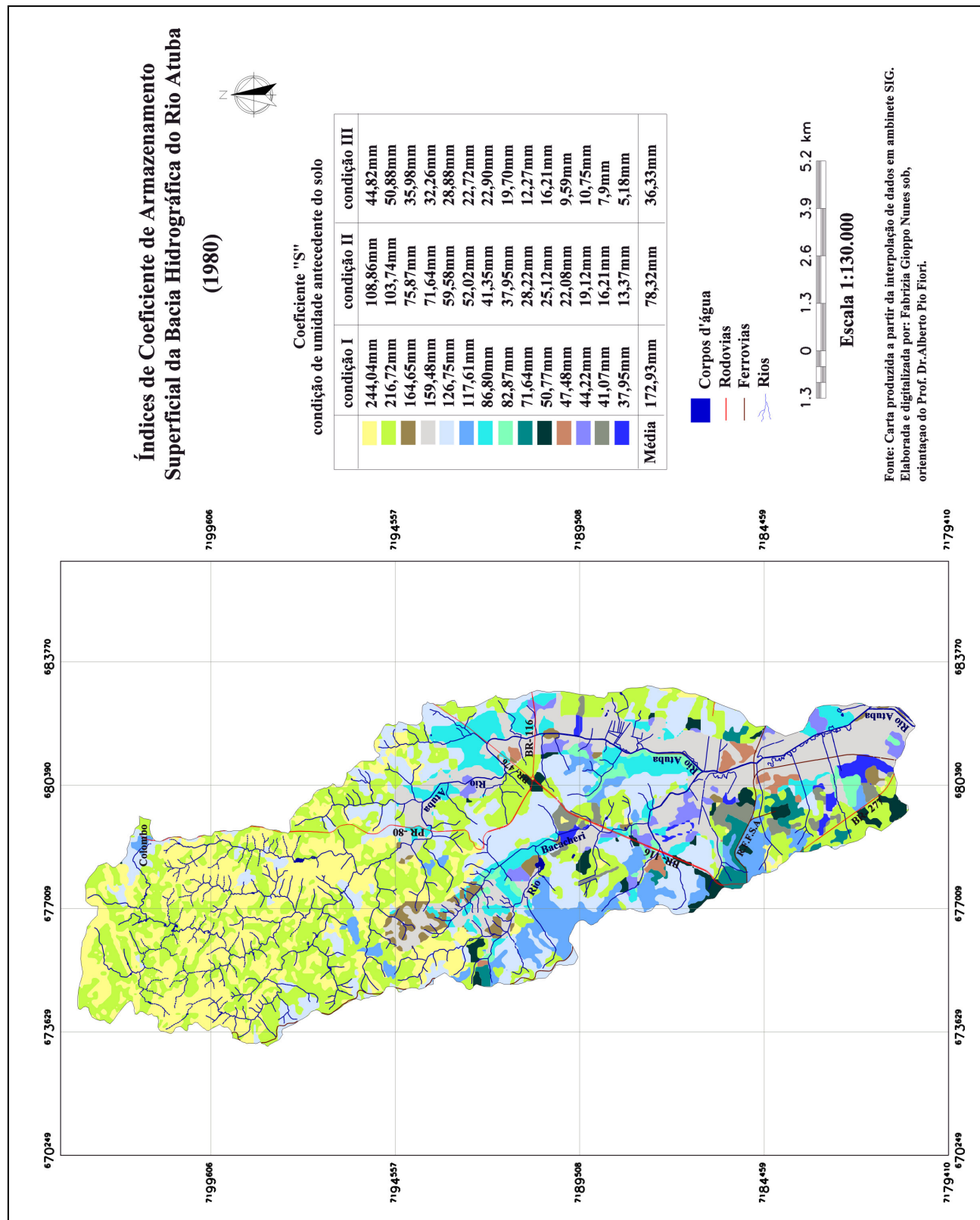


FIGURA 33 - ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO SUPERFICIAL (2000).

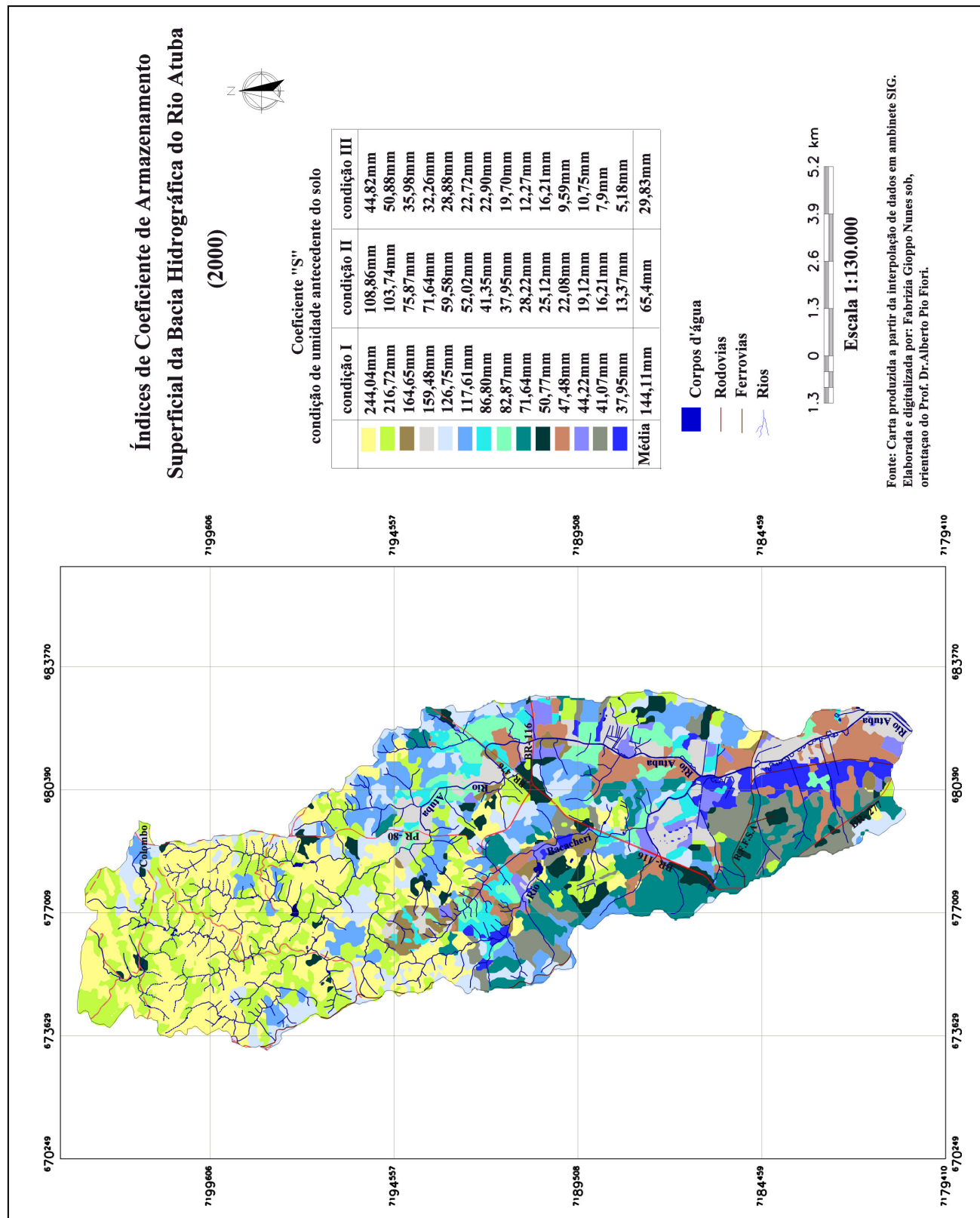


TABELA 24 - RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE “S” E O PERCENTUAL DE ÁREAS OCUPADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.

Tipo de Cobertura Superficial do Terreno	Valor de “S” em (mm)			Área em (km ²) /Ano		
	condição-I de umidade.	condição-II de umidade.	condição-III de umidade.	1962	1980	2000
Edificações muito densas: em média 85% de áreas impermeáveis + solos do tipo D.	37,95	13,37	5,18	0,05	1,26	3,88
Edificações muito densas: em média 85% de áreas impermeáveis + solos do tipo C.	41,07	16,21	7,9	0,11	1,80	5,55
Zonas industriais e comerciais: em média 72% de áreas impermeáveis + solos do tipo D.	44,22	19,12	10,75	0,12	2,35	3,26
Edificações não muito densas: em média 65% de áreas impermeáveis + solos do tipo D.	47,48	22,08	13,61	0,00	1,03	7,46
Zonas industriais e comerciais: em média 72% de áreas impermeáveis + solos do tipo C.	50,77	25,12	16,21	0,14	2,36	4,88
Edificações não muito densas: em média 65% de áreas impermeáveis + solos do tipo C.	71,64	28,22	10,58	0,00	1,95	11,27
Edificações com superfícies livres: em média 38% de áreas impermeáveis + solos do tipo D.	82,87	37,95	19,70	0,00	2,08	5,33
Edificações com muitas superfícies livres: em média 30% de áreas impermeáveis + solos do tipo D.	86,80	41,35	22,90	3,61	7,64	3,78
Edificações com superfícies livres: em média 38% de áreas impermeáveis + solos do tipo C.	117,61	52,02	22,72	0,27	6,75	12,38
Edificações com muitas superfícies livres: em média 30% de áreas impermeáveis + solos do tipo C.	126,75	59,58	28,88	12,00	19,45	11,41
Campo e áreas verdes + solos do tipo D.	159,48	71,64	32,26	28,40	19,00	8,13
Zonas florestais e vegetação densa + solos do tipo D.	164,65	75,87	35,98	3,27	1,71	3,19
Campo e áreas verdes + solos do tipo C.	216,72	103,74	50,88	47,91	34,24	19,23
Zonas florestais e vegetação densa + solos do tipo C.	244,04	108,86	44,82	31,55	25,5	27,76
Corpos d’água.	-----	-----	-----	0,06	0,06	0,14

5.5.3. DETERMINAÇÃO DA PERDA INICIAL DA PRECIPITAÇÃO (I_a)

Tendo em vista que o valor da perda inicial da chuva é igual a 20% da precipitação total, como considerado no método do SCS, calculou-se através da Equação 18 os valores da perda inicial (I_a) para a bacia do rio Atuba de acordo com cada grupo hidrológico de solos identificados e umidades antecedentes (Tabela 25).

TABELA 25 - VALORES DE I_a (mm) DADOS EM FUNÇÃO DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO, DO TIPO HIDROLÓGICO E CONDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO.

Tipo de Cobertura Superficial do Terreno	Valores de I_a em (mm)					
	condição-I de umidade e grupo hidrológico de solos.		condição-II de umidade e grupo hidrológico de solos.		condição-III de umidade e grupo hidrológico de solos.	
	C	D	C	D	C	D
Edificações muito densas: em média 85% de áreas impermeáveis.	8,21	7,59	3,24	2,6	1,6	1,03
Edificações não muito densas: em média 65% de áreas impermeáveis.	14,32	9,49	5,64	4,4	2,45	1,92
Edificações com superfícies livres: em média 38% de áreas impermeáveis.	23,52	16,57	10,40	7,6	4,54	3,94
Edificações com muitas superfícies livres: em média 30% de áreas impermeáveis.	25,35	17,36	11,91	8,27	5,77	4,58
Zonas industriais e comerciais: em média 72% de áreas impermeáveis.	10,15	8,84	5,02	3,82	3,24	2,15
Campo e áreas verdes.	43,34	31,89	20,74	14,33	10,17	6,45

5.5.4. DETERMINAÇÃO DOS VALORES DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (C)

Os valores do coeficiente de escoamento superficial (coeficiente "C") foram determinados com base na relação $C = 0$ para $P < I_a$ e na Equação 19 para $P > I_a$.

Para a determinação das precipitações totais requeridas no emprego da equação mencionada acima foram utilizados registros de precipitação severas e, destas, realizadas as médias sobre a área da bacia conforme a ponderação de observações pontuais deferidas de estações meteorológicas circunvizinhas.

5.5.4.1. PROCEDIMENTO DE SELEÇÃO DO EVENTO PLUVIOMÉTRICO CONSIDERADO (P)

Através de um banco de dados hidrometeorológicos fornecido pela SUDERHSA, foram verificadas todas as precipitações totais máximas diárias anuais registradas em uma série histórica, que se estende entre o período de 1989 a 2004.

Das precipitações máximas diárias anuais verificadas foram selecionadas somente as chuvas causadoras de tormentas severas, contidas nos registros de inundações da região.

Posteriormente, sobre estas tormentas, foi somada a precipitação total dos cinco dias anteriores ao dia da maior precipitação, para a análise das condições de umidade antecedentes do solo, conforme propõe o Método do SCS.

Por fim, realizou-se o cálculo da precipitação média na área da bacia para cada uma das tormentas severas selecionadas, através do Método do Polígono de Thiessen. O Método do Polígono de Thiessen consiste em atribuir um fator de ponderação aos totais precipitados em cada pluviômetro das estações circunvizinhas à área de estudo, proporcional à área de influência de cada uma. As áreas de influência (pesos) foram determinadas sobre o mapa da bacia hidrográfica do rio Atuba contendo as localizações de cada uma das estações circunvizinhas (Figura 34).

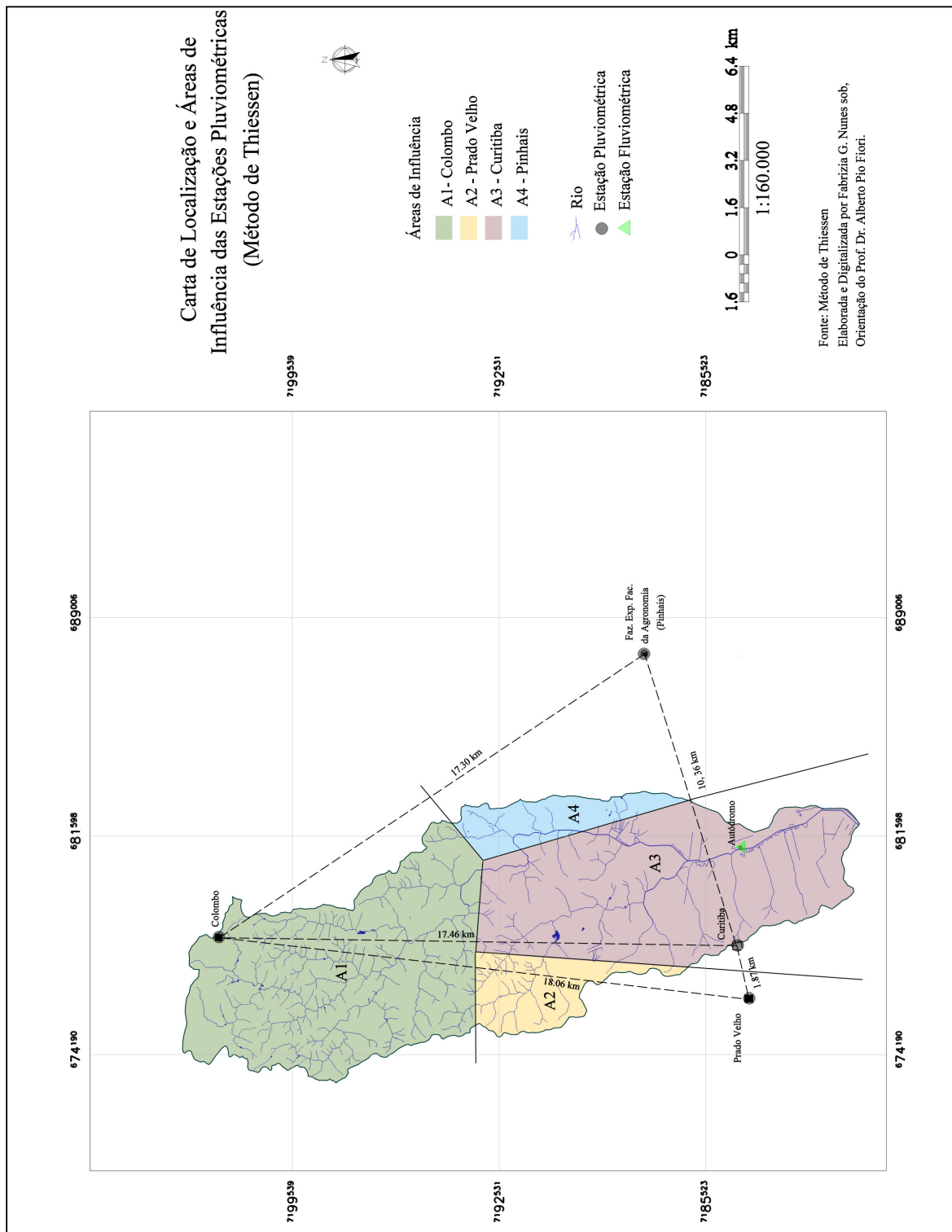
A determinação das tormentas severas em Curitiba e Região Metropolitana tiveram por base os registros descritos por LIMA (2000) e SEPL e PROSAM (1996).

As estações circunvizinhas com suas áreas de influência utilizadas no cálculo do Método do Polígono de Thiessen são descritas na Tabela 26.

TABELA 26 - ESTAÇÕES UTILIZADAS NO CÁLCULO DO MÉTODO DO POLÍGONO DE THIESSEN.

Estação	Código	Município	Localização	Data de instalação	Área de influência km ²
Colombo	02549090	Colombo	lat. 25° 17' 15" log. 49° 13' 50"	01/05/1987	55,96
Faz. Exp. Fac. Agronomia	02549041	Pinhais	lat. 25° 25' 00" log. 49° 07' 59"	01/02/1970	8,63
Curitiba	02549002	Curitiba	lat. 25° 26' 45" log. 49° 13' 51"	/06/1941	52,58
Curitiba - Prado Velho	02549075	Curitiba	lat. 25° 27' 00" log. 49° 14' 56"	25/03/1981	10,25

Figura 34 - LOCALIZAÇÃO E ÁREAS DE INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS (MÉTODO DE THIESSEN).



No método do Polígono de Thiessen a precipitação média na bacia é calculada pela média ponderada entre a precipitação (P_i) de cada estação e o peso a ela atribuído (A_i) que é a área de influência de P_i , ou seja:

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot A_{ip})}{\sum_{i=1}^n A_{ip}} \quad \text{equação (21)}$$

onde:

P_m - precipitação média da bacia considerada, em mm;

P_i - precipitação em cada estação, em mm;

A_{ip} - área de influência de P_i , em km².

As precipitações pluviais máximas diárias anuais dos cinco dias anteriores aos eventos selecionados, as precipitações dos eventos selecionados somada as precipitações dos cinco dias anteriores e, a precipitação do dia dos eventos escolhidos, com suas respectivas médias, calculadas na área da bacia do rio Atuba são ilustradas nas Tabelas 27, 28 e 29.

TABELA 27 - PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS EM (mm) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS 5 DIAS ANTERIORES AOS EVENTOS ESCOLHIDOS.

Período de 5 dias anteriores aos eventos escolhidos.	Curitiba	Colombo	Faz. Exp. Fac. Agronomia (Pinhais)	Curitiba - Prado Velho	Média da bacia do rio Atuba	Condição de umidade do solo
17 a 21 de setembro de 1993.	75,0	140,2	106,4	78,7	106,05	III
3 a 7 de janeiro de 1995.	45,0	112,0	120,9	45,5	78,36	III
24 a 28 de setembro de 1998.	55,0	42,0	40,8	63,0	48,97	III
17 a 21 de fevereiro de 1999.	25,6	109,9	28,8	32	63,35	III
27 de setembro a 1 de outubro 2001.	17,0	44,4	73,8	66,6	36,86	II

* Tabela elaborada a partir de dados fornecidos pela SUDERHSA.

TABELA 28 - PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS EM (mm) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS EVENTOS ESCOLHIDOS.

Dias dos eventos escolhidos. (total de 24 h).	Curitiba	Colombo	Faz. Exp. Fac. Agronomia (Pinhais)	Curitiba - Prado Velho	Média da bacia do rio Atuba
21-22 de setembro de 1993.	55,0	26,7	25,7	53,7	40,48
7-8 de janeiro de 1995.	115,0	77,1	102,0	113,8	98,6
28-29 de setembro de 1998.	89,0	42,6	57,0	88,4	79,57
21-22 de fevereiro de 1999.	143,8	11,2	5,6	112,8	73,7
01-02 de outubro 2001.	101,4	55,0	117,2	70	79,57

* Tabela elaborada a partir de dados fornecidos pela SUDERHSA.

TABELA 29 - PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS EM (mm) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA DOS EVENTOS ESCOLHIDOS SOMADA AS PRECIPITAÇÕES DOS 5 DIAS ANTERIORES.

Eventos escolhidos + as chuvas dos 5 dias anteriores aos eventos.	Curitiba	Colombo	Faz. Exp. Fac. Agronomia (Pinhais)	Curitiba - Prado Velho	Média da bacia do rio Atuba
17 a 22 de setembro de 1993.	130,0	166,9	132,1	132,4	146,53
3 a 8 de janeiro de 1995.	160,0	189,1	222,9	159,3	176,96
24 a 29 de setembro de 1998.	144,0	114,6	97,8	151,4	128,54
17 a 22 de fevereiro de 1999.	169,4	121,1	34,4	144,8	137,05
27 de setembro a 2 de outubro 2001.	118,4	99,4	191,0	136,6	116,43

* Tabela elaborada a partir de dados fornecidos pela SUDERHSA.

5.5.4.2. RESULTADOS DOS VALORES DE “C” OBTIDOS PELO MÉTODO DO SCS

Partindo do princípio que a cobertura superficial de uma bacia hidrográfica não é homogênea como considera o Método Racional (no seu modelo original) para um melhor aperfeiçoamento do mesmo, foi conveniente, durante o trabalho, calcular o coeficiente de escoamento superficial (valor de C) para cada tipo de cobertura superficial do terreno e grupo hidrológico de solos.

Os valores de “C” utilizados durante a fase de simulação dos picos de vazão de cheias foram calculados para a chuva acumulada de 176,96 mm, por ser esta a maior tormenta severa observada nos registros pluviométricos analisados (Tabela 29).

Como resultado desta etapa obteve-se a Tabela 30 contendo os valores de “C”, e tendo como precipitação acumulada, ou seja, valor de “P” igual a 176,96 mm extraído da Tabela 29.

TABELA 30 - VALORES DE “C” DADOS EM FUNÇÃO DA COBERTURA SUPERFICIAL DO TERRENO, DO TIPO HIDROLÓGICO E CONDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO PARA A CHUVA DE 176,96 MM E DURAÇÃO DE 6 DIAS.

Tipo de Cobertura Superficial do Terreno	Valores de “C”					
	condição-I de umidade e grupo hidrológico de solos.		condição-II de umidade e grupo hidrológico de solos.		condição-III de umidade e grupo hidrológico de solos.	
	C	D	C	D	C	D
Edificações muito densas: em média 85% de áreas impermeáveis.	0,77	0,78	0,90	0,91	0,95	0,97
Edificações não muito densas: em média 65% de áreas impermeáveis.	0,64	0,74	0,83	0,86	0,92	0,94
Edificações com superfícies livres: em média 38% de áreas impermeáveis.	0,49	0,60	0,72	0,78	0,86	0,88
Edificação com muitas superfícies livres: em média 30% de áreas impermeáveis.	0,47	0,58	0,69	0,77	0,83	0,86
Zonas industriais e comerciais: em média 72% de áreas impermeáveis.	0,72	0,75	0,85	0,88	0,90	0,93
Campo e áreas verdes.	0,29	0,39	0,53	0,64	0,72	0,81
Zonas florestais e vegetação densa.	0,25	0,38	0,52	0,62	0,75	0,79

Como a precipitação de 176,96 mm possui valor superior às perdas iniciais de 20% estipulada no Método do SCS (valores verificados na Tabela 25), todos os valores do coeficiente “C” representados na tabela acima foram estimados a partir da Equação 19.

5.5.5. DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE RETARDO (φ) POR EFEITO DA DECLIVIDADE

Conforme SOUZA PINTO *et al.* (1976) o coeficiente de retardo que reflete o armazenamento de água na bacia hidrográfica, em função da declividade do terreno, pode ser avaliado por:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[3]{10.Lb}} \quad \text{equação (22)}$$

onde:

φ = coeficiente de retardo, que reflete os efeitos de armazenamento da declividade, valor adimensional;

Lb = comprimento da bacia, em km;

n = coeficiente em função da declividade da bacia.

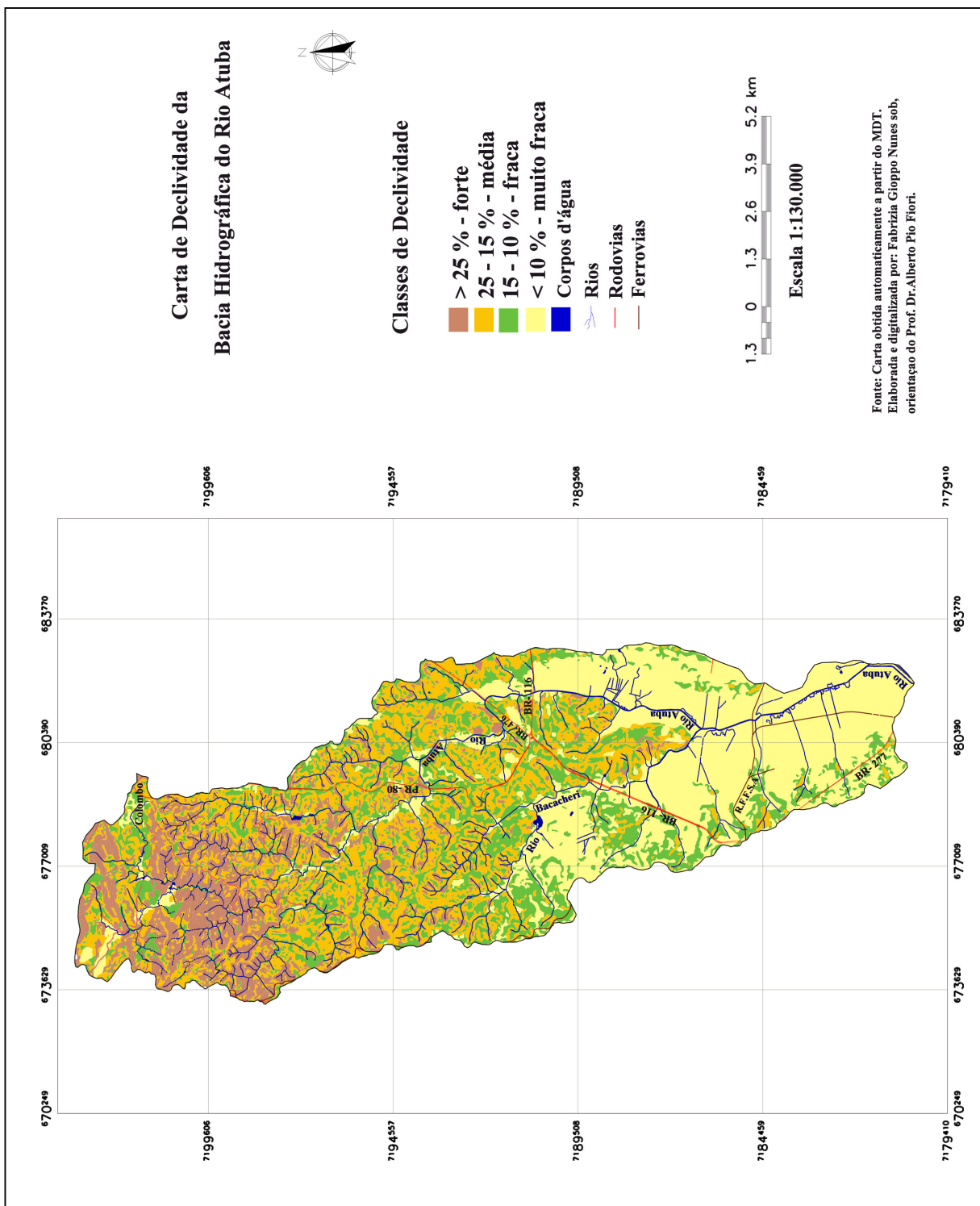
Apesar de SOUZA PINTO *et al.* (1976) em seus estudos não explicarem, entretanto, a razão dos valores de “n” apresentados e nem os intervalos considerados para as declividades fortes, médias e fracas. Durante o trabalho foram assumidos os valores de “n” indicados pelos autores e distribuídos entre as classes de declividades a partir de um melhor ajuste das mesmas (Tabela 31).

Na Tabela 31 são apresentados também os valores de “ φ ” calculados neste trabalho pela Equação 22, utilizando-se das declividades do terreno, mapeadas para a bacia do rio Atuba (Figura 35).

TABELA 31 - VALORES DE “n” E “ φ ” PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.

Tipo de declividade	%	Valor de “n”	Ltal (km)	Valor de “ φ ”
Forte	>25%	3,5	23,87	0,21
Média	25 a 15%	3		0,16
Fraca	15 a 10%	2,5		0,11
Muito Fraca	< 10 %	2,5		0,11

FIGURA 35 - DECLIVIDADE DA ÁREA DE ESTUDO – BACIA DO RIO ATUBA.



Após a realização dos cálculos de “ ϕ ” foram embutidos nos coeficientes “C” os valores de “ ϕ ” encontrados para cada tipo de declividade do terreno, obtendo-se assim, novos valores de escoamento superficial do terreno para a tormenta severa analisada, em condição - III de umidade antecedente do solo (Tabela 32). Os novos valores de “ $\phi.C$ ” corrigidos em função da declividade foram denominados como coeficiente de escoamento superficial real “ C_r ”.

TABELA 32 - VALORES DE “ C_r ” PARA A TORMENTA SEVERA SELECIONADA E DURAÇÃO DE 6 DIAS.

Tipo de Cobertura Superficial do Terreno	Valores de “ C_r ” para condição-III de umidade antecedente do solo					
	declividades fortes		declividades médias		declividades fracas	
	C	D	C	D	C	D
Edificações muito densas: em média 85% de áreas impermeáveis.	0,20	0,20	0,15	0,15	0,11	0,11
Edificações não muito densas: em média 65% de áreas impermeáveis.	0,19	0,20	0,14	0,15	0,10	0,11
Edificações com superfícies livres: em média 38% de áreas impermeáveis.	0,18	0,18	0,14	0,14	0,09	0,10
Edificação com muitas superfícies livres: em média 30% de áreas impermeáveis.	0,17	0,18	0,13	0,14	0,09	0,09
Zonas industriais e comerciais: em média 72% de áreas impermeáveis.	0,18	0,19	0,14	0,15	0,10	0,10
Campo e áreas verdes.	0,15	0,16	0,11	0,13	0,08	0,09
Zonas florestais e vegetação densa.	0,15	0,16	0,11	0,13	0,08	0,08

Para a aplicação da Equação Racional adotou-se um único coeficiente de escoamento superficial real, composto pela média ponderada dos diversos valores de “ C_r ” encontrados para cada grupo de áreas distintas dos anos de 1962, 1980 e 2000 em função dos grupos de solos, declividade e cobertura superficial do terreno.

Os diversos valores de “ C_r ” foram mapeados para cada ano analisado (Figuras 36, 37 e 38) e destes, extraídas as suas áreas correspondentes na bacia hidrográfica do rio Atuba (Tabela 33), para a aplicação da Equação 23 que fornece a média ponderada dos valores dos coeficientes de “ C_r ” descrita a seguir.

$$\phi.C_m = \frac{\sum (C_{r_{pd}} \times A_{pd})}{\sum A_{pd}} \quad \text{equação (23)}$$

onde:

C_{r_m} = valor de “ $\phi.C$ ” médio da bacia;

$C_{r_{pd}}$ = coeficiente de escoamento real, para cada parcela de áreas distintas na bacia;

A_{pd} = área de cada parcela distinta, da bacia.

FIGURA 36 - ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (1962).

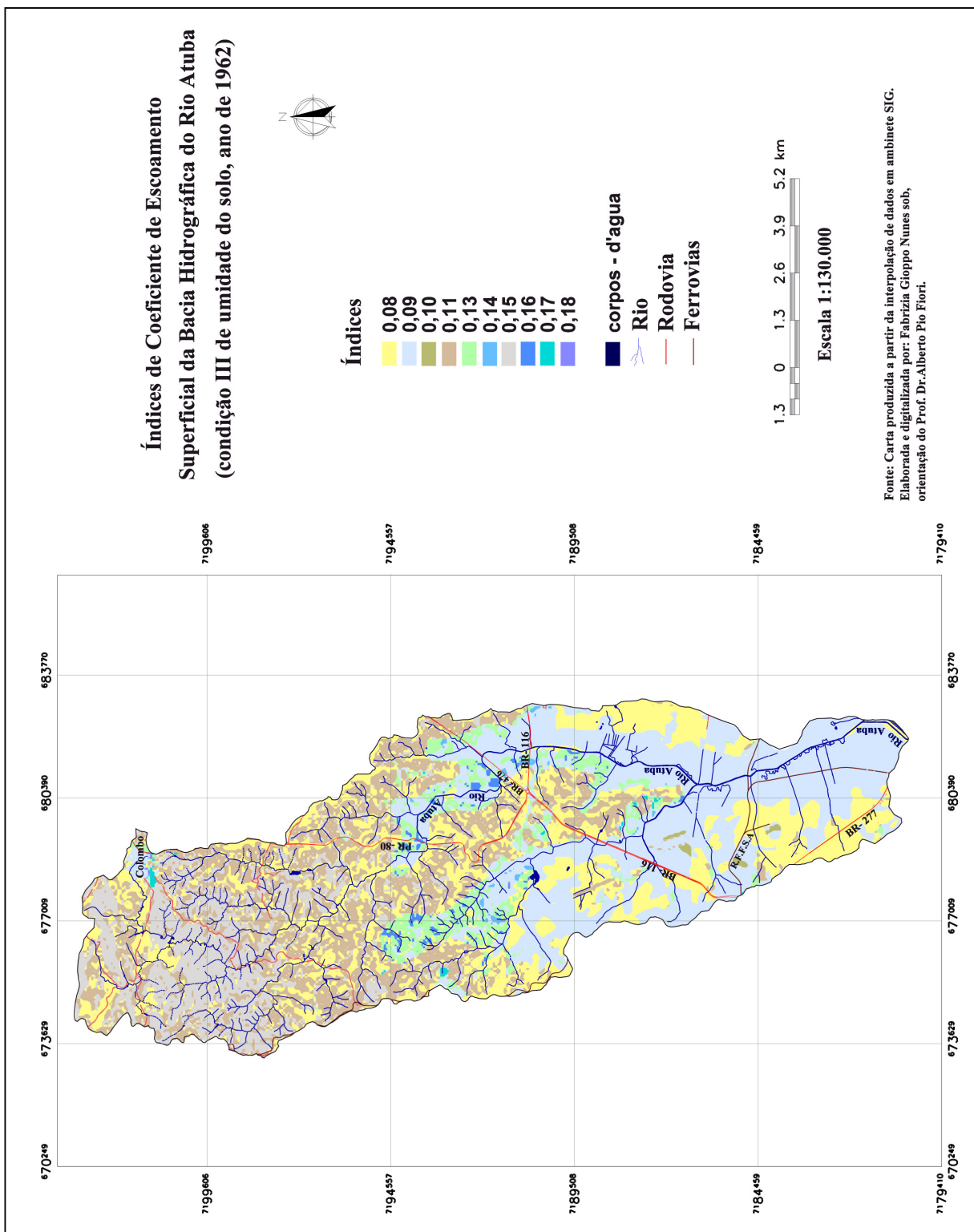


FIGURA 37 - ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (1980).

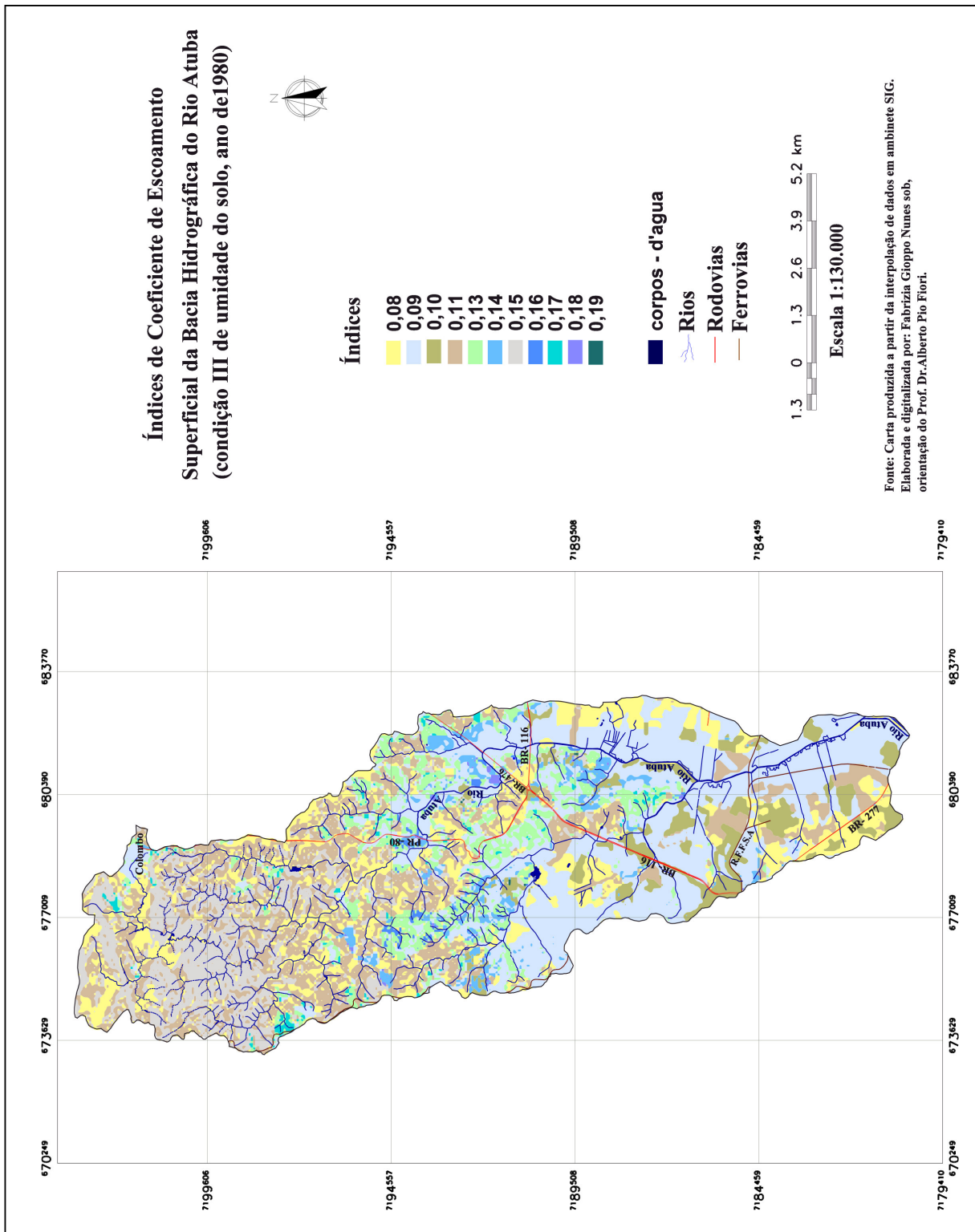


FIGURA 38 - ÍNDICES DE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (2000).

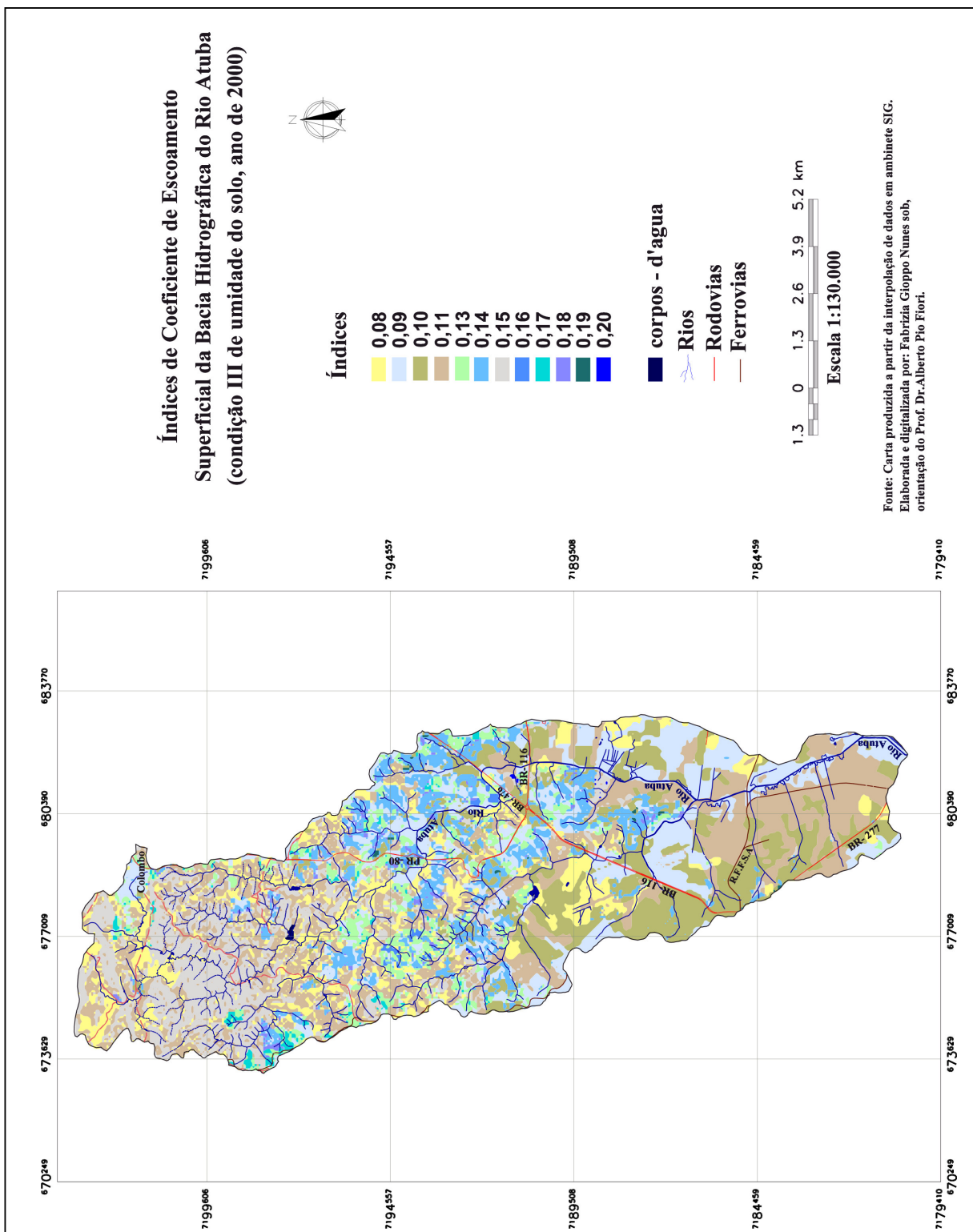


TABELA 33 - RELAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTES “Cr” E O PERCENTUAL DE ÁREAS OCUPADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA.

Valores de “Cr” para condição III de umidade antecedente.	Área de cada parcela distinta em km ² / Anos			
	1962	1980	2000	2020
0,08	33,94	20,63	14,52	10,5
0,09	37,59	38,49	19,31	0,0
0,10	0,26	7,77	18,6	26,5
0,11	29,91	26,66	32,62	39,4
0,13	6,85	10,12	6,78	0,9
0,14	0,39	3,68	10,84	17,17
0,15	16,92	16,5	16,73	17,6
0,16	0,83	0,64	1,59	3,65
0,17	0,21	1,02	2,12	3,4
0,18	0,03	1,29	2,03	2,30
0,19	0	0,13	1,14	3,0
0,20	0	0,0	1,04	2,9
Corpos d' água	0,5	0,5	0,11	0,11
Valor de “Cr _m ” calculado	0,100	0,110	0,120	0,125

* Valores estimados a partir das cartas das figuras 36, 37 e 38 e da Equação 22.

O prognóstico do coeficiente “Cr” para o ano de 2020 foi determinado através da confecção gráfica dos dados das áreas dos “Cr” de 1962, 1980 e 2000 de cada valor encontrado na Tabela 33. Cada gráfico foi elaborado a partir da projeção da inflexão da linha de tendência polinomial, no Microsoft Excel, de seus valores para o ano de 2020 (Figuras 39, 40 e 41).

FIGURA 39 - GRÁFICOS DA CURVA DE TENDÊNCIA DOS COEFICIENTES “Cr” AO LONGO DOS ANOS ANALISADOS (A).

Gráfico da curva tendencial de Cr 0,08

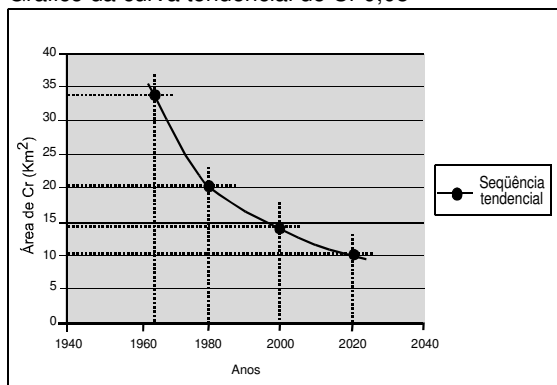


Gráfico da curva tendencial de Cr 0,09

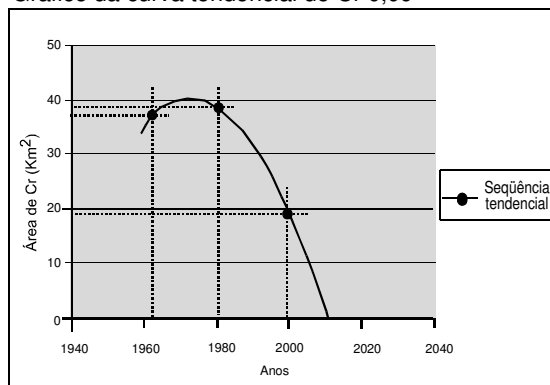


FIGURA 40 - GRÁFICOS DA CURVA DE TENDÊNCIA DOS COEFICIENTES “Cr” AO LONGO DOS ANOS ANALISADOS (B).

Gráfico da curva tendencial de Cr 0,10

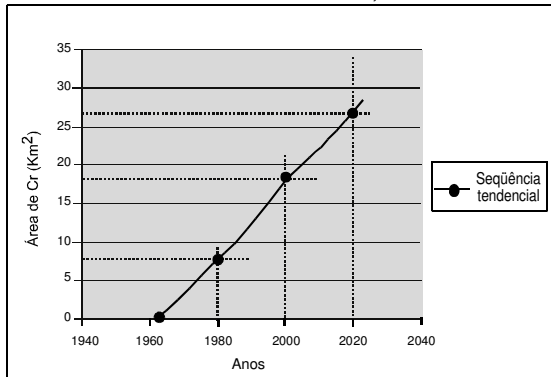


Gráfico da curva tendencial de Cr 0,11

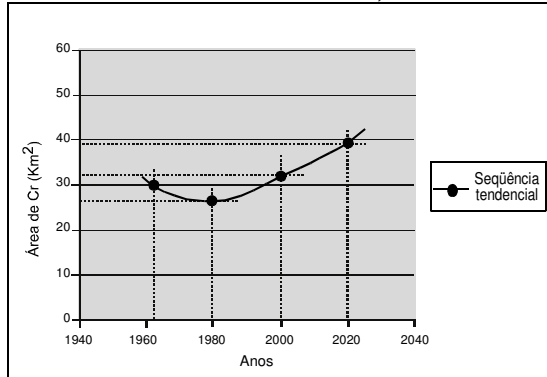


Gráfico da curva tendencial de Cr 0,13

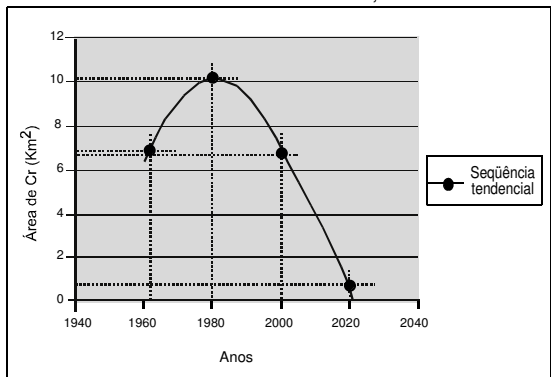


Gráfico da curva tendencial de Cr 0,14

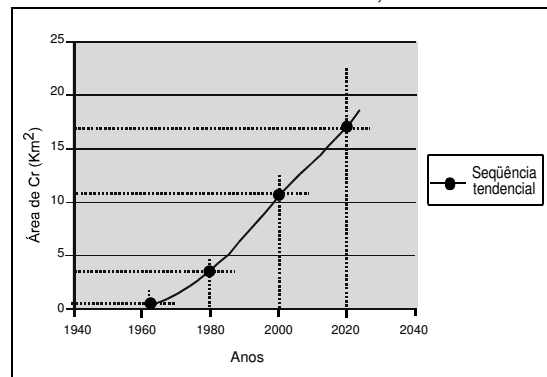


Gráfico da curva tendencial de Cr 0,15

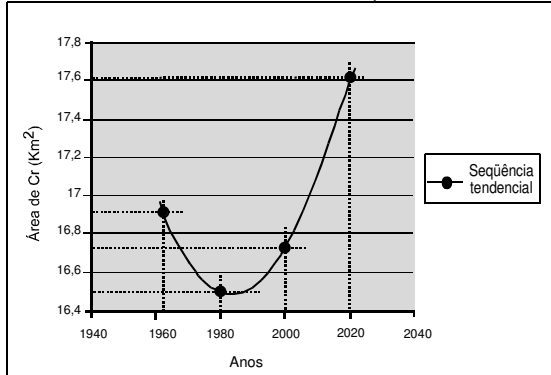


Gráfico da curva tendencial de Cr 0,16

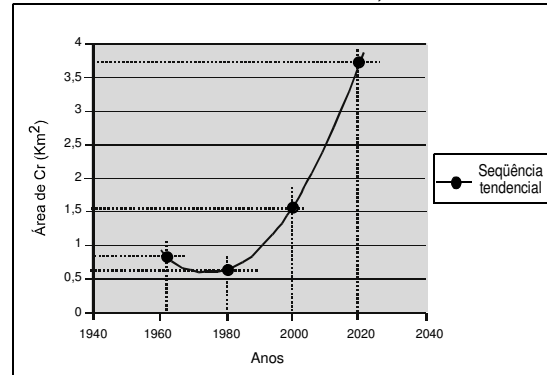


FIGURA 41 - GRÁFICOS DA CURVA DE TENDÊNCIA DOS COEFICIENTES “Cr” AO LONGO DOS ANOS ANALISADOS (C).

Gráfico da curva tendencial de Cr 0,17

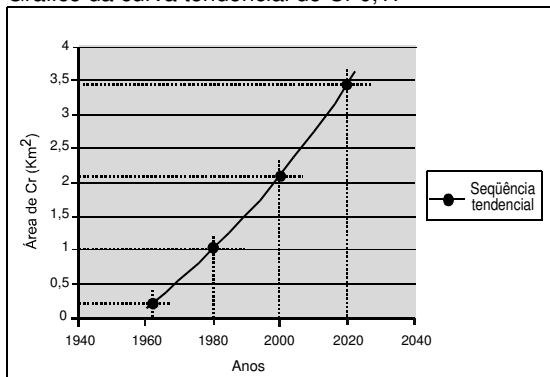


Gráfico da curva tendencial de Cr 0,18

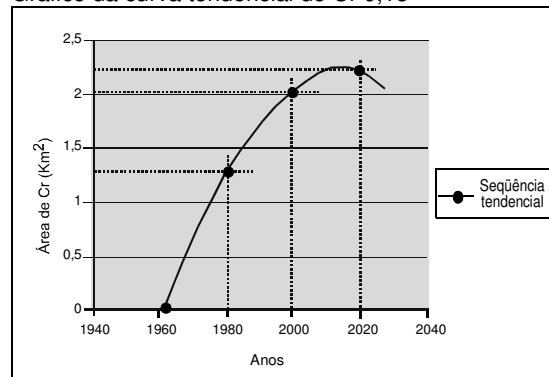


Gráfico da curva tendencial de Cr 0,19

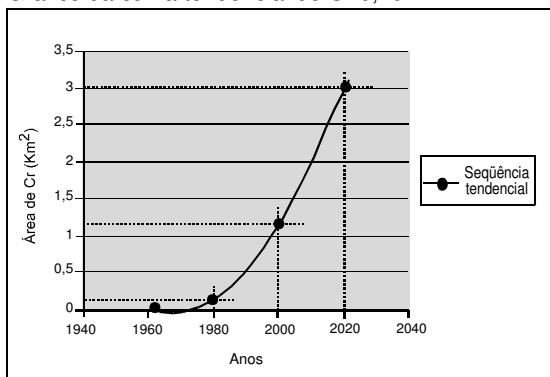
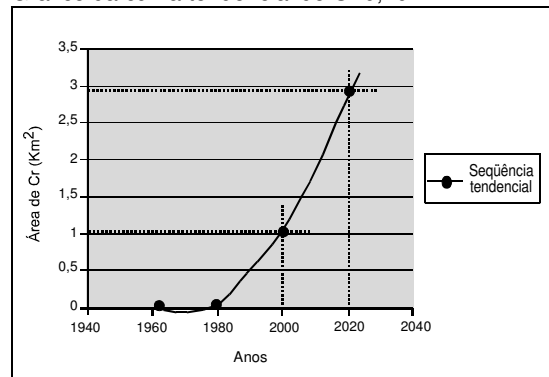


Gráfico da curva tendencial de Cr 0,20



Em uma bacia hidrográfica é de se esperar que o coeficiente de escoamento superficial varie com o tempo de retorno ou com a magnitude da chuva. Com o aumento da intensidade da chuva as perdas d'água não continuam as mesmas, ocasionando assim, o aumento deste coeficiente.

Levando em consideração esta variação TUCCI *et al.* (1993), reproduz em sua publicação a tabela elaborada Wright – Maclaughin, que utiliza um multiplicador para o ajuste dos valores do coeficiente de escoamento superficial, de acordo com o tempo de retorno da chuva (Tabela 34).

TABELA 34 - FATOR DE CORREÇÃO DE "C" (WRIGHT – MACLAUGHIN)

Tempo de retorno (anos)	Fator de correção
2 a 5	1,00
10 a 15	1,05
20 a 25	1,10
50	1,20
100	1,25

Fonte: adaptado de TUCCI *et al.* (1993).

Aos valores de C_{r_m} dos quatro anos em análise foram acrescentados os fatores de correção da tabela acima em função dos períodos de tempo de retorno utilizados para os cálculos da intensidade das chuvas, obtendo-se assim, os valores finais de C_{r_m} utilizados na determinação das vazões de pico simuladas pela fórmula racional (Tabela 35).

TABELA 35 - VALORES DE C_{r_m} AJUSTADOS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RETORNO DA CHUVA.

Tr (anos)	1962	1980	2000	2020
2 a 5	0,100	0,110	0,120	0,125
10 a 15	0,105	0,115	0,126	0,130
20 a 25	0,110	0,120	0,132	0,138

* Valores estimados a partir dos fatores de correção de Wright – Maclaughin, 1962 in. TUCCI (1993).

5.6. CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ABATIMENTO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CHUVA (f)

Na prática para compensar o efeito de amortecimento das chuvas são incorporados coeficientes de abatimento e fatores de distribuição, multiplicando a expressão original da fórmula racional, visando compensar a variabilidade espacial da precipitação, de modo a estender tanto quanto possível o Método Racional a bacias com tamanhos de áreas maiores que as recomendadas durante a sua aplicação (PORTO in. TUCCI, 1995).

Como nas bacias hidrográficas que possuem extensões territorial superior a $0,50 \text{ km}^2$ é necessário considerar um coeficiente de abatimento de distribuição da chuva, este parâmetro foi determinado para a bacia do rio Atuba, pela relação estabelecida pelo DER/SP in. FRANCO (2004) onde:

$$f = A^{-0,10} \quad \text{equação (24)}$$

sendo:

f o fator de ajuste igual a 0,4 para a bacia do Rio Atuba e;

A a área da bacia em hectares igual a 12743 ha.

5.7. PRECIPITAÇÃO EXCEDENTE (Re)

A precipitação excedente em relação à altura da chuva, utilizada durante a aplicação do Método de Ven Te Chow, foi calculada a partir da fórmula elaborada pelo Soil Conservation Service e, reescrita, no sistema métrico nacional por WILKEN (1971):

$$Re = \frac{(R - 5080/N + 50,8)^2}{R + 20320/N - 203,2} \quad \text{equação (25)}$$

onde:

Re = precipitação excedente dada em mm;

R = chuva total, dada em mm, sendo igual à relação de $i_m \cdot td$;

N = número de deflúvio.

Para a determinação do número de deflúvio foi considerando tanto a cobertura superficial do terreno como o tipo hidrológico do solo, sendo este, estipulado, igual ao valor de CN do método do SCS. Como o Método de Ven Te Chow, apresentado por WILKEN (1971) não considera a umidade antecedente do solo na determinação do valor de “N”, na aplicação da Equação 25, os valores de “N” foram:

N = 73,20 para 1962;

N = 76,50 para 1980;

N = 80,57 para 2000.

Os valores de “N” relacionados acima foram extraídos da Tabela 22, para condição – II de umidade do solo, ou seja, solo em situação média de umidade. A intensidade da chuva para todos os tempos de duração arbitrados (Tabela 36) foi obtida através da aplicação da equação de I-D-F, atualizada em 2000, para a estação de Curitiba – Prado Velho e indicada por FENDRICH (2003).

Esta equação é a mesma que foi utilizada na determinação da intensidade da precipitação, do Método Racional, sendo utilizados também os mesmos períodos de retorno, para uma melhor comparação das vazões simuladas.

TABELA 36 - CÁLCULO DA INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO E DA CHUVA TOTAL.

td (min)	td (h)	i_m (mm/h)	R (mm)
Tr 5 anos			
120	2,0	37,30	74,60
150	2,50	31,22	78,05
180	3,0	26,82	80,46
210	3,50	23,50	82,25
240	4,0	20,89	83,56
270	4,50	18,80	84,60
Tr 10 anos			
120	2,0	41,65	83,30
150	2,50	34,86	87,15
180	3,0	29,95	89,85
210	3,50	26,23	91,80
240	4,0	23,32	93,28
270	4,50	20,99	94,45
Tr 15 anos			
120	2,0	44,42	88,84
150	2,50	37,18	92,95
180	3,0	31,94	95,82
210	3,50	27,98	97,93
240	4,0	24,88	99,52
270	4,5	22,38	100,71
Tr 20 anos			
120	2,0	46,50	93
150	2,50	38,92	97,3
180	3,0	33,44	100,32
210	3,50	29,29	102,51
240	4,0	26,04	104,16
270	4,5	23,43	105,43

A partir da determinação dos valores do número de deflúvio e da intensidade da chuva foram obtidos, através da Equação 25, os valores da precipitação excedente para os anos de 1962, 1980 e 2000 em Tr de 5, 10, 15 e 20 anos (Tabela 37).

TABELA 37 - VALORES DA PRECIPITAÇÃO EXCEDENTE - Re (mm).

Td (h)	Tr 5	Tr 10	Tr 15	Tr 20
1962				
2,0	21,05	26,55	30,23	33,07
2,50	23,18	29,09	33,03	36,07
3,0	24,71	30,91	35,03	38,22
3,50	25,86	32,24	36,52	39,80
4,0	26,72	33,36	37,65	41,00
4,5	27,40	34,07	38,50	41,93
1980				
2,0	25,40	31,45	35,46	38,54
2,50	27,76	34,22	38,50	41,79
3,0	29,44	36,20	40,66	44,10
3,50	30,70	37,64	42,27	45,79
4,0	31,63	38,75	43,48	47,08
4,5	32,38	39,63	44,40	48,07
2000				
2,0	31,45	38,15	42,56	45,92
2,50	34,08	41,20	45,88	49,44
3,0	35,94	43,37	48,22	51,94
3,50	37,33	44,94	49,96	53,77
4,0	38,36	46,15	51,28	55,15
4,5	39,18	47,10	52,27	56,22

5.8. DETERMINAÇÃO DO FATOR DE REDUÇÃO DE PICO (Z)

Segundo WILKEN (1971) o fator de redução de pico é a relação entre o pico de vazão de um hidrograma unitário, devido à chuva de uma dada duração, e o deflúvio da mesma intensidade de chuva, continuando indefinidamente.

Fazendo-se uso de dados de chuvas e de picos de vazão de cheias contribuintes de 20 bacias hidrográficas pequenas, do meio oeste dos Estados Unidos, Ven Te Chow na elaboração de seu método, buscou a correlação entre o tempo de duração de uma chuva considerada e a razão entre o fator de ascensão de pico, gerada por esta chuva “ t_d/t_p ”, para determinar o valor de “Z”.

Uma vez, que é necessário conhecer o valor do tempo de pico de vazão do hidrograma unitário “ t_p ” para se obter valores de “Z”, o valor de “ t_p ” para a bacia hidrográfica do rio Atuba foi calculado pela equação elaborada por Ven Te Chow e adaptada por WILKEN (1971). O pesquisador determinou o tempo de ascensão “ t_p ” através da correlação do comprimento e da declividade do curso d’água, obtendo a seguinte relação:

$$t_p = 0,005055 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64} \quad \text{equação (26)}$$

no qual:

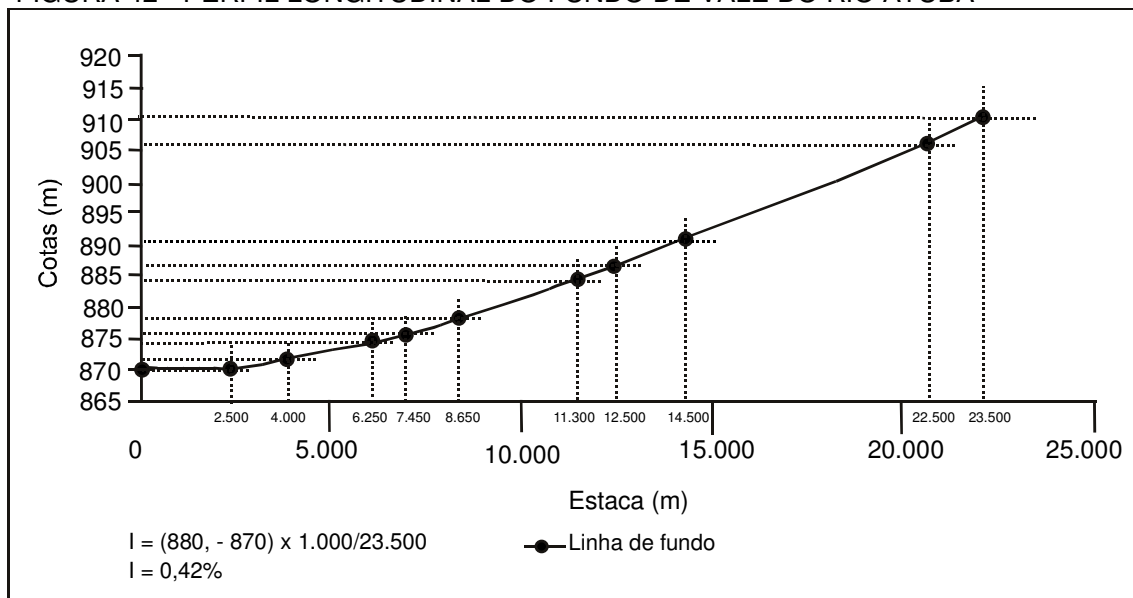
t_p é o tempo de pico da vazão em horas, igual a **“4,2 horas”**, calculado para o rio Atuba;

L é o comprimento do curso d'água principal em metros, sendo igual a 23.500 m, para o rio Atuba e;

I é a declividade média do curso d'água principal em percentagem, sendo igual a 0,42%, para o rio Atuba.

A declividade média do curso d'água do rio Atuba foi verificada através da confecção do perfil longitudinal, do fundo de vale, do seu canal principal (Figura 42).

FIGURA 42 - PERFIL LONGITUDINAL DO FUNDO DE VALE DO RIO ATUBA



Os dados do fator “Z” utilizados no trabalho foram extraídos da tabela de fator de redução do pico de vazão produzida por WILKEN (1971), que fornece os valores de “Z” em função da relação td/t_p (Tabela 38).

TABELA 38 - FATOR DE REDUÇÃO DO TEMPO DE PICO DE VAZÃO.

Valores de Z em função da relação td/t_p									
td/t_p	Z	td/t_p	Z	td/t_p	Z	Td/t_p	Z	td/t_p	Z
0,05	0,04	0,46	0,36	0,84	0,58	1,22	0,75	1,60	0,90
0,10	0,08	0,48	0,38	0,86	0,59	1,24	0,76	1,62	0,90
0,12	0,10	0,50	0,39	0,88	0,50	1,26	0,77	1,64	0,91
0,14	0,12	0,52	0,40	0,90	0,60	1,28	0,78	1,66	0,91
0,16	0,14	0,54	0,41	0,92	0,61	1,30	0,79	1,68	0,92
0,18	0,16	0,56	0,42	0,94	0,62	1,32	0,80	1,70	0,92
0,20	0,18	0,58	0,44	0,96	0,63	1,34	0,81	1,72	0,93
0,22	0,19	0,60	0,45	0,98	0,64	1,36	0,82	1,74	0,93
0,24	0,20	0,62	0,46	1,00	0,65	1,38	0,82	1,76	0,94
0,26	0,22	0,64	0,47	1,02	0,66	1,40	0,82	1,78	0,94
0,28	0,24	0,66	0,48	1,04	0,67	1,42	0,83	1,80	0,95
0,30	0,25	0,68	0,49	1,06	0,68	1,44	0,84	1,82	0,95
0,32	0,26	0,70	0,50	1,08	0,69	1,46	0,85	1,84	0,96
0,34	0,28	0,72	0,51	1,10	0,70	1,48	0,86	1,86	0,96
0,36	0,29	0,74	0,52	1,12	0,71	1,50	0,86	1,88	0,97
0,38	0,30	0,76	0,54	1,14	0,72	1,52	0,87	1,90	0,97
0,40	0,32	0,78	0,55	1,16	0,73	1,54	0,88	1,92	0,98
0,42	0,33	0,80	0,56	1,18	0,74	1,56	0,88	1,94	0,98
0,44	0,34	0,82	0,57	1,20	0,74	1,58	0,89	1,96	0,99

Fonte: WILKEN (1971).

CAPÍTULO 6

6. RESULTADOS

6.1. CÁLCULO DAS VAZÕES DE PICO PELO MÉTODO RACIONAL MODIFICADO E ADAPTADO

Após a obtenção de todos os parâmetros envolvidos na fórmula do Método Racional, modificado e adaptado, para a bacia do rio Atuba, foram calculadas as vazões de pico para as diferentes situações de chuvas intensas determinadas em função do tempo de recorrência e de sua duração. A duração da chuva intensa, ou seja, da chuva crítica que irá ocasionar a maior vazão foi considerada igual ao tempo de concentração da bacia calculado para os anos de 1962, 1980, 2000 e cenário futuro (ano de 2020).

A fórmula racional utilizada no cálculo das vazões de pico (Equação 27), elaborada a partir da inclusão dos valores médios do coeficiente de escoamento superficial para cada parcela de área homogênea da bacia, além do coeficiente de retardo por efeito da declividade e do fator de redução da distribuição espacial da precipitação, foi reescrita de modo a ajustar o quanto possível este método ao tamanho da área em estudo.

$$Q_p = \frac{C_{r_m} \cdot i_m \cdot A \cdot f}{3,6} \quad \text{equação (27)}$$

Na equação acima, as variáveis e constantes para a bacia do rio Atuba, assumem os seguintes valores:

Q_p = vazão de pico dada em m^3/s ;

C_{r_m} =coeficiente de escoamento superficial real médio da bacia, para cada ano, sendo igual a:

1962 – 0,100 para Tr de 5 anos; 0,105 para Tr de 10 e 15 anos; 0,110 para Tr de 20 anos;

1980 – 0,110 para Tr de 5 anos; 0,115 para Tr de 10 e 15 anos; 0,120 para Tr de 20 anos;

2000 – 0,120 para Tr de 5 anos; 0,126 para Tr de 10 e 15 anos; 0,132 para Tr de 20 anos;

2020 – 0,125 para Tr de 5 anos; 0,130 para Tr de 10 e 15 anos; 0,138 para Tr de 20 anos;

i_m = intensidade máxima da chuva sobre toda a área drenada, para os tempos de concentração e períodos de retorno analisados, valor estimado pela Equação 15;

A = área da bacia igual a 127,43 km² e;

f = coeficiente de abatimento de distribuição da chuva.

Como resultado da aplicação da Equação 27, apresenta-se a Tabela 39 que contém as vazões de pico calculadas para os anos de 1962, 1980, 2000 e cenário futuro (ano de 2020).

TABELA 39 - SIMULAÇÃO DAS VAZÕES DE PICO NA BACIA DO RIO ATUBA PELA FÓRMULA RACIONAL MODIFICADA E ADAPTADA.

t_c em min	Tr em anos	Intensidade da chuva (mm/h)	Vazão de simulação em m ³ /s
1962			
199,73	5	24,55	34,76
	10	27,40	40,73
	15	29,22	43,44
	20	30,59	47,64
1980			
145,70	5	31,97	49,79
	10	35,70	58,12
	15	38,07	61,99
	20	39,86	67,72
2000			
119,68	5	37,40	63,54
	10	41,75	74,48
	15	44,51	79,41
	20	46,60	87,09
2020			
106,95	5	40,75	72,12
	10	45,48	83,71
	15	48,51	89,29
	20	50,78	99,22

6.2. CÁLCULO DAS VAZÕES DE PICO PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW – SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)

A estimativa das vazões de pico pelo Método proposto por Ven Te Chow foi realizada através do procedimento descrito no Item 4.3 do Capítulo 4, tendo por base a equação elaborada pelo pesquisador e, repetida a seguir:

$$Q_p = \frac{A.X.Y.Z}{3,6} \quad \text{equação (11)}$$

Durante a aplicação da equação mencionada acima as constantes e variáveis para a bacia do rio Atuba, foram determinadas como:

Q_p é a vazão de pico em m^3/s ;

A é a área da bacia, sendo igual a $127,43 \text{ km}^2$;

X é o fator de deflúvio, sendo igual a razão da precipitação excedente pela duração ($X = Re/t_d$);

Y é o fator climático, sendo igual a 1, já que a equação das chuvas intensas utilizada, refere-se ao próprio local de sua elaboração (região de Curitiba);

Z é o fator de redução do tempo de pico, retirado da Tabela 38 e;

3,6 é usado para a conversão das unidades de medidas dos parâmetros utilizados.

As Tabelas 40, 41 e 42 contém os resultados das vazões de pico simuladas para a bacia do rio Atuba pelo Método de Ven Te Chow nos anos de 1962, 1980 e 2000.

Como por definição o maior valor da vazão obtida, será a vazão de pico procurada, foram traçados hidrogramas da vazão pela duração que facilitam a identificação deste procedimento (Figuras 43, 44 e 45).

TABELA 40 - VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW (ANO DE 1962).

td (min)	td (h)	i _m (mm/h)	Re (mm/h)	td/tp	X	Z	Qp (m ³ /s)
Tr 5 anos							
120	2,0	37,30	21,05	0,47	10,52	0,365	135,92
150	2,50	31,22	23,18	0,59	9,27	0,445	146,02
180	3,0	26,82	24,71	0,72	8,23	0,510	148,57
210	3,50	23,50	25,86	0,83	7,38	0,575	150,21
240	4,0	20,89	26,72	0,95	6,68	0,625	147,78
270	4,5	18,80	27,40	1,07	6,08	0,685	147,42
Tr 10 anos							
120	2,0	41,65	26,55	0,47	13,27	0,365	171,44
150	2,50	34,86	29,09	0,59	11,63	0,445	183,19
180	3,0	29,95	30,91	0,72	10,30	0,510	185,94
210	3,50	26,23	32,24	0,83	9,21	0,575	187,45
240	4,0	23,32	33,36	0,95	8,34	0,625	184,51
270	4,5	20,99	34,07	1,07	7,57	0,685	183,55
Tr 15 anos							
120	2,0	44,42	30,23	0,47	15,11	0,365	195,22
150	2,50	37,18	33,03	0,59	13,21	0,445	208,08
180	3,0	31,94	35,03	0,72	11,67	0,510	210,67
210	3,50	27,98	36,52	0,83	10,43	0,575	212,28
240	4,0	24,88	37,65	0,95	9,41	0,625	208,18
270	4,5	22,38	38,50	1,07	8,55	0,685	207,31
Tr 20 anos							
120	2,0	46,50	33,07	0,47	16,53	0,365	213,57
150	2,50	38,92	36,07	0,59	14,43	0,445	227,30
180	3,0	33,44	38,22	0,72	12,74	0,510	229,99
210	3,50	29,29	39,80	0,83	11,37	0,575	231,42
240	4,0	26,04	41,00	0,95	10,25	0,625	226,76
270	4,5	23,43	41,93	1,07	9,32	0,685	225,98

TABELA 41 - VÃZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW (ANO DE 1980).

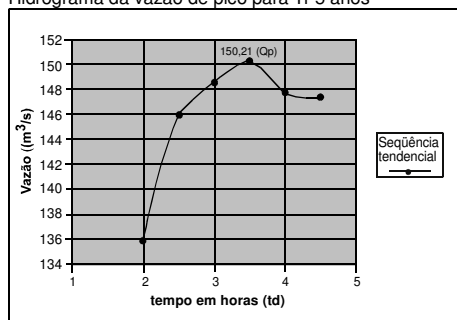
td (min)	td (h)	i _m (mm/h)	Re (mm/h)	td/tp	X	Z	Qp (m ³ /s)
Tr 5 anos							
120	2,0	37,30	25,40	0,47	12,7	0,365	164,08
150	2,50	31,22	27,76	0,59	11,10	0,445	174,84
180	3,0	26,82	29,44	0,72	9,81	0,510	177,09
210	3,50	23,50	30,70	0,83	8,77	0,575	178,50
240	4,0	20,89	31,63	0,95	7,90	0,625	174,77
270	4,5	18,80	32,38	1,07	7,19	0,685	174,33
Tr 10 anos							
120	2,0	41,65	31,45	0,47	15,72	0,365	203,10
150	2,50	34,86	34,22	0,59	13,69	0,445	215,64
180	3,0	29,95	36,20	0,72	12,06	0,510	217,71
210	3,50	26,23	37,64	0,83	10,75	0,575	218,80
240	4,0	23,32	38,75	0,95	9,68	0,625	214,15
270	4,5	20,99	39,63	1,07	8,81	0,685	213,62
Tr 15 anos							
120	2,0	44,42	35,46	0,47	17,73	0,365	229,07
150	2,50	37,18	38,50	0,59	15,40	0,445	242,58
180	3,0	31,94	40,66	0,72	13,55	0,510	244,61
210	3,50	27,98	42,27	0,83	12,08	0,575	245,87
240	4,0	24,88	43,48	0,95	10,87	0,625	240,48
270	4,5	22,38	44,40	1,07	9,86	0,685	239,07
Tr 20 anos							
120	2,0	46,50	38,54	0,47	19,27	0,365	248,97
150	2,50	38,92	41,79	0,59	16,71	0,445	263,21
180	3,0	33,44	44,10	0,72	14,70	0,510	265,37
210	3,50	29,29	45,79	0,83	13,08	0,575	266,22
240	4,0	26,04	47,08	0,95	11,77	0,625	260,39
270	4,5	23,43	48,07	1,07	10,68	0,685	258,95

TABELA 42 - VÃZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW (ANO DE 2000).

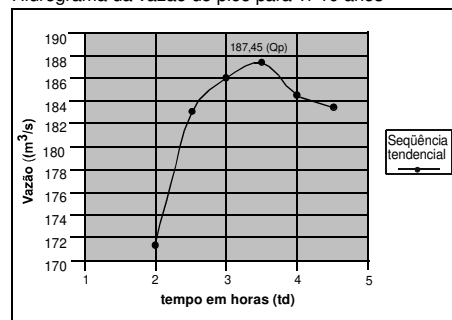
td (min)	td (h)	i_m (mm/h)	Re (mm/h)	td/tp	X	Z	Qp (m ³ /s)
Tr 5 anos							
120	2,0	37,30	31,45	0,47	15,73	0,365	203,23
150	2,50	31,22	34,08	0,59	13,63	0,445	214,70
180	3,0	26,82	35,94	0,72	11,98	0,510	216,27
210	3,50	23,50	37,33	0,83	10,66	0,575	216,96
240	4,0	20,89	38,36	0,95	9,59	0,625	212,16
270	4,5	18,80	39,18	1,07	8,71	0,685	211,19
Tr 10 anos							
120	2,0	41,65	38,15	0,47	19,07	0,365	246,38
150	2,50	34,86	41,20	0,59	16,48	0,445	259,60
180	3,0	29,95	43,37	0,72	14,46	0,510	261,04
210	3,50	26,23	44,94	0,83	12,84	0,575	261,34
240	4,0	23,32	46,15	0,95	11,54	0,625	255,30
270	4,5	20,99	47,10	1,07	10,47	0,685	253,86
Tr 15 anos							
120	2,0	44,42	42,56	0,47	21,28	0,365	274,94
150	2,50	37,18	45,88	0,59	18,35	0,445	289,04
180	3,0	31,94	48,22	0,72	16,07	0,510	290,10
210	3,50	27,98	49,96	0,83	14,27	0,575	290,44
240	4,0	24,88	51,28	0,95	12,82	0,625	283,62
270	4,5	22,38	52,27	1,07	11,61	0,685	281,50
Tr 20 anos							
120	2,0	46,50	45,92	0,47	22,96	0,365	296,64
150	2,50	38,92	49,44	0,59	19,77	0,445	311,41
180	3,0	33,44	51,94	0,72	17,31	0,510	312,49
210	3,50	29,29	53,77	0,83	15,36	0,575	312,63
240	4,0	26,04	55,15	0,95	13,79	0,625	305,08
270	4,5	23,43	56,22	1,07	12,49	0,685	302,84

FIGURA 43 - HIDROGRAMA DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW - 1962

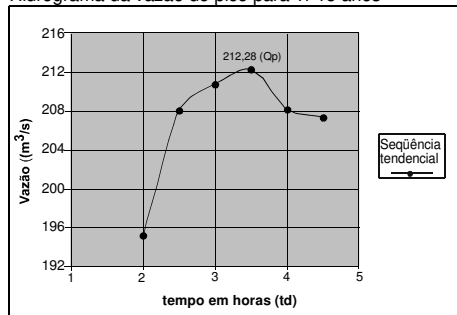
Hidrograma da vazão de pico para Tr 5 anos



Hidrograma da vazão de pico para Tr 10 anos



Hidrograma da vazão de pico para Tr 15 anos



Hidrograma da vazão de pico para Tr 20 anos

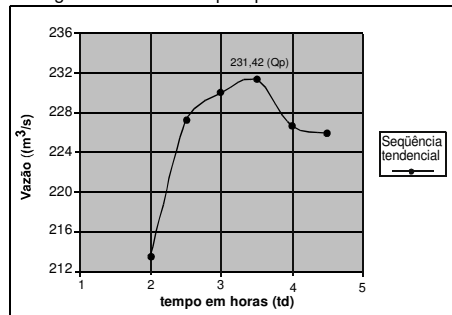


FIGURA 44 - HIDROGRAMA DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW - 1980

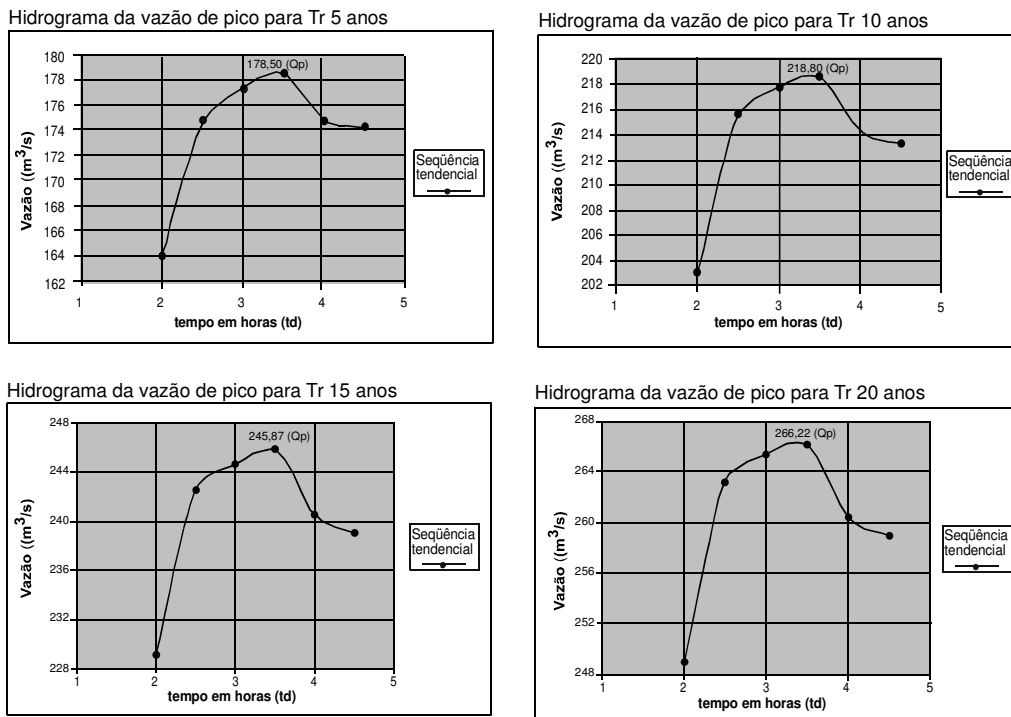
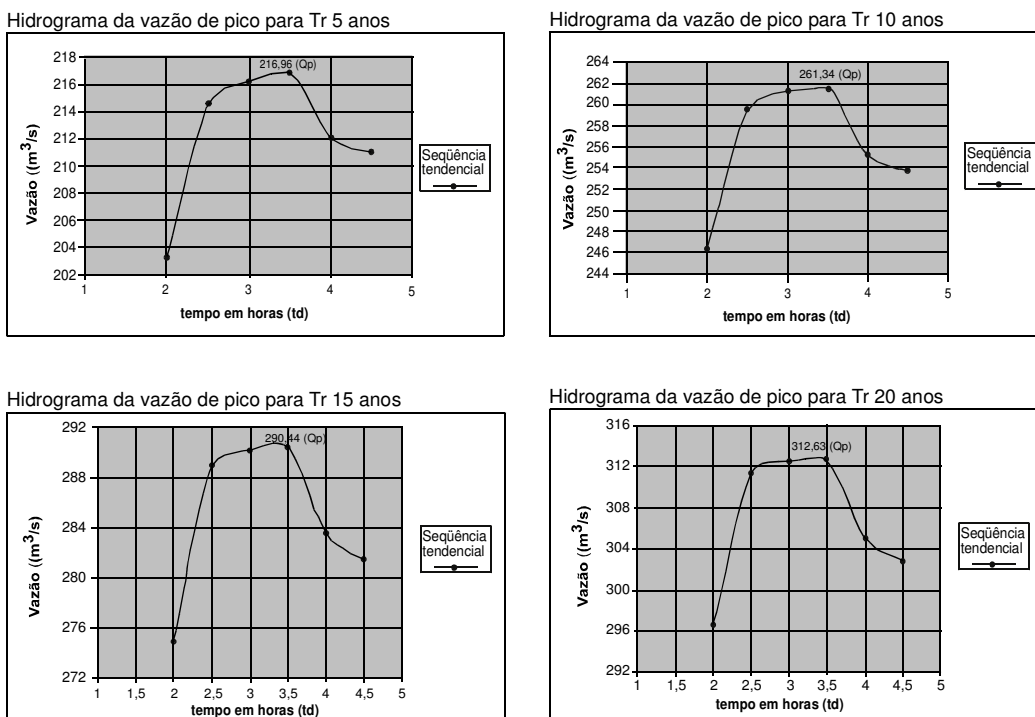


FIGURA 45 - HIDROGRAMA DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW - 2000



CAPÍTULO 7

7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS GERADOS

7.1. COMPARAÇÃO ENTRE AS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO RACIONAL MODIFICADO E ADAPTADO COM AS VAZÕES MONITORADAS PELA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Para possibilitar a comparação entre as vazões de pico monitoradas pela estação fluviométrica e as vazões simuladas pelo Método Racional, modificado e adaptado, foi necessário realizar o ajuste estatístico desta variável a partir de uma série histórica já existente. Para tal ajuste, utilizou-se a Distribuição de Gumbel descrita por SOUZA PINTO *et al.* (1976). De acordo com os autores a distribuição de Gumbel possui três parâmetros que são a média, o desvio padrão e o fator de frequência, relacionados na equação a seguir:

$$Q = \bar{Q} + K\sigma \quad (\text{equação 28})$$

onde:

Q é a vazão de enchente com certo tempo de retorno;

\bar{Q} é a média das vazões da série história analisada;

σ é o desvio padrão da série história analisada e;

K é o fator de frequência extraído da Tabela 43 que depende do número de amostras tomadas e do tempo de retorno.

Tabela 43 - FATOR DE FREQUÊNCIA (K) DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL.

Número da amostra	Tempo de Retorno (Tr anos)						
	5	10	15	20	25	50	100
10	1,058	1,848	2,289	2,606	2,847	3,588	4,323
11	1,034	1,809	2,242	2,553	2,789	3,516	4,238
12	1,013	1,777	2,202	2,509	2,741	3,456	4,166
13	0,996	1,748	2,168	2,470	2,699	3,405	4,105
14	0,981	1,724	2,138	2,437	2,663	3,360	4,052
15	0,967	1,703	2,112	2,410	2,632	3,321	4,005
16	0,955	1,682	2,087	2,379	2,601	3,283	3,959
17	0,943	1,664	2,066	2,355	2,575	3,250	3,921
18	0,934	1,649	2,047	2,335	2,552	3,223	3,888
19	0,926	1,636	2,032	2,317	2,533	3,199	3,860
20	0,919	1,625	2,018	2,302	2,517	3,179	3,836
21	0,991	1,613	2,004	2,286	2,500	3,157	3,810
22	0,905	1,603	1,992	2,272	2,484	3,138	3,787
23	0,899	1,593	1,980	2,259	2,470	3,121	3,766
24	0,893	1,584	1,969	2,247	2,457	3,104	3,747
25	0,888	1,575	1,958	2,235	2,444	3,088	3,729

Fonte: SOUZA PINTO *et al.* (1976).

A vazão máxima diária anual do rio Atuba foi analisada com o uso da série temporal de 17 anos de dados coletados na estação Autódromo (cód. ANEEL: 65007046) entre os anos de 1985 a 2001, quando a estação foi interrompida. Os valores coletados pela estação são apresentados na Tabela 44 e no Anexo 1.

Tabela 44 - VALORES DAS VAZÕES DE PICO MONITORADAS PELA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DO AUTÓDROMO (1985 a 2001).

Data da Q _{máx}	P _{td} (mm)	P _t (mm)	Q _{máx} (m ³ /s)
21/02/1985	21,21	58,75	17,77
18/12/1986	25,75	135,75	30,60
08/05/1987	33,3	108,65	22,20
23/05/1988	80,2	109,3	31,90
03/01/1989	66,13	107,3	30,00
31/03/1990	15,17	22,5	27,00
20/06/1991	63,67	71,33	21,40
31/05/1992	62,83	99,93	22,20
14/05/1993	117,8	119,93	32,80
08/03/1994	44,97	50,73	16,46
07/01/1995	97,63	190,43	44,65
08/09/1996	51,03	91,13	38,00
27/01/1997	15,13	74,6	41,50
28/03/1998	46,3	54,8	36,00
21/02/1999	62,0	132,95	21,00
31/01/2000	58,7	59,3	50,08
01/10/2001	62,6	118,1	86,65

P_{td} = chuva total do dia da vazão máxima observada (Estação Prado Velho – PUC); P_t = chuva total do dia da vazão máxima observada mais a chuva dos cinco dias anteriores a vazão máxima (Estação Prado Velho – PUC); Q_{máx} = vazão máxima diária anual monitorada.

A aplicação da Equação 28 para o ajuste estatístico das vazões monitoradas, em diferentes tempos de retorno, tendo \bar{Q} igual 33,54 e σ igual a 16,73 possibilitou a obtenção dos seguintes resultados:

$Q = 49,31 \text{ m}^3/\text{s}$ para Tr 5;

$Q = 61,38 \text{ m}^3/\text{s}$ para Tr 10;

$Q = 68,10 \text{ m}^3/\text{s}$ para Tr 15;

$Q = 72,94 \text{ m}^3/\text{s}$ para Tr 20.

A correlação das vazões simuladas pelo Método Racional com as vazões monitoradas foi realizada através da avaliação da associação linear entre duas variáveis. Para tal avaliação, considerou-se a análise visual dos gráficos de dispersão de pontos bem como, os valores numéricos do coeficiente de correlação (r_{xy}) obtidos para os anos de 1962, 1980 e 2000.

Os gráficos das Figuras 46, 47 e 48 apresentam a dispersão entre as vazões de pico simuladas pelo Método Racional (adaptado e modificado) com as vazões monitoradas pela estação do Autódromo. Os pontos plotados nos gráficos mostram que existe um bom ajuste linear para as relações avaliadas.

Em uma relação linear, quanto mais próximos os valores das variáveis plotadas estiverem do formato de uma reta e do fator $R^2 = 1$, melhor será a relação entre estas variáveis. Nos gráficos gerados, nota-se que a correlação entre as vazões de pico simuladas com as vazões monitoradas são melhores ajustadas, ou seja, próximas ao formato de uma reta para o ano de 1980 com o fator $R^2 = 0,9849$ do que para os anos de 1962 e 2000 com o fator $R^2 = 0,9832$.

Para o ano de 1962 as vazões de pico determinadas pelo Método Racional foram subestimadas em relação às vazões monitoradas. O ano de 1980, que possui a melhor correlação entre os valores calculados, superestima a vazão de pico para um Tr de 5 anos e, subestima para os demais tempos de recorrência. Já o ano de 2000 superestima a vazão de pico em todos os tempos de recorrência analisados.

FIGURA 46 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO RACIONAL(1962) COM AS VAZÕES DE PICO MONITORADAS PELA ESTAÇÃO DO AUTÓDROMO.

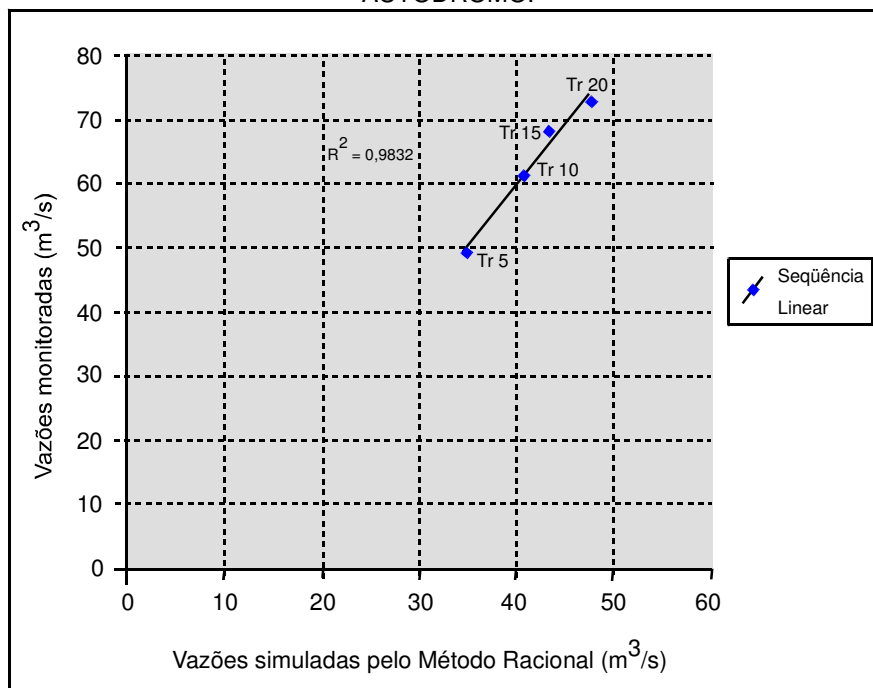


FIGURA 47 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO RACIONAL(1980) COM AS VAZÕES DE PICO MONITORADAS PELA ESTAÇÃO DO AUTÓDROMO.

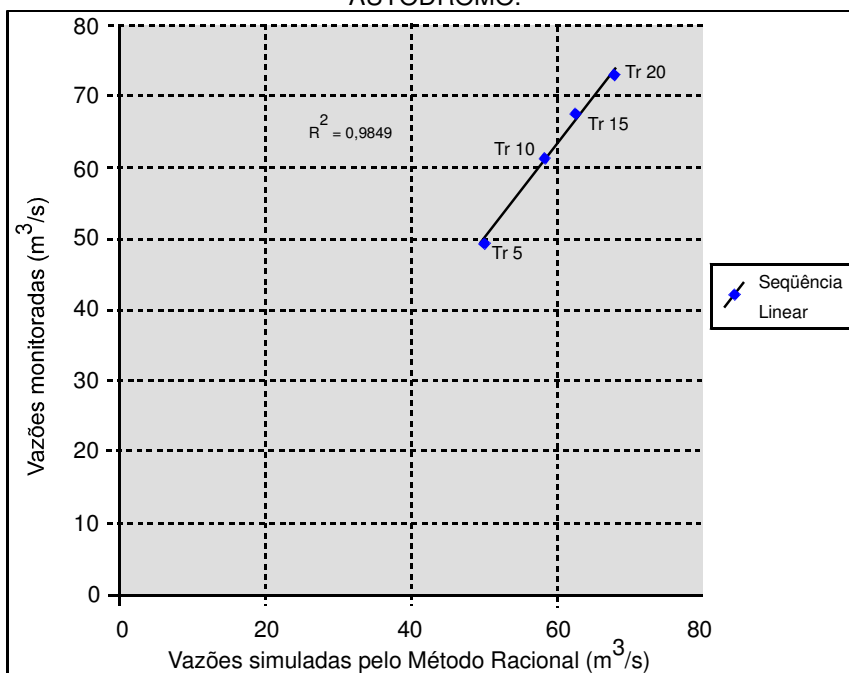
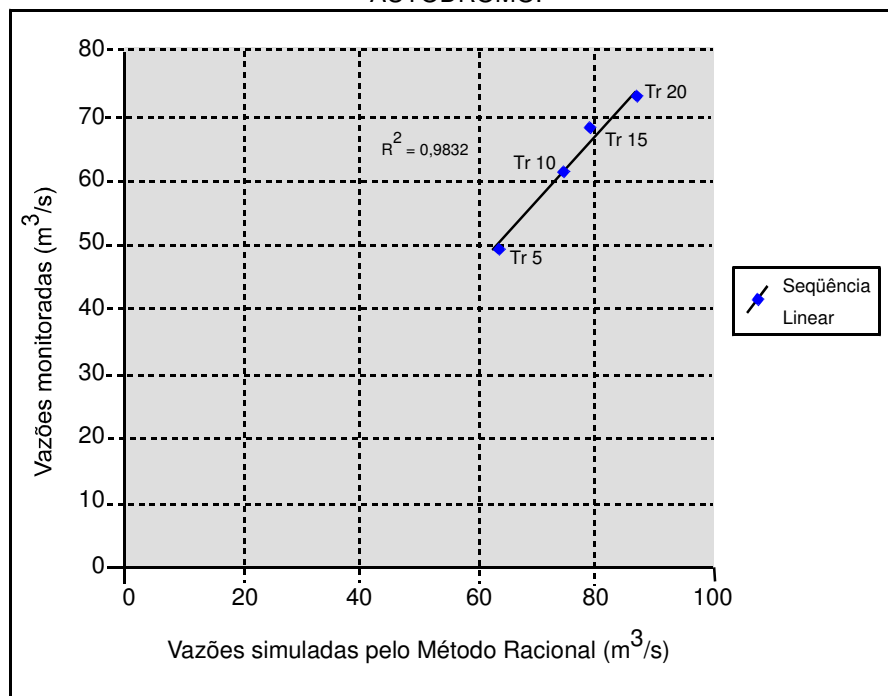


FIGURA 48 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS VAZÕES DE PICO SIMULADAS PELO MÉTODO RACIONAL(2000) COM AS VAZÕES DE PICO MONITORADAS PELA ESTAÇÃO DO AUTÓDROMO.



Os volumes das vazões calculadas pelo Método Racional modificado e adaptado foram, em geral, muito próximos aos volumes monitorados pela estação. Pode-se verificar que existe uma tendência crescente das vazões de pico com o passar dos anos analisados, estando esta tendência, diretamente relacionada com o crescimento da impermeabilização do solo.

A forma de avaliação utilizando o coeficiente numérico de correlação demonstra que este coeficiente terá o seu valor máximo em 1, significando um perfeito ajuste da relação a uma tendência retilínea crescente. Quando o valor mínimo é igual a -1 significa que ocorreu um ajuste das variáveis ao mesmo tipo de tendência, só que agora decrescente. Quanto mais próximo de zero for o valor absoluto do coeficiente, pior será o ajuste a uma tendência retilínea. Valores de $(r_{xy}) \geq 0,7$ indicarão uma boa correlação das variáveis (TUCCI, 1993).

Para a estimativa do coeficiente numérico de correlação (r_{xy}) foi utilizada a equação apresentada por TUCCI (1993), e descrita a seguir:

$$r_{xy} = s_{xy}/(s_x \cdot s_y) \quad \text{equação (29)}$$

onde:

r_{xy} é o coeficiente numérico de correlação;

s_{xy} é a co-variança amostral entre as vazões simuladas e as vazões monitoradas pela estação;

s_x é o desvio padrão das vazões simuladas e;

s_y é o desvio padrão das vazões monitoradas pela estação.

Os fatores r_{xy} calculados pela Equação 28 mostraram-se superiores a 0,7 o que vem a indicar uma boa correlação das vazões simuladas pelo Método Racional com as vazões monitoradas, sendo estes fatores iguais a: 0,743 para o ano de 1962 e de 0,744 para os anos de e 2000.

7.2. ANÁLISE DO IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NOS PICOS DE VAZÃO DE CHEIAS

Para a análise do impacto da urbanização no aumento dos picos de vazão de cheias foram utilizadas as vazões simuladas pelo Método Racional, que permitem uma melhor correlação entre áreas impermeáveis, coeficiente de escoamento superficial real e vazão de pico (A_i -Cr- Q_p), dos três anos mapeados e da projeção de um cenário futuro.

Os valores da Tabela 45, relativos à simulação das vazões de pico na bacia do rio Atuba, demonstram o aumento desta variável hidrológica a partir do crescimento da urbanização e conseqüente aumento da impermeabilização do solo, ao longo dos anos avaliados.

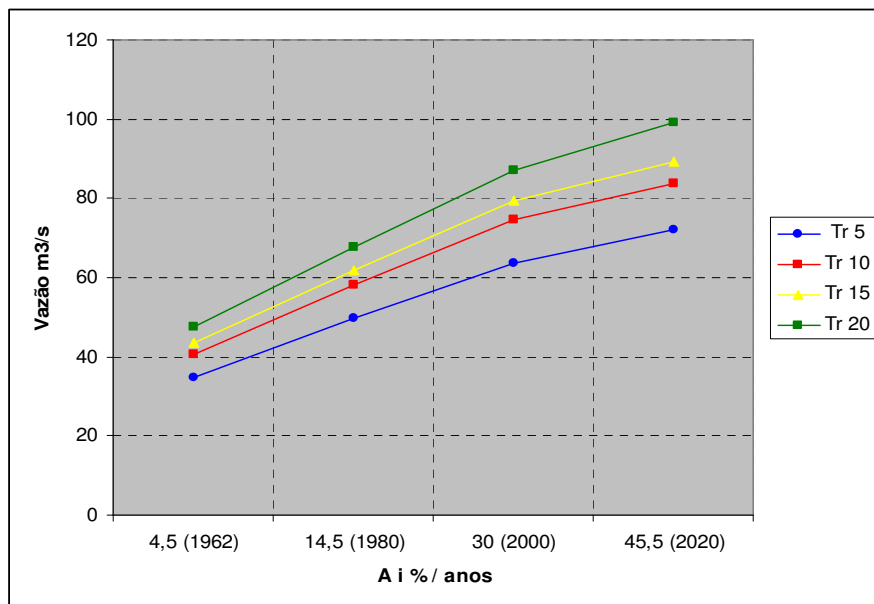
TABELA 45 - VAZÕES DE PICO EM FUNÇÃO DAS ÁREAS IMPERMEÁVEIS SIMULADAS PELA EQUAÇÃO RACIONAL MODIFICADA E ADAPTADA.

Tr (anos)	Ai (%) / vazão (m ³ /s)			
	4,5 (1962)	14,5 (1980)	30,0 (2000)	45,5 (2020)
5	34,76	49,79	63,54	72,12
10	40,73	58,12	74,48	83,71
15	43,44	61,99	79,41	89,29
20	47,64	67,72	87,09	99,22

Fonte: valores estimados a partir da equação 25 para o cálculo da vazão de pico.

No gráfico da Figura 49 onde é projetado o aumento da vazão de pico de acordo com a impermeabilização urbana, observa-se que a vazão de pico de 47,64 m³/s alcançada com a chuva de 20 anos de retorno, período em que a bacia encontrava-se com apenas 4,5% de impermeabilização, é quase igualada à vazão gerada pela chuva de apenas 5 anos de retorno, no ano de 1980 com 14,5% de áreas impermeáveis.

FIGURA 49 - AUMENTO DA VAZÃO DE PICO EM RELAÇÃO AO PERCENTUAL DE ÁREAS IMPERMEÁVEIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATUBA



O mesmo ocorre para os demais anos onde a vazão de 61,99 m³/s, alcançada com uma chuva de 15 anos de retorno em 1980 é bastante aproximada à vazão de 63,54 m³/s, atingida com a chuva de 5 anos de retorno, no ano de 2000, quando a bacia do rio Atuba apresenta 30,0% de sua área impermeabilizada. Em 2000 a

vazão de 63,54 m³/s calculada para um Tr de 5 anos, ultrapassa a vazão de 47,64 m³/s atingida em 1962 para um Tr de 20 anos.

Na projeção de um cenário futuro, com vazões simuladas para uma impermeabilização do solo de 45,5%, ano de 2020, verifica-se a mesma tendência de intensificação das vazões. A vazão de 47,64 m³/s alcançada por uma chuva de 20 anos de retorno, quando a bacia estava praticamente em seu estado natural, será ultrapassada pela vazão de 72,12 m³/s proporcionada por uma chuva de apenas 5 anos de retorno e será duas vezes maior em comparação com a vazão de 99,22 m³/s, no mesmo tempo de retorno, para o ano de 2020.

O uso da equação 20 possibilitou a quantificação do coeficiente de armazenamento superficial por infiltração (coeficiente “S”) para cada grupo de áreas com características distintas, determinadas em função da cobertura superficial do terreno, grupo hidrológico do solo e condição de umidade antecedente.

Dos valores encontrados pela equação mencionada acima, que estipula a capacidade máxima da camada superficial do solo, pode-se dizer que a partir do instante em que são alcançados ou ultrapassados os valores do coeficiente de armazenamento superficial, esgota-se a capacidade de infiltração do solo, ou seja, a capacidade de armazenamento do terreno, e inicia-se o escoamento superficial.

Tem-se aqui uma variação da capacidade de armazenamento do solo e do coeficiente de escoamento superficial para cada tipo de cobertura superficial do terreno, tipo hidrológico de solo e condição de umidade antecedente. As áreas com maior percentagem de impermeabilização urbana, com solos do tipo D e próximas da saturação, após eventos de chuvas intensas apresentam menor capacidade de armazenamento e maior coeficiente de escoamento superficial do que as áreas com baixa percentagem de impermeabilização urbana, solos do tipo C, em condições I e II de umidade antecedente.

Comparando os mapas de cobertura superficial do terreno (Figuras 24, 25 e 26) com o mapa de solos (Figura 4), visualiza-se que as maiores concentrações urbanas localizam-se do médio ao baixo curso da bacia, sobre as áreas de latossolos e solos hidromórficos.

As características dos solos hidromórficos, que via de regra, são solos muito mal drenados e que geralmente apresentam-se encharcados e dos próprios latossolos, que são solos bem drenados, mas quando sujeitos a processos de

compactação e impermeabilização apresentam problemas quanto à capacidade de infiltração, vem justificar a presença dos menores índices do coeficiente “S” nestas regiões (Figuras 31, 32, 33).

Quanto à influência da variação do tipo hidrológico dos solos no coeficiente de escoamento superficial real, como era de se esperar, esta pode ser considerada praticamente nula na classe de edificação muito densa, com 85% de áreas impermeáveis. Nesta classe os valores de (Cr) dos tipos de solos C para os tipos de solos D mantiveram-se constantes, independentemente da declividade do terreno. Esta classe apresenta uma malha urbana muito densa impedindo praticamente a infiltração da água no terreno, sendo o escoamento superficial, portanto, praticamente independente das características hidrológicas dos solos existentes.

Nas demais classes, em declividades fortes e fracas, os valores do (Cr) aumentaram em 0,01 do tipo de solo C para o tipo de solo D. Na declividade média a variação deste valor manteve-se em torno de 0,01 a 0,02, aumentando conforme diminui a densificação urbana.

Nas Tabelas 33 e 35 que apresentam os valores do coeficiente Cr_m da bacia do rio Atuba, observa-se o incremento progressivo deste parâmetro a partir do ano de 1962 até o ano de 2000 e para o cenário futuro. A elevação nos valores de Cr_m está diretamente subordinada à impermeabilização do solo, devido ao aumento da densificação urbana.

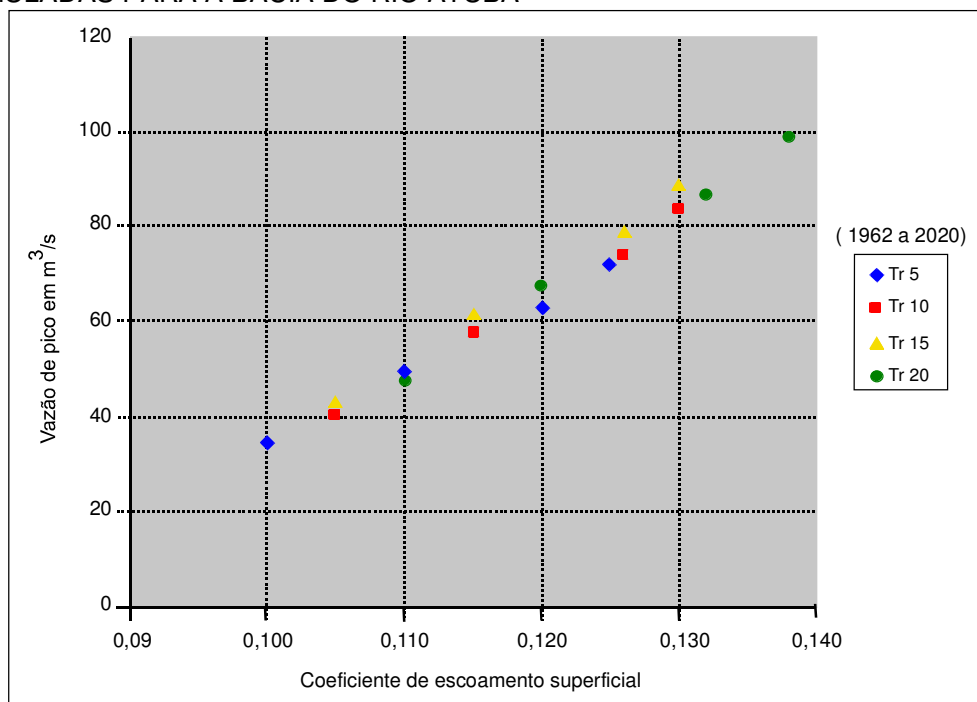
É importante salientar aqui que o percentual de elevação do coeficiente “ Cr_m ”, ao longo dos anos analisados, foi verificado para a condição III de umidade antecedente do solo, ou seja, para solos próximos da saturação onde a infiltração d’água é baixa, independentemente do tipo da impermeabilização superficial do terreno.

Porém, acredita-se que este percentual será bem mais elevado, ou seja, ocorrerá uma maior variação ao longo dos anos para as condições I e II de umidade antecedente dos solos, onde a maior capacidade de armazenamento dos solos e as diferenças no tipo de impermeabilização superficial proporcionam uma maior influência nos valores deste coeficiente.

Analisando o gráfico da Figura 50, que mostra a relação entre as vazões de pico simuladas pelo Método Racional com os coeficientes de escoamento superficial, verifica-se que o impacto da densificação da urbanização através da

impermeabilização do solo gerou um incremento progressivo nos valores destes dois índices simulados, apresentando os valores plotados uma reta ascendente ao longo dos quatro cenários estudados.

FIGURA 50 - COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL X VAZÕES DE PICO SIMULADAS PARA A BACIA DO RIO ATUBA



Para uma chuva com Tr de 5 anos, o volume médio do coeficiente “Cr_m” passou de 0,100 para 0,120, com um aumento de 20% entre os anos de 1962 até 2000. Isto significa que o incremento do volume escoado na bacia devido a uma impermeabilização de 30% do solo, proporcionou uma elevação de 82,94% da vazão de pico entre este dois períodos.

Do ano 2000 para uma projeção de um cenário de urbanização correspondente ao ano de 2020, ou seja, para a bacia em um estado de 45,5% de impermeabilização urbana, o coeficiente “Cr_m” passará de 0,120 para 0,125 com um aumento de 4,16%, ocasionando uma vazão de pico de 13,5% maior que a atual.

Para uma chuva com Tr de 10 anos, a percentagem de elevação do coeficiente “Cr_m” de 0,105 para 0,126 foi igual a 20%, gerando um aumento de 82,86% da vazão de pico entre os anos de 1962 a 2000. Na projeção do cenário

futuro em comparação com o atual (ano de 2000), o acréscimo do valor de “ Cr_m ” de 0,126 para 0,130 será de 3,17%, com uma vazão de pico 12,4% maior.

Seguindo a mesma tendência de evolução para uma chuva com Tr de 15 anos, o coeficiente “ Cr_m ” de 0,105 para 0,126 com um acréscimo de 20% entre 1962 a 2000, aumento a vazão de pico em 82,80%. Do ano de 2000 até o cenário futuro, a projeção do coeficiente “ Cr_m ” de 0,126 para 0,130 com uma elevação de 3,17%, acima do valor atual calculado, ocasionará um acréscimo de 12,5% da vazão.

Os valores do coeficiente “ Cr_m ” para Tr de 20 anos são os que ocupam os locais mais elevados do eixo das abscissas da Figura 50, no sentido das vazões de pico mais acentuadas, uma vez que o coeficiente de escoamento superficial tende a ser maior conforme aumentam os valores do tempo de recorrência. No gráfico da Figura 50, observa-se ainda que o valor médio de “ Cr_m ” de 0,110 para 0,132 sofreu uma elevação de 20% entre 1962 a 2000, com uma vazão de pico 82,81% maior. Entre os anos de 2000 a 2020 o aumento do coeficiente “ C ” de 0,132 para 0,138 será de 4,54%, o ocasionando um agravamento de 14% na vazão de pico simulada para um Tr de 20 anos.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados fornecidos pela análise multitemporal da cobertura superficial dos solos, realizada através da quantificação das áreas permeáveis e impermeáveis do terreno, pode-se concluir que a bacia hidrográfica do rio Atuba sofreu um grande processo de impermeabilização urbana no período compreendido entre os anos de 1962 a 2000.

Em 1962 as áreas permeáveis que ocupavam 95,6% da bacia, reduziram-se para 85,3% em 1980 e para 70% em 2000. Ao mesmo tempo, as áreas impermeáveis que ocupavam 4,5% em 1962, aumentaram para 14,5% em 1980 e para 30% em 2000. Projetando-se este mesmo ritmo de adensamento urbano para um cenário futuro, ano de 2020, tem-se a elevação das áreas impermeáveis para 45,5% de toda a área da bacia.

Os resultados gerados através da aplicação dos modelos de transformação de chuva-vazão, revelam que o incremento das vazões de pico entre os anos de 1962 a 2000, também foi bastante expressivo, sendo este aumento uma consequência da impermeabilização dos solos ocasionada pelo processo de adensamento urbano na região.

Através do emprego do Método Racional modificado e adaptado para o presente estudo, verificou-se que a vazão de pico calculada para um tempo de recorrência (T_r) de 5 anos, que não ultrapassava 34,76 m³/s em 1962, aumenta para 49,79 m³/s em 1980 e para 63,54 m³/s em 2000. Para o ano de 2020 este valor foi previsto para atingir 72,12 m³/s.

Em um T_r de 10 anos, a vazão de pico aumentou de 40,73 m³/s em 1962, para 58,12 m³/s em 1980 e para 74,48 m³/s em 2000, sendo calculada para atingir 83,71 m³/s em 2020.

No T_r de 15 anos, observa-se a mesma tendência de incremento da vazão de pico. De 43,44 m³/s em 1962 a vazão de pico agrava-se para 61,99 m³/s em 1980 e para 79,41 m³/s em 2000, com uma previsão de 89,29 m³/s para o ano de 2020.

Para um T_r de 20 anos, a vazão de pico de 47,64 m³/s em 1962 eleva-se para 67,72 m³/s em 1980 e para 87,09 m³/s em 2000. No cenário futuro a vazão de pico será igual a 99,22 m³/s.

Dos dados relacionados acima se verifica que de um estado natural com apenas 4,5% de sua áreas impermeáveis em 1962, para um estado de 45,5% de áreas impermeáveis atingidas no ano de 2020, a vazão de pico na bacia hidrográfica do rio Atuba praticamente duplicará, em todos os períodos de retorno analisados.

O aumento nas vazões de pico ao longo dos anos, também foi verificado pelo emprego do Método de Ven Te Chow. Este método revela que para um Tr de 5 anos a vazão de pico elevou-se de 150,21 m³/s em 1962 para 178,50 m³/s em 1980 e, para 216,96 m³/s em 2000. Já em um Tr de 10 anos, a vazão de pico que era de 187,45 m³/s em 1962 aumentou para 218,80 m³/s em 1980 e para 261,34 m³/s em 2000.

Mantendo-se ainda a mesma tendência de evolução para um Tr de 15 anos, a vazão de pico de 212,28 m³/s em 1962 passa para 245,87 m³/s em 1980 e para 290,44m³/s em 2000. Para um Tr de 20 anos, a vazões de pico de 231,42 m³/s em 1962 aumenta para 266,22 m³/s em 1980 e para 312,63 m³/s em 2000.

Já as vazões de pico monitoradas pela estação fluviométrica do Autódromo e tratadas estatisticamente pela Distribuição de Gumbel foram de 49,31 m³/s para Tr de 5 anos; 61,38 m³/s para Tr de 10 anos; 68,10 m³/s para Tr de 15 anos e 72,94m³/s para o Tr de 20 anos.

Analisando as vazões simuladas pelo Método Racional modificado e adaptado, como as vazões obtidas pela Distribuição de Gumbel, conclui-se que existe uma boa correlação entre os resultados obtidos para o ano de 1980 e uma menor correlação para os anos de 1962 e 2000.

No ano de 1962 as vazões de pico simuladas pelo Método Racional, modificado e adaptado, foram subestimadas em: 41,85% para um Tr de 5 anos; 50,69% para um Tr de 10 anos; 56,76% para um Tr de 15 anos e em 53,11% para um Tr de 20 anos, em comparação como os valores calculados pela Distribuição de Gumbel.

O ano de 1980, que apresenta a melhor correlação entre os valores simulados, superestima a vazão de pico em apenas 0,96% para um Tr de 5 anos e subestimadas em: 5,61% para um Tr de 10 anos; 9,85% para um Tr de 15 anos e em 7,71% para um Tr de 20 anos.

No ano de 2000, a vazão de pico é superestimada em 22,40% para um Tr de 5 anos e em 17,58% para um Tr de 10 anos. Para um Tr de 15 anos a vazão é superestimada em 14,24% e em 16,25% para Tr de 20 anos.

O ano de 1962 é o ano que apresenta a pior correlação, devido ao fato da série histórica de vazões máximas diárias anuais monitoradas pela estação do Autódromo, não ser representativa do período entre 1962 a 1984, abrangendo somente o período compreendido entre 1985 a 2001.

Já no Método de Ven Te Chow observa-se uma baixa correlação das vazões de pico simuladas por este método, com as vazões obtidas pela Distribuição de Gumbel, para os três anos analisados.

Em 1962 as vazões simuladas pelo Método de Ven Te Chow são superestimadas em 67,17% para um Tr de 5 anos; 67,25% para um Tr de 10 anos; 68,01% para um Tr de 15 anos e 68,48% para um Tr de 20 anos em comparação com os valores obtidos pela Distribuição de Gumbel.

No ano de 1980 as vazões de pico foram superestimadas em 72,37% para Tr de 5 anos; 71,94% para Tr de 10 anos; 72,30% para Tr de 15 anos e em 72,60% para Tr de 20 anos. Para o ano de 2000 os valores superestimados foram em torno de 77,27% para Tr de 5 anos; 76,51% para Tr de 10 anos; 76,55% para Tr de 15 anos e em 76,67% para Tr de 20 anos.

Analisando as Tabelas 30 e 32 verifica-se que o coeficiente médio de escoamento superficial é bem mais elevado quando não se considera o efeito da declividade, que reflete as condições de armazenamento d'água na bacia hidrográfica, revelando assim, a influência da inclusão deste fator na fórmula do Método Racional para a redução dos valores das vazões de pico resultantes.

Os valores médios dos coeficientes de escoamento superficial na bacia do rio Atuba, sem levar em consideração o coeficiente de retardo, que reflete os efeitos de armazenamento d'água pela declividade do terreno mantiveram-se em: 0,76 para 1962; 0,80 para 1980 e em 0,83 para 2000. Embutindo os efeitos de armazenamento da declividade no valor do coeficiente de escoamento superficial, obteve-se a redução destes valores para: 0,10 em 1962; 0,11 em 1980 e 0,12 para o ano de 2000.

A análise dos coeficientes de escoamento superficial real médio da bacia do rio Atuba calculados para 1962, 1980, 2000 e 2020 nas mesmas condições

hidrológicas, ou seja, para solos próximos da saturação, indica que foi baixa a variação destes valores em um período de 60 anos.

Esta baixa variação do coeficiente “ Cr_m ” está condicionada a umidade antecedente do solo próxima à saturação, e ao processo de urbanização que avançou sobre um terreno naturalmente mal drenado de acordo com os aspectos geomorfológicos, topográficos, geológicos e pedológicos da região.

Quanto aos aspectos morfométricos analisados, a configuração de uma bacia bastante irregular e alongada, com fator de forma de 0,12 demonstra que o tempo de concentração do fluxo d'água até o exutório é lento na bacia em seu estado natural, com vazões mais regulares, pouco sujeitas às enchentes. Na bacia hidrográfica do rio Atuba estas características, por si só, não vêm garantindo que não ocorram extravasamentos do leito do rio com inundações ao longo de suas margens. Este fato mostra que as inundações na área em estudo, em um cenário atual e futuro, estão bem mais relacionadas aos fatores condicionados pela impermeabilização urbana do que as próprias características morfométricas da bacia.

Analisando a variação do tempo de concentração da bacia do rio Atuba em relação à impermeabilização dos solos ocorrida entre 1962 a 2000, pode-se verificar que para uma mudança na taxa de impermeabilização dos solos (A_i) de 4,5% para 30%, o tempo de concentração da bacia passou de 3 horas e 35 min para 2 horas, ou seja, ocorreu um decréscimo no tempo de concentração de 1 hora e 35 min entre este período.

Para uma projeção futura (ano de 2020) com uma área de 45,5% de impermeabilização do solo, o tempo de concentração decairá para 1 hora e 45 min, sofrendo um decréscimo de 15 min entre o cenário atual para um cenário futuro.

A partir destas constatações pode-se concluir que a densificação urbana com a conseqüente diminuição do tempo de concentração vem aumentando o volume escoado e acelerando o percurso d'água desde o ponto mais distante da bacia até a seção de interesse. Este fator faz com que o rio Atuba atinja cada vez mais rápido o seu pico de vazão de cheias.

Um outro parâmetro hidrológico analisado, que vem a evidenciar a influência da impermeabilização urbana na variação do regime hidrológico da bacia hidrográfica do rio Atuba, é o aumento do volume escoado pela diminuição da

capacidade de infiltração e de armazenamento da camada superficial do solo. Os valores de Cr_m ajustados para Tr de 5, 10, 15 e 20 anos aumentaram cerca de 20% entre o período de 1962 a 2000 e, cerca de 3% a 4,5% entre o ano de 2000 para o ano de 2020.

Os mapas de coeficientes de escoamento superficial possibilitam a visualização das regiões mais críticas ao escoamento das águas pluviais. A carta da Figura 31 representa os limites de armazenamento do solo para o ano de 1962, a Figura 32 representa situações de limites para o ano de 1980 e a Figura 33, para o ano de 2000. Através destes mapas puderam ser determinados os coeficientes médios de armazenamento superficial do solo, concluindo-se que, à medida que as áreas urbanas vão se intensificando no decorrer dos anos ocorre a diminuição das áreas com os maiores índices de capacidade de armazenamento superficial, em detrimento das áreas de menor capacidade de armazenamento.

Em condição de solos próximos à saturação o valor médio do coeficiente de armazenamento superficial do solo era de 41,81mm em 1962, quando a bacia hidrográfica do rio Atuba possuía apenas 4,5% de suas áreas impermeáveis. Este valor decresce para 36,33mm no de 1980 e para 29,83mm no ano de 2000, quando a bacia apresenta 30% de suas áreas impermeabilizadas.

Em condição de solos secos os valores médios de "S" são de 192,31mm em 1962, diminuindo para 172,93mm em 1980 e para 144,11mm em 2000. Já nos solos em condição média de saturação o valor de "S" de 93,05mm em 1962 diminuiu para 78,32mm em 1980 e para e 65,44mm no ano de 2000.

Os resultados obtidos no trabalho deixam bastante clara a correlação existente entre o aumento da impermeabilização do solo, aumento do coeficiente de escoamento superficial e aumento da vazão de pico. Na bacia hidrográfica do rio Atuba em condição III de umidade antecedente do solo, ou seja, em solos próximos à saturação, foi verificado que com o acréscimo de 10% das áreas impermeáveis entre os anos de 1962 a 1980 ocasionou um aumento 10% do volume escoado, gerando um aumento de cerca de 42% a 43% na vazão de pico.

Para o período compreendido entre os anos de 1980 a 2000 verificou-se que o acréscimo de 15% das áreas impermeáveis proporcionou um aumento de 9,5% no volume escoado, gerando um aumento de cerca de 27,5% a 28,5% da vazão de pico. No prognóstico de um cenário futuro com o incremento de 15,5% das áreas

impermeáveis entre os anos de 2000 a 2020 ocorrerá um acréscimo de 4% do volume escoado, gerando um aumento de cerca de 12,5% a 13,5% da vazão de pico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma modificação e adaptação conceitual do Método Racional, proposto, originalmente por Emil Kuichling em 1880, foi elaborada neste trabalho a partir da melhor representação da distribuição espacial dos principais parâmetros hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Atuba.

Esta adaptação, que permitiu uma melhor visualização do comportamento hidrológico da bacia, servindo de base para quantificar e investigar algumas mudanças em seus componentes hidrológicos, mudanças estas, causadas pela alteração da cobertura superficial dos solos, tais como:

- a) mudanças no comportamento de infiltração e armazenamento da camada superficial dos solos;
- b) variação do tempo de concentração da bacia;
- c) mudanças no volume de escoamento superficial e;
- d) variações das vazões de pico.

As modificações do Método Racional foram realizadas a partir do aprimoramento dos procedimentos que determinam os parâmetros necessários à aplicação da “fórmula racional”. Em relação à fórmula que lhe serviu de base, o método foi modificado nos algoritmos que envolvem a representação dos processos de escoamento superficial do terreno, considerando os seguintes aspectos:

- a) diversidade da cobertura superficial do terreno e a contribuição que cada parcela homogênea, corresponde dentro da bacia;
- b) variabilidade espacial dos tipos hidrológicos dos solos e da declividade do terreno;
- c) retardamento do escoamento da água por armazenamento na bacia, em função das declividades do terreno.
- d) umidade antecedente do solo;
- e) utilização de uma equação que determina o tempo de concentração para bacias urbanas, desenvolvida a partir de bacias com áreas superiores as áreas estipuladas pelo Método Racional;
- f) altura média da chuva, através do cálculo da precipitação média pelo Método do Polígono de Thiessen;

- g) coeficiente de abatimento da distribuição espacial da precipitação;
- h) perdas iniciais da precipitação por interceptação e evaporação, sendo esta, igual a 20% da precipitação total;
- i) efeitos da variação da cobertura superficial no aumento do escoamento superficial e das vazões de pico, através de uma análise multitemporal e;
- j) o armazenamento superficial e a infiltração da água não são constantes para toda a bacia, variando conforme variam os elementos físicos que os determinam;

Assim, as modificações mencionadas acima, forneceram uma avaliação de forma distribuída por toda a área da bacia, da influência dos tipos de cobertura superficial do terreno, dos tipos hidrológicos dos solos e da declividade do terreno nos processos de infiltração e armazenamento da água e da propagação do escoamento superficial durante os eventos de cheias.

As modificações na forma de obtenção dos parâmetros do Método Racional permitiram também, considerar a variabilidade espacial que os coeficientes “C” e “S” possuem em função destes elementos por toda a área da bacia. Já a variabilidade temporal foi verificada através da análise multitemporal de três cenários, determinados, com intervalos de 20 anos entre eles e de uma projeção futura.

Os parâmetros hidrológicos estimados para as simulações das vazões de pico dos anos de 1962, 1980 e 2000 através da construção de gráficos que ilustram a curva de tendência destes dados, puderam servir de base para a projeção quantitativa do escoamento superficial e da vazão de pico de um cenário futuro.

A inclusão da metodologia da curva número do SCS para a estimativa dos coeficientes de escoamento superficial, utilizados na “fórmula racional”, mostrou-se essencial para o melhor ajuste das vazões de pico simuladas pelo Método Racional, com as vazões de pico obtidas pela Distribuição de Gumbel.

A partir desta constatação, percebe-se que o coeficiente de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba é, significativamente dependente dos tipos e das variações da cobertura superficial do terreno e dos outros elementos físicos que o envolvem como: capacidade de armazenamento e infiltração do solo, umidade antecedente do solo, declividade do terreno e perdas iniciais da precipitação pelos processos de evaporação e interceptação.

Outro fator importante que deve ser apontado, refere-se às observações sobre as limitações que o Método Racional modificado e adaptado ainda apresenta, sendo estas as seguintes:

a) não avalia a variação do pico de vazão de cheia durante a duração de um único evento analisado;

b) apesar de levar em consideração uma perda inicial da precipitação de 20%, o método modificado não possibilita avaliar a variação da perda inicial com as alterações da bacia hidrográfica ao longo do tempo, mantendo-se este valor constante, na determinação dos coeficientes para todos os anos analisados;

c) contribuição subterrânea na vazão de pico é desprezível e;

d) não considera a variabilidade temporal da chuva de projeto, mantendo a intensidade constante em toda a sua duração, diferente dos métodos baseados nos hidrogramas unitários que exigem, que a chuva de projeto incorpore uma variabilidade temporal. Como exemplo têm-se os métodos que atribuem uma distribuição temporal arbitrária para as chuvas de projeto.

No que se refere à variabilidade espacial da precipitação da área em estudo, pode-se dizer que esta é bastante expressiva. Nos registros pluviométricos dos eventos severos analisados (Tabelas 27, 28 e 29) existe uma grande diferença no total de chuva fornecido pela estação de Colombo, situada a montante da bacia, com as demais estações situadas na proximidade de sua foz.

O método de Ven Te Chow descrito por WILKEN (1971) que utiliza a equação do SCS para o cálculo da precipitação efetiva, baseada apenas nos valores de CN, não considera a redução do escoamento superficial por armazenamento e pelas perdas iniciais, ou seja, dos valores de "S" e "Ia", assim estas diferenças não são deferidas na precipitação efetiva.

Como a eficácia do Método Racional modificado e adaptado é verificada apenas na saída de seus dados, ou seja, através da análise das vazões de pico simuladas, a escolha dos parâmetros hidrológicos utilizados, a sua determinação e as interações internas entre eles torna-se uma tarefa bastante difícil, sendo esta a face mais importante na aplicação deste método. Um mal ajuste de seus parâmetros pode distorcer completamente os dados gerados, ocasionando uma forte incerteza em sua definição.

Quanto às técnicas de fotointerpretação e de Sistemas de Informação Geográfica utilizadas no trabalho, estas em geral, apresentaram-se como uma boa alternativa para minimizar as dificuldades de espacialização dos principais elementos hidrológicos envolvidos, nos modelos de transformação de chuvas em vazões.

A partir destas técnicas pôde-se distribuir os valores das variáveis hidrológicas ao longo de toda a área da bacia, conforme cada área homogênea determinada pelos elementos físicos avaliados, permitindo assim, que a contribuição de cada parcela distinta seja contabilizada pela área que esta possui.

Essas técnicas mostraram-se eficientes também na apresentação dos resultados em forma de mapas que representam a variabilidade espacial e temporal dos parâmetros envolvidos, ou seja, tem-se aqui uma visualização espacial desses resultados. Esta visualização espacial permite identificar e localizar geograficamente as áreas de maior contribuição para o escoamento superficial, além da distribuição espacial da capacidade de infiltração e da capacidade de armazenamento dos diferentes tipos de solo.

Uma das principais vantagens no uso da técnica de fotointerpretação digital para o mapeamento de áreas permeáveis e impermeáveis, é que esta técnica permitiu fazer a combinação espacial desta informação com os outros elementos terrestres do ciclo hidrológico tais como: geologia, declividade do terreno e tipos de solos, a partir dessas informações contidas em um banco de dados georeferenciado. Isto não seria possível nos métodos que envolvem somente dados censitários, como a densidade demográfica para determinar as áreas permeáveis e impermeáveis.

O bom detalhamento da geologia e da geomorfologia da bacia do rio Atuba, foi importante para o ajuste das unidades de solos mapeadas. O mapa de solo redefinido serviu para a localização geográfica dos grupos hidrológicos dos solos e, para o cruzamento de informações em ambiente SIG, tendo como produto final à geração de novas informações espacializadas.

Enfim, pode-se concluir que o Método Racional modificado e adaptado é um modelo hidrológico que utiliza informações distribuídas da natureza topográfica, pedológica, geológica e da cobertura superficial do solo, como suas unidades espacializadas. Desta forma este método mostrou-se promissor para a estimativa e a previsão do escoamento superficial e de vazões de pico na bacia do rio Atuba.

Entretanto, recomenda-se que estudos posteriores sejam realizados para avaliar a incerteza dos resultados obtidos, mesmo que tenha ocorrido uma boa correlação das vazões simuladas Método Racional modificado e adaptado com as vazões monitoradas e tratadas estatisticamente pela Distribuição de Gumbel.

A forma de aplicação do Método Racional desenvolvida no decorrer deste trabalho pode ser testada em qualquer bacia hidrográfica de médio porte que possua dados de precipitações máximas diária, de levantamento aerofotogramétrico, e de dados cartográficos da topografia do terreno e dos tipos de solos existentes. Assim, o Método Racional adaptado e modificado torna-se mais uma alternativa para a estimativa de vazões de pico em bacia de médio porte que não possuam estações fluviométricas. Estas vantagens são importantes, principalmente em um país de grandes dimensões territoriais e com carências de informações fluviométricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE & DIVISÃO DE GEOLOGIA – IPT. (1995) **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. 1ª ed. São Paulo - SP, Editora da ABGE, 247p.

BECKER, R. D. (1982) Distribuição dos Sedimentos Cenozóicos na Região Metropolitana de Curitiba e sua Relação com a Estrutura Geológica e Morfológica. **Tese de Doutorado** - Porto Alegre – UFRS, 237 p.

BIGARELLA. J. J. et al. (2003) **Estruturas e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. 1ª ed. Florianópolis - SC, Editora da UFSC, 875 p.

CAMPANA. (1995) Impacto da Urbanização nas Cheias Urbanas. **Tese de Doutorado** em Engenharia. Instituto de Pesquisa Hidráulica – IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 185 p.

CAMPANA, N. A; TUCCI, C. E. M. (1999) Previsão da Vazão em Macro-bacias Urbanas: Arroio Dilúvio em Porto Alegre. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, vol. 4, n.1, 19 - 33 p.

CHOW V. T. et al. (1988) **Applied Hydrology**. 1ª ed. New York, McGraw Hill, 572 p.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980) **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo - SP, Edgard Blücher, 188p.

COLLISCHONN, W; TUCCI, E. M. C. (2001) Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, vol. 6, n.1, 95 – 118 p.

CORDEIRO A.; ALVES M. P.; TERAN A. L. (1999) Medidas de Controle de Cheias e Erosão. **Revista de Estudos Ambientais**. Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau –SC, vol. 1, n. 2, 27 – 45 p.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. (1997) A Distribuição e a Variabilidade das Chuvas em Curitiba. **Anais do VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada**. Curitiba - PR, Departamento de Geografia – UFPR, vol. 2, 1 CD-ROM.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. A. (1999) Cidade de Curitiba/PR e a Poluição do Ar: Implicações de seus Atributos Urbanos e Geoecológicos na Dispersão de Poluentes em Períodos de Inverno. **Tese de Doutorado** - Curso de Pós Graduação em Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas de São Paulo, São Paulo – SP, 314 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA & IAPAR – FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. (1984) **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná: Tomo- I**. Convênio EMBRAPA/SUDESUL/ Governo do Estado do Paraná/IAPAR, Londrina – PR, 412 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA & IAPAR – FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. (1984) **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná: Tomo-II**. Convênio EMBRAPA/SUDESUL/Governo do Estado do Paraná/IAPAR, Londrina – PR, 791p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA & IAPAR – FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. (1984) **Carta de Solos do Levantamento e Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**. Londrina - PR, Convênio EMBRAPA/SUDESUL/Governo do Estado do Paraná/IAPAR, escala 1:600.000.

EMBRAPA (1999) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro – RJ, Embrapa Solos, xxvi, 412 p.

ENGMAN, E. T; GURNEY, R. J. (1991) **Remote Sensing in Hydrology**. 1ª ed. New York, Chapman and Hall, 225p.

ENOMOTO, C. F. (2004) Método para Elaboração de Mapas de Inundação: Estudo de Caso na Bacia do Rio Palmital, Paraná. **Dissertação de Mestrado** - Curso de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais, Setor de Tecnologia, UFPR, Curitiba - PR, 122 p.

FRANCO, E. J. (2004) Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com Base no Método Racional. **Dissertação de Mestrado** - Curso de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais, Setor de Tecnologia, UFPR, Curitiba – PR, 131p.

FENDRICH R.; OBLADEN N. L.; AISSE M. M; GARCIAS C. M. (1997) **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4ª ed. Curitiba - PP, Editora Universitária Champagnat, 485 p.

FENDRICH, R. (2002) Coleta, Armazenamento, Utilização e Infiltração das Águas Pluviais na Drenagem Urbana. **Tese de Doutorado** - Pós Graduação em Geologia Ambiental - UFPR, Curitiba – PR 485 p.

FENDRICH, R. (2003) **Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná**. 2ª ed. rev. ampl. Curitiba-PR, Edição do autor, 101 p.

FENDRICH, R. (2005) Drenagem Urbana de Curitiba. **Revista Técnica e Revista de Engenharia Civil**. São Paulo, Editora PINI, n. 105, 54 - 59 p.

FENDRICH, R.; OLIVEIRA, G. M. (2006) Características Termo-Hidro-Pluviométrica da Estação de Curitiba – Pardo Velho na PUCPR. **Revista EC – Engenharia e Construção**. Curitiba – PR, vol. 112, 25 – 30 p.

GENZ, F.; TUCCI, C. E. M. (1995) Infiltração em Superfícies Urbanas. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, vol. 13, n.1, 77 – 103 p.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. (1998) Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH-II para Algumas Bacias Urbanas Brasileiras. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre – RS, vol. 3, n. 4, 103 -120 p.

INPE. (2005) **PROGRAMA SPRING**. Instituto de Pesquisas Espaciais, versão 4.2: Tutorial, São José dos Campos - SP, 1º CD-ROM.

IPH-UFRGS., UFPel. & DFIS-FURG. (2004) **Modelo IPH-S1: Manual de Fundamentos**. Porto Alegre - RS, versão preliminar.

LENCASTRE, A.; FRANC, F. M. (1984) **Lições de Hidrologia**. 1ª ed. Lisboa - Portugal, Universidade Nova de Lisboa, Editora da Universidade, 451 p.

LIANG, X.; LETTENMAIER, D. P.; WOOD, E. F.; BURGESS, S. J. A. (1994) Simple Hydrologically Based Model of Land Surface Water and Energy Fluxes General Circulation Models. **Jornal of Geophysical Research**, vol. 99, number D7, 14.415 – 14.428 p.

LIMA, R. E. (2000) **Uso dos Solos e dos Rios: Conceitos Básicos e Aplicações para a Região de Curitiba - PR**. 1ª ed. Curitiba – PR, Editora do NIMAD – UFPR, 194 p.

LOPES, J. A. U. (1966) Nota Explicativa da Folha Geológica de Curitiba. **Boletim Geológico da UFPR** - Contribuição da Comissão de Carta Geológica do Paraná. Curitiba – PR, n. 20.

MAACK, R. (1981) **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba - PR, Codipar.

MENDES, C. A. B. (1996) Integração de Modelos Hidrológicos e Sistema de Informações Geográficas: Fundamentos. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre – RS, vol.1, n.1, 47 – 66 p.

MENDONÇA, F. A. (2001) **Clima e Criminalidade - Ensaio Analítico da Correlação Entre a Temperatura do Ar e a Incidência de Criminalidade Urbana**. Curitiba - PR, Editora da UFPR, 168 p.

MINENOPAR - SERVIÇOS GEOLÓGICOS E PESQUISA MINERAL & COMEC (1994) **Mapeamento Geológico Geotécnico na Região do Alto Iguaçu**. Curitiba – PR, vol 1 e 3.

OSTA A. J. S. T. da. A. (1997) Influência da Urbanização no Comportamento Hidrológico de Bacias de Drenagem - Município do Rio de Janeiro – RJ. **Anais do VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Fórum Latino-Americano de Geografia Física Aplicada**. Curitiba - PR, Departamento de Geografia – UFPR, vol. 2, 1 CD-ROM.

PAREDES, E. A. (1994) **Sistema de Informação Geográfica: Princípios e Aplicações (Geoprocessamento)**. 1ª ed. São Paulo – SP, Érica LTDA, 675 p.

PEREIRA; NENTWIZ SILVA (2001) Geoprocessamento e Urbanismo in. GERARDI; MENDES. **Teorias, Técnicas, Espaço e Atividades Temáticas de Geografia Contemporânea**. Programa de Pós Graduação em Geografia – UNESP / Associação de Geografia Teórica – AGETEO, Rio Claro – SP, Edição do autor, 97 -137 p.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. (2004) **Escoamento Superficial**. 2ª ed. Viçosa – UFV. Edição do Autor.

ROCHA, C. H. B. (2000) **Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar**. 1ª ed. Juiz de Fora - MG, Edição do Autor, 220 p.

SALAMUNI, E. (1998) Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba - PR. **Tese de Doutorado** - Inst. de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 211 p.

SANTOS, R. dos; TUCCI, E. M. C.; SILVEIRA, A.; FILHO, A. S. M. (2001) Estimativa do Hidrograma de Projeto com Base na Incerteza dos Parâmetros do Modelo. **RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH- Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, vol. 6, n.1, 21- 28 p.

SEAB - SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO & ITCF - INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E FLORESTAS (1987) **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba - PR.

SEPL - SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL & PROSAM - PROGRAMA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. (1996) **Parque e Controle de Cheias do Alto Iguaçu: Estudos Hidrológicos - Hidrodinâmicos do Rio Iguaçu**. Curitiba - PR, vol 1 e 2.

SILVA, J. XAVIER DA. (2001) **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. 1ª ed. Rio de Janeiro – RJ, Edição do autor, 228 p.

SILVEIRA. A. L. LOPES. (2001) Abatimento Espacial da Chuva em Porto Alegre. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre -RS, vol. 6, n. 2, 15- 28 p.

SILVEIRA, A, L, LOPES. (2005) Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre -RS, vol. 10, n. 1, 5 – 23 p.

SOUZA PINTO N. L de et al. (1976) **Hidrologia Básica**. 2º ed. São Paulo - SP, Edgard Blücher, 278 p.

SPIN, A. W. (1995) **O Jardim de Granito: A Natureza no Desenho da Cidade**. Tradução de Paulo Renato Mesquita Pellegrino. 1ª ed. São Paulo - SP, Editora da Universidade Federal de São Paulo.

SUDERHSA – SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL & SEMA – SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. (2002) **Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba - PR, Relatório Final, vol. 3 e (10 - Síntese).

TEIXEIRA, A. L. A; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. (1992) **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. 1ª ed. Rio Claro - SP, Edição do Autor, 80 p.

TUCCI C. E. M. et al. (1993) **Hidrologia: Ciência Aplicação**. 1ª ed. Porto Alegre - RS, Editora da UFRGS, ABRH, EDUSP, vol 4, 942 p.

TUCCI C. E. M. et al. (1995) **Drenagem Urbana**. 1ª ed. Porto Alegre - RS, Editora da UFRGS, 428 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. (1998) Impactos das Mudanças da Cobertura no Escoamento. **Anais do I - Fórum Geo-Bio Hidrologia**. Instituto de Pesquisa Hidráulica – IPH - UFRGS, Curitiba – PR, 1998.

TUCCI, C. E. (2000) Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre -RS, vol. 05. n. 1, 61 -68p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975) **Hidrologia Aplicada**. 1ª ed. São Paulo - SP, Editora McGraw-Hill do Brasil 278 p.

XAVIR, J. SILVA da. (2001) **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. 1ª ed. Rio de Janeiro -RJ, Copyright, 228 p.

WILKEN, P. S. (1971) **Águas Pluviais: Contribuição ao Estudo dos Métodos de Dimensionamento de Estruturas Hidráulicas para o Esgotamento de Águas Pluviais**. 1ª ed. São Paulo, Edição do autor.

WOOD, E. F.; SIVAPALAN, M.; BEVEN, K.; BAND, L. (1988) Effects of Spatial Variability and Scale With Implications to Hydrologic Modeling. **Journal of Hydrology**. vol. 102, 29-47 p.

Anexo 1- Dados das vazões máximas diária anual da estação fluviométrica do Autódromo.

Código ANEEL: 65007045
 Estação: TERMINAL AFONSO CAMARGO
 Município: Curitiba
 Rio: ATUBA
 Bacia: Iguaçu
 Sub-bacia: 1
 Área drenagem: 127 Km²
 Latitude: 25° 26' 33"
 Longitude: 49° 12' 00"
 Altitude: 875 m
 Tipo: FFRQDS
 Entidade: SUDERHSA
 Data instalação: 22/03/1984
 Data extinção: 31/03/1999

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1984

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	*	*	*	1,48	5,69	0,97	1,37	1,07	1,82	1,37	1,37	3,15
2	*	*	*	1,42	2,65	0,97	1,27	1,54	1,37	1,27	1,65	1,53
3	*	*	*	1,42	1,99	0,97	1,22	1,93	1,27	1,27	2,45	1,47
4	*	*	*	1,64	1,88	0,97	2,01	1,47	1,27	1,17	8,26	1,37
5	*	*	*	1,37	1,70	0,97	1,37	2,04	1,37	1,37	8,93	1,37
6	*	*	*	1,42	1,59	0,97	1,17	2,40	1,37	1,59	10,56	1,71
7	*	*	*	1,42	1,53	0,89	3,35	2,63	1,27	1,59	2,32	6,95
8	*	*	*	1,42	1,53	0,93	1,42	1,82	1,47	1,47	2,05	4,29
9	*	*	*	1,47	1,47	1,12	1,42	1,70	1,37	1,47	2,38	1,82
10	*	*	*	1,42	1,47	1,17	1,47	1,54	1,27	1,37	1,32	1,88
11	*	*	*	1,42	6,82	1,07	1,53	1,37	1,27	1,27	1,32	1,82
12	*	*	*	1,42	3,11	0,97	1,47	1,27	1,17	1,07	4,91	3,10
13	*	*	*	1,37	1,88	6,46	1,42	1,27	1,27	1,07	1,93	8,32
14	*	*	*	9,37	6,64	15,49	1,42	1,27	1,27	1,07	1,88	10,26
15	*	*	*	2,26	2,65	7,93	1,37	1,32	1,17	1,07	1,82	1,37
16	*	*	*	1,48	1,53	2,61	1,42	1,53	1,27	1,07	3,75	1,37
17	*	*	*	1,42	1,82	2,61	1,37	1,27	1,27	1,07	3,32	3,32
18	*	*	*	1,42	1,88	1,93	1,37	1,37	1,37	2,26	2,05	3,27
19	*	*	*	1,82	2,18	1,47	1,17	1,37	1,27	1,93	1,37	1,82
20	*	*	*	1,47	1,82	1,47	1,17	1,27	4,24	1,82	2,05	1,82
21	*	*	*	1,37	1,27	1,42	1,27	3,32	4,73	1,37	1,93	1,37
22	*	*	1,47	1,37	1,07	1,37	1,47	3,96	1,47	1,37	1,82	1,47
23	*	*	1,50	1,37	1,07	1,47	1,37	7,69	1,37	1,27	1,37	1,47
24	*	*	1,17	2,05	0,97	1,47	1,32	1,93	1,37	1,27	1,37	1,37
25	*	*	1,22	1,37	0,97	1,37	1,27	5,17	1,94	1,27	3,57	1,47
26	*	*	1,17	1,37	0,97	1,37	1,27	2,59	10,96	1,27	3,19	1,37
27	*	*	1,12	1,37	1,02	1,37	1,27	2,25	2,65	1,27	1,37	1,37
28	*	*	1,76	1,37	0,97	1,37	1,37	1,99	1,47	1,37	1,37	1,37
29	*	*	5,71	2,03	0,97	1,27	1,37	1,82	1,47	1,37	1,37	1,47
30	*	*	3,19	3,34	1,02	1,32	1,27	1,82	1,27	1,37	1,27	2,23
31	*	*	1,99	*	0,97	*	1,27	1,82	*	1,37	*	2,12

Valores característicos mensais

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	*	*	9,94	10,68	11,71	16,23	5,00	12,79	14,75	2,59	13,06	
Mínima	*	*	0,97	1,37	0,97	0,89	1,17	1,07	1,17	1,07	1,17	
Média	*	*	2,03	1,83	2,04	2,19	1,43	2,12	1,94	1,36	2,81	

Valores característicos anuais

Máxima: 16,23 m³/s em 14/06/1984
 Mínima: 0,89 m³/s em 07/06/1984
 Média: 2,03 m³/s

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1985

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1,59	1,37	2,87	1,59	2,55	1,47	1,47	1,37	4,16	1,37	1,27	1,27
2	1,47	1,37	2,87	1,59	2,22	1,76	1,59	1,37	3,40	1,32	1,59	1,27
3	1,47	1,37	2,72	1,37	2,05	5,16	1,59	1,37	4,13	1,27	1,37	1,27
4	1,37	1,42	2,05	1,47	2,05	6,14	1,59	1,37	1,93	1,27	1,93	1,27
5	1,47	1,47	2,91	2,72	1,59	4,29	1,59	1,37	1,65	1,27	1,82	1,27
6	1,47	1,47	3,96	3,63	1,59	3,47	2,76	1,37	1,37	1,32	1,82	1,27
7	1,59	1,37	3,80	2,87	1,53	2,72	1,88	1,37	1,27	1,82	1,37	1,27
8	2,05	1,37	3,40	1,47	1,47	2,38	1,59	1,37	1,27	1,37	1,27	1,27
9	1,37	1,37	3,06	1,47	1,47	2,05	1,59	1,37	1,27	1,37	1,27	1,07
10	1,37	1,65	3,10	1,37	1,47	2,05	1,47	1,37	1,37	1,37	1,27	1,07
11	1,37	2,78	1,93	2,72	1,47	2,05	1,47	1,37	1,37	1,27	1,27	1,22
12	1,32	1,70	1,93	1,70	1,47	1,47	1,47	1,37	1,27	1,27	1,27	1,07
13	1,27	2,10	1,93	1,70	1,37	1,47	1,47	1,37	1,27	1,27	1,37	1,07
14	1,27	2,87	1,93	1,59	1,37	1,47	1,47	1,37	1,27	1,27	1,37	1,07
15	1,27	2,87	1,42	1,59	1,37	1,47	1,47	1,37	1,27	1,07	1,37	1,07
16	1,59	3,32	1,37	12,71	1,27	1,47	1,47	1,37	1,17	1,22	1,37	1,07
17	1,47	3,02	2,38	4,13	1,27	1,47	1,47	1,37	1,17	1,27	1,37	1,07
18	1,47	5,18	4,29	3,96	1,27	1,47	1,47	1,37	1,17	1,27	1,37	1,07
19	1,59	5,21	3,47	3,96	1,27	1,47	1,47	1,37	1,27	1,27	1,37	1,07
20	1,82	5,73	3,47	2,72	1,27	1,47	1,47	1,37	1,37	1,65	1,27	1,07
21	4,29	12,47	3,02	2,59	1,59	1,47	1,37	1,37	1,37	1,65	1,17	1,27
22	5,05	6,18	3,02	2,59	1,27	1,47	1,37	1,37	1,37	1,27	1,17	1,27
23	7,21	3,63	4,29	1,70	1,27	1,47	1,37	1,37	1,37	1,27	1,17	1,17
24	3,61	3,63	1,59	1,64	1,27	1,47	1,37	1,37	1,27	1,27	1,37	1,17
25	1,93	3,63	1,59	1,59	1,47	1,47	1,37	1,37	1,27	1,37	1,37	1,27
26	1,93	3,47	1,53	1,82	1,47	1,47	1,37	1,37	1,27	1,37	1,37	2,35
27	1,47	3,47	1,37	1,59	1,47	1,47	1,37	1,27	1,37	1,37	1,37	1,59
28	1,47	3,32	4,29	1,61	1,47	1,47	1,37	1,27	1,48	1,65	1,27	1,53
29	1,47	*	2,72	1,82	1,47	1,37	1,37	1,27	2,87	1,37	1,27	1,27
30	1,42	*	1,59	1,47	1,47	1,37	1,37	1,27	2,87	1,37	1,27	1,37
31	1,37	*	1,59	*	1,47	*	1,37	2,59	*	1,32	*	1,42

Valores característicos mensais

Máxima	8,28	17,77	4,29	14,75	2,72	8,28	3,47	2,72	5,00	1,93	1,93
Mínima	1,27	1,37	1,27	1,37	1,27	1,37	1,37	1,27	1,17	1,07	1,17
Média	1,96	3,17	2,63	2,49	1,52	2,04	1,51	1,40	1,70	1,35	1,37

Valores característicos anuais

Máxima:	17,77 m ³ /s em 21/02/1985
Mínima:	1,07 m ³ /s em 15/10/1985
Média:	1,86 m ³ /s

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1986

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1,48	1,48	2,38	0,77	0,99	1,06	0,66	0,68	0,94	0,80	0,85	2,48
2	1,37	1,48	1,93	0,82	0,90	1,04	0,62	0,66	0,89	0,79	0,79	1,99
3	1,37	1,48	1,27	0,77	0,85	0,86	0,68	0,57	0,87	0,71	6,18	10,46
4	1,48	1,37	0,99	0,77	0,80	0,94	0,64	0,61	0,97	0,92	2,79	3,05
5	1,37	1,37	0,92	0,71	0,79	0,92	0,62	0,59	2,39	0,66	1,14	2,05
6	1,37	1,27	0,89	0,75	0,66	0,89	0,66	0,70	1,19	0,66	5,42	1,75
7	1,59	0,70	0,82	0,92	0,85	0,86	0,73	0,64	0,96	0,61	1,77	1,57
8	3,32	0,62	0,80	0,77	0,83	0,82	0,73	0,57	0,89	0,75	1,24	4,20
9	3,50	1,02	0,66	0,82	1,09	0,85	0,68	0,59	0,89	0,62	0,83	2,08
10	1,82	1,19	0,66	0,97	0,99	0,85	0,66	0,55	0,89	2,79	3,05	1,69
11	1,59	0,55	0,77	0,70	0,83	0,85	0,73	0,66	0,75	1,14	9,59	1,49
12	1,93	0,52	0,82	1,99	4,13	0,79	0,84	3,96	0,76	0,92	3,71	1,37
13	2,72	1,09	0,68	0,89	2,75	0,71	0,59	3,17	0,75	0,85	1,94	1,27
14	2,47	0,77	0,70	2,23	1,83	0,85	0,64	8,90	0,70	0,70	1,80	10,56
15	1,17	0,73	0,70	3,18	1,46	0,87	0,66	3,05	0,73	0,79	1,40	2,22
16	1,17	0,70	0,68	1,37	1,29	0,71	0,62	3,17	0,64	0,77	1,24	1,51
17	1,17	1,02	1,91	0,99	1,14	0,73	0,59	2,03	0,70	0,75	1,19	2,49
18	1,17	1,00	1,28	0,99	4,16	0,77	0,61	1,40	0,75	3,17	1,06	29,18
19	1,22	1,40	1,57	0,89	2,18	0,73	0,62	1,34	2,44	5,90	1,06	8,26
20	8,41	0,99	0,84	0,79	1,63	0,75	0,59	1,40	2,43	2,32	2,79	4,26
21	3,59	1,40	1,19	4,65	1,09	1,04	3,34	1,19	0,94	3,24	1,09	6,26
22	1,70	1,31	0,73	2,42	1,17	0,62	1,20	1,09	0,86	1,19	1,02	3,45
23	1,59	1,04	1,03	1,40	1,17	0,82	0,86	5,51	0,79	1,31	0,85	2,98
24	1,47	1,29	0,66	1,14	1,04	0,70	0,72	2,09	0,79	0,89	0,68	2,12
25	1,37	0,99	2,40	1,04	0,95	0,66	0,70	1,48	1,09	1,06	0,87	1,80
26	1,48	1,74	1,19	1,43	1,09	0,62	0,75	1,29	1,40	1,12	6,05	1,57
27	1,76	0,89	1,75	1,48	0,92	0,71	0,66	1,09	0,99	0,97	4,45	1,90
28	1,70	0,99	1,06	1,06	1,04	0,70	0,64	0,99	1,06	0,89	3,08	7,40
29	2,06	*	0,99	0,97	0,90	0,64	0,70	1,14	1,02	0,87	2,35	3,18
30	2,00	*	0,84	0,99	1,21	0,70	0,61	0,89	0,85	0,87	2,92	2,66
31	4,82	*	0,99	*	2,03	*	0,66	0,94	*	0,80	*	2,02

Valores característicos mensais

Máxima	11,45	2,45	2,99	8,06	7,50	1,24	6,20	11,20	3,64	7,64	12,04
Mínima	1,17	0,48	0,55	0,59	0,62	0,48	0,48	0,48	0,55	0,52	0,59
Média	2,10	1,08	1,10	1,29	1,38	0,80	0,77	1,71	1,04	1,29	2,44

Valores característicos anuais

Máxima:	30,60 m ³ /s em 18/12/1986
Mínima:	0,48 m ³ /s em 12/02/1986
Média:	1,60 m ³ /s

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1987

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1,69	0,79	0,96	0,75	0,85	1,66	1,29	0,92	0,77	3,78	0,75	0,62
2	1,66	2,13	0,94	3,90	0,79	1,43	1,24	0,94	0,80	3,54	0,75	0,59
3	1,40	1,63	0,92	3,51	0,81	1,46	1,22	0,94	1,06	1,75	0,95	0,57
4	1,35	1,84	0,92	1,34	0,84	1,46	1,19	0,90	0,79	1,46	0,71	2,25
5	1,29	1,84	0,76	1,02	0,99	1,38	1,17	0,92	0,75	1,37	1,04	0,84
6	1,31	1,66	0,87	0,94	2,12	3,87	1,19	2,42	1,14	2,65	0,81	0,84
7	1,19	2,91	0,94	0,94	5,80	1,97	1,14	1,27	0,79	1,40	0,73	0,80
8	1,17	4,83	0,90	0,85	20,60	1,51	3,90	1,06	0,77	1,22	1,91	0,77
9	1,09	3,05	0,90	0,84	5,19	1,40	2,35	0,94	0,75	1,06	1,40	0,89
10	2,16	1,89	1,17	0,88	2,72	1,32	1,69	1,00	0,73	0,94	0,89	0,84
11	2,84	1,51	0,77	0,91	2,02	1,19	1,46	0,92	1,86	0,92	0,89	2,37
12	1,40	1,43	0,86	2,51	2,80	1,19	1,37	0,90	1,14	0,90	0,89	0,92
13	1,35	2,69	0,80	1,14	2,22	1,73	1,41	0,85	0,88	1,54	0,82	0,82
14	1,19	1,72	0,79	8,93	2,06	7,15	1,24	0,84	0,85	1,22	1,02	0,81
15	1,04	6,56	0,75	2,75	15,54	20,60	1,17	0,79	0,79	1,14	1,17	0,77
16	5,48	2,75	0,77	1,80	5,71	5,93	1,19	2,30	3,79	1,91	1,14	0,77
17	5,25	2,08	0,83	1,31	3,42	3,61	1,11	3,11	1,75	0,93	0,82	0,73
18	2,22	2,16	0,75	1,11	3,05	2,95	1,09	1,17	1,29	0,99	0,75	11,50
19	4,84	1,88	0,85	1,04	5,72	2,51	1,09	0,99	1,09	4,56	0,77	2,69
20	2,18	3,21	0,77	9,62	14,14	2,32	1,09	0,94	0,92	1,72	0,73	1,02
21	1,43	1,92	0,77	1,99	9,41	1,99	1,09	0,92	1,19	1,40	0,73	1,14
22	1,32	1,86	0,73	1,34	5,00	1,86	1,11	0,90	1,04	1,22	0,66	1,32
23	1,63	1,63	0,70	1,14	3,71	2,28	1,09	0,86	1,01	1,09	0,68	1,19
24	1,43	1,51	0,73	1,06	2,92	2,06	1,09	0,85	1,17	1,04	0,68	1,09
25	1,32	1,31	0,73	0,99	2,58	1,66	0,93	0,88	0,99	1,02	0,58	1,02
26	1,35	1,29	0,66	0,90	2,28	1,63	0,94	0,86	0,90	1,02	0,71	0,99
27	1,86	1,31	1,84	0,97	2,12	1,49	0,97	0,86	0,85	0,94	0,66	0,94
28	1,17	1,19	0,81	0,92	2,18	1,40	0,94	0,85	0,88	1,53	0,64	1,02
29	0,92	*	0,75	1,49	2,02	1,44	0,92	0,89	1,64	0,94	0,55	0,99
30	1,04	*	0,75	0,90	1,75	1,25	1,49	0,95	1,04	0,84	0,66	0,97
31	1,02	*	0,75	*	1,63	*	0,99	0,85	*	0,79	*	1,11

Média 1,58 3,08 2,94 1,82 2,69 2,45 2,50 1,57 5,69 4,46 2,22
2,33

Valores característicos anuais
Máxima: 32,80 m³/s em 14/05/1993
Mínima: 0,70 m³/s em 02/01/1993
Média: 2,77 m³/s

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1994

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1,46	3,57	1,92	2,32	1,46	3,93	1,69	1,93	1,30	1,24	2,02	1,69
2	1,76	2,25	1,92	1,57	1,46	1,86	6,92	1,92	1,09	2,43	1,48	1,51
3	2,25	2,25	1,80	1,51	1,46	1,72	10,11	1,92	1,35	3,41	1,34	1,46
4	1,69	2,45	1,77	1,48	1,37	3,73	3,24	1,92	1,32	1,54	1,43	1,66
5	1,66	2,72	1,69	1,48	1,37	2,05	3,39	1,80	1,37	1,27	1,46	3,56
6	1,57	3,67	1,66	1,46	1,35	1,84	2,98	2,12	1,32	1,24	2,19	9,54
7	1,51	2,35	1,69	1,48	1,35	1,83	4,45	1,92	1,31	1,22	3,47	5,25
8	2,94	5,06	9,13	1,40	1,29	1,92	4,32	2,05	1,14	1,25	1,95	2,78
9	1,96	5,25	5,23	1,40	1,29	1,66	2,75	1,80	1,24	1,19	2,85	2,62
10	2,28	2,58	2,85	1,35	1,27	1,66	2,58	1,75	1,24	1,11	2,18	2,05
11	1,51	2,91	2,58	1,60	1,29	1,51	2,28	1,75	1,24	1,11	1,69	2,05
12	1,51	3,35	2,06	5,32	7,72	1,54	2,18	1,66	1,30	1,06	1,48	1,77
13	1,49	2,58	2,08	3,01	2,58	1,54	2,05	1,60	1,24	1,14	5,38	2,85
14	1,51	2,32	1,99	2,32	1,86	1,48	1,75	1,69	1,30	1,17	2,65	3,89
15	4,20	2,51	1,93	2,07	1,75	1,46	2,18	1,66	1,34	1,17	2,05	2,59
16	1,92	2,52	1,80	2,95	1,89	1,46	2,62	1,80	1,30	1,14	1,80	2,65
17	1,57	2,22	1,86	1,63	1,57	1,40	1,93	1,94	1,27	1,40	3,80	2,12
18	1,93	2,12	1,72	1,60	1,63	1,43	1,86	1,69	1,30	1,60	4,78	1,77
19	2,52	3,33	1,63	1,46	1,51	1,91	1,99	1,60	1,32	2,19	2,51	1,92
20	1,63	3,54	1,63	1,46	1,51	4,91	1,69	1,69	1,30	1,30	2,58	1,77
21	2,08	3,11	1,66	1,46	1,49	5,18	1,69	1,57	1,24	1,30	2,02	1,77
22	3,84	2,18	1,77	1,99	1,40	2,72	3,04	1,46	1,14	1,47	1,83	1,92
23	2,45	1,92	1,63	1,75	1,43	2,25	5,39	1,43	1,14	1,31	1,69	2,92
24	1,93	2,94	1,49	1,57	3,04	2,05	2,51	1,46	1,11	1,32	1,66	2,18
25	1,95	2,12	1,81	1,48	1,92	3,74	3,50	1,49	1,14	1,79	1,54	1,77
26	2,00	2,02	1,51	2,35	3,97	2,35	5,82	1,46	1,19	4,56	1,54	4,09
27	3,97	3,30	1,57	1,87	2,15	1,99	2,42	1,40	1,14	4,98	2,39	1,77
28	2,92	2,18	1,60	2,30	1,84	1,95	2,22	1,43	1,32	2,55	2,62	1,86
29	3,58	*	1,51	1,54	1,72	1,84	2,08	1,43	1,14	1,80	2,55	1,77
30	2,58	*	1,40	1,57	1,57	1,69	2,25	1,40	1,19	1,69	1,92	3,75
31	6,38	*	3,10	*	1,63	*	1,99	1,35	*	1,63	*	3,06

Valores característicos mensais

Máxima 8,20 8,20 16,46 9,30 10,17 6,27 13,60 2,32 1,46 6,20 7,50
15,18
Mínima 1,34 1,34 1,29 1,24 1,14 1,24 1,57 1,19 0,99 0,99 1,34
1,34
Média 2,34 2,83 2,19 1,89 1,91 2,22 3,09 1,68 1,24 1,73 2,30
2,66

Valores característicos anuais

Máxima: 16,46 m³/s em 08/03/1994
Mínima: 0,99 m³/s em 24/09/1994
Média: 2,17 m³/s

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1995

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1,86	3,26	2,75	1,92	2,32	1,75	1,77	1,87	1,71	3,45	3,30	2,29
2	1,80	15,48	2,65	2,13	2,08	1,95	1,86	1,87	1,67	3,46	3,50	3,05
3	1,80	8,08	3,16	2,08	2,32	1,83	1,72	2,04	2,08	3,30	3,05	2,61
4	2,05	6,03	3,42	2,61	2,18	1,96	1,77	14,40	2,54	3,45	3,10	2,90
5	1,86	4,06	3,29	2,65	2,18	1,66	1,86	3,81	2,27	3,10	3,45	2,77
6	2,28	4,71	3,32	2,12	1,95	1,86	2,06	4,60	2,70	5,20	2,65	2,00
7	29,13	3,90	3,39	2,18	2,65	2,10	5,04	3,81	1,52	3,46	2,77	2,90
8	11,20	6,59	3,45	2,12	2,18	1,77	7,05	2,90	1,55	3,35	2,52	2,30
9	8,36	8,63	3,26	2,25	2,35	1,81	3,06	2,85	1,44	2,90	2,60	2,57
10	7,67	5,56	3,32	2,32	2,95	1,66	3,26	2,95	1,44	2,90	2,38	2,56
11	8,63	4,06	3,39	1,72	2,08	1,49	1,86	3,10	1,94	2,56	2,47	2,57
12	9,93	5,92	3,23	1,90	1,92	1,43	1,75	2,64	5,03	2,52	2,57	4,34
13	9,30	4,71	3,19	1,99	1,89	1,63	1,89	2,64	1,66	3,61	3,25	7,20
14	9,55	6,03	3,74	1,48	1,86	1,86	1,72	1,91	1,79	3,00	3,15	3,05
15	4,88	4,00	3,61	1,46	1,86	1,72	1,86	2,13	1,48	3,25	3,30	3,05
16	5,73	3,84	4,22	1,72	1,86	1,75	1,96	3,05	1,63	3,25	4,03	3,00
17	4,88	3,84	3,26	1,99	2,35	4,25	1,72	1,87	1,63	7,30	3,66	2,75
18	3,96	3,96	3,32	2,03	2,22	1,63	1,57	2,13	1,52	3,20	2,57	1,55
19	5,74	9,05	3,19	1,57	2,08	1,40	1,75	2,17	1,55	4,34	1,91	1,48
20	5,92	4,22	2,82	1,99	2,12	1,57	1,51	2,30	4,58	4,34	3,25	1,44
21	6,09	4,32	2,89	2,38	2,03	1,60	1,60	2,53	2,21	3,66	3,15	1,44
22	5,74	4,39	2,89	2,51	1,99	1,86	1,46	2,47	3,24	3,45	2,21	1,40
23	6,09	4,71	2,51	1,86	2,58	1,46	1,35	2,47	12,65	3,25	2,21	1,29
24	4,22	3,19	2,35	1,66	3,09	1,89	1,31	2,48	8,25	3,25	1,96	1,44
25	3,42	3,36	2,25	1,77	1,92	12,30	1,32	2,04	3,66	3,66	2,47	1,40
26	3,97	3,32	2,32	2,08	1,93	2,85	1,40	2,52	3,76	3,88	3,05	9,70
27	3,35	3,32	2,02	1,93	1,87	1,77	1,29	1,79	4,38	4,33	3,68	5,10
28	3,35	2,99	2,18	2,06	1,77	2,09	1,86	1,67	13,60	3,45	3,30	5,60
29	3,32	*	2,12	2,35	1,75	1,93	1,48	1,44	4,84	3,45	1,48	13,60
30	3,19	*	2,05	2,25	1,69	1,86	1,60	1,48	3,55	3,10	1,48	5,35
31	3,38	*	1,99	*	1,84	*	1,32	1,74	*	3,40	*	4,02

Valores característicos mensais

Máxima 44,65 24,70 4,55 2,72 3,26 14,70 7,50 15,00 19,50 10,00 4,60
19,50
Mínima 1,57 2,92 1,92 1,34 1,46 1,34 1,24 1,40 1,18 2,38 1,40
1,18
Média 5,89 5,20 2,95 2,04 2,12 2,22 2,03 2,83 3,40 3,57 2,81
3,44

Valores característicos anuais
 Máxima: 44,65 m³/s em 07/01/1995
 Mínima: 1,18 m³/s em 15/09/1995
 Média: 3,20 m³/s

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1996

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	2,77	2,77	4,34	3,45	1,18	2,00	2,29	1,87	3,36	2,47	8,40	2,00
2	2,67	2,40	8,25	3,35	2,72	2,38	2,17	1,59	1,67	2,60	4,13	2,00
3	2,38	2,82	3,92	3,20	2,34	1,67	5,10	1,59	11,71	11,30	4,23	2,85
4	2,95	3,05	3,25	3,00	2,25	1,40	3,40	1,40	2,29	3,97	3,40	2,85
5	2,34	3,98	2,72	3,35	2,25	2,45	3,30	1,59	2,00	4,23	3,30	2,13
6	2,29	7,30	3,41	3,45	2,04	1,72	3,15	1,59	1,63	3,66	3,20	2,47
7	3,00	3,92	3,35	3,05	2,85	1,40	5,09	1,66	1,66	2,51	3,05	2,34
8	3,25	3,25	3,35	2,08	2,52	1,40	12,50	1,59	19,78	2,40	5,60	2,13
9	19,35	15,15	9,70	3,15	2,38	1,48	13,15	2,66	6,70	2,51	4,29	1,63
10	11,85	6,65	3,88	3,25	3,00	1,55	3,15	6,65	14,35	4,88	3,05	1,96
11	8,25	10,78	3,20	3,20	3,15	1,44	3,40	2,21	3,31	3,05	4,23	9,22
12	4,18	8,25	2,38	2,95	1,55	1,52	3,25	2,04	3,97	5,33	3,35	5,18
13	3,00	3,92	3,25	3,10	1,44	1,48	3,25	1,71	3,25	3,35	3,30	3,56
14	6,38	3,45	2,90	3,45	1,40	1,59	3,20	6,45	2,85	4,08	3,77	2,65
15	2,60	3,46	2,80	2,52	3,05	1,59	3,35	3,30	3,15	2,85	11,40	2,95
16	3,25	3,20	2,57	3,40	2,47	3,00	3,05	1,55	3,25	3,25	5,60	2,38
17	3,68	3,25	2,90	3,25	2,65	4,08	1,37	1,79	4,34	2,57	3,61	2,95
18	2,72	3,45	2,57	2,67	2,81	3,61	2,52	1,63	3,97	2,04	3,46	2,38
19	2,70	3,30	4,45	3,00	1,80	1,52	1,59	1,51	3,10	15,98	3,15	2,29
20	2,62	3,10	5,10	2,57	1,52	1,40	1,55	1,79	1,48	6,25	2,75	3,82
21	2,70	3,45	3,81	1,96	1,48	1,44	1,55	2,80	1,48	6,45	2,90	2,29
22	5,98	2,57	10,60	1,63	1,33	1,59	1,52	2,05	3,10	4,02	2,38	13,05
23	3,88	2,25	4,50	1,44	1,55	1,48	2,21	1,93	1,63	3,97	2,75	5,34
24	3,55	2,13	3,45	1,33	1,44	1,59	1,87	1,66	2,51	3,30	2,65	3,56
25	3,25	2,25	3,10	1,48	1,44	2,52	1,59	2,42	4,90	9,05	2,65	3,00
26	3,60	5,59	3,81	1,44	2,42	1,51	1,91	2,51	4,85	3,61	2,55	18,38
27	3,50	2,00	13,60	1,48	1,48	6,65	1,48	1,63	4,95	11,32	2,13	16,30
28	3,25	3,25	6,65	2,39	1,33	2,80	1,48	1,66	10,33	4,90	2,04	6,10
29	3,25	3,45	5,10	2,04	1,48	6,78	1,66	1,63	4,54	3,81	1,96	6,88
30	2,57	*	3,45	3,15	1,44	3,40	1,63	1,59	3,15	4,13	2,13	5,25
31	2,34	*	3,20	*	1,52	*	1,75	1,33	*	3,87	*	3,66

Valores característicos mensais

Máxima	28,70	18,00	19,50	3,66	3,35	10,00	13,80	11,20	38,00	29,42	20,25
Mínima	2,13	1,87	2,21	1,18	1,11	1,26	1,11	1,26	0,91	1,87	1,87
Média	4,20	4,29	4,50	2,66	2,01	2,28	3,18	2,17	4,64	4,76	3,71

Valores característicos anuais

Máxima: 38,00 m³/s em 08/09/1996
 Mínima: 0,91 m³/s em 03/09/1996
 Média: 3,58 m³/s

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1997

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	3,05	3,30	2,80	1,22	0,61	0,89	3,05	0,95	0,93	3,05	2,34	1,63
2	3,20	3,05	2,64	1,29	0,54	0,76	2,80	1,00	1,11	2,29	2,25	2,34
3	3,56	3,31	2,55	1,15	0,56	0,76	1,66	0,98	1,15	1,96	2,51	1,80
4	2,95	3,87	2,25	1,15	0,61	0,86	1,63	0,81	1,12	1,26	2,00	2,25
5	2,75	2,34	2,47	1,37	0,54	0,89	1,66	1,03	1,29	1,72	2,00	2,00
6	2,65	2,13	11,30	1,18	0,69	0,83	1,21	1,07	1,37	8,94	2,34	2,34
7	3,05	2,34	5,40	1,26	0,54	0,91	1,48	0,86	1,18	3,05	2,80	2,47
8	2,47	2,80	3,25	1,26	0,58	0,93	1,44	0,37	1,07	2,38	1,55	1,91
9	19,02	3,58	2,65	1,26	0,61	0,95	1,48	0,76	0,92	1,67	1,52	1,63
10	8,30	3,30	2,68	1,07	0,58	0,83	0,86	0,64	0,71	2,34	1,48	1,94
11	4,70	19,77	2,75	1,07	0,61	1,03	0,91	0,91	0,91	7,30	3,05	1,63
12	5,08	20,25	3,35	1,37	0,69	0,97	0,91	0,81	0,83	4,08	3,05	1,66
13	4,34	15,75	2,95	1,22	0,58	0,89	0,73	0,93	0,73	2,85	2,13	1,84
14	7,09	5,40	2,95	1,15	0,48	5,68	0,83	0,81	2,47	1,96	2,47	1,66
15	4,18	9,40	3,35	0,91	0,45	1,40	1,07	0,85	9,10	2,55	4,08	1,83
16	3,66	16,65	2,13	0,83	0,61	0,97	0,96	0,73	1,60	2,55	8,90	1,71
17	3,45	10,65	1,63	1,53	0,54	0,91	0,81	0,58	0,95	2,08	14,15	1,63
18	3,66	4,70	1,63	2,26	0,58	1,00	3,40	0,73	1,33	1,44	16,65	1,44
19	3,50	3,81	1,70	0,73	0,48	1,00	1,03	0,78	1,15	1,91	5,10	1,55
20	4,83	3,45	1,52	0,89	0,52	4,91	1,03	0,69	9,55	8,05	2,80	1,71
21	27,25	2,34	1,44	0,76	0,48	1,29	3,98	4,84	2,34	14,15	3,15	3,05
22	19,50	3,35	1,40	0,71	2,48	1,22	1,79	2,13	1,79	5,60	4,50	1,63
23	10,10	3,25	1,40	0,61	0,64	1,91	1,40	2,89	1,67	2,80	2,47	1,63
24	6,60	3,45	1,40	0,61	0,45	1,54	0,83	4,08	1,66	2,47	2,13	1,67
25	5,10	3,45	1,26	0,56	1,22	0,64	1,11	1,97	4,58	2,47	2,13	2,34
26	6,70	3,55	2,01	0,64	0,71	0,69	1,00	2,00	2,13	2,17	2,59	2,47
27	23,05	3,20	1,22	0,69	0,85	7,90	0,90	1,63	1,52	2,34	16,65	2,29
28	8,85	3,45	1,83	0,66	5,46	5,10	1,00	1,13	1,66	1,91	4,58	3,15
29	4,33	*	2,47	0,73	0,98	6,10	0,98	1,52	13,80	1,59	2,13	1,91
30	7,15	*	2,51	0,56	0,91	8,25	0,93	0,83	3,87	3,66	1,91	2,34
31	3,30	*	2,47	*	0,93	*	0,91	1,18	*	3,05	*	2,13

Valores característicos mensais

Máxima	41,50	36,00	13,80	3,76	8,80	11,20	5,10	5,60	13,80	24,75	19,50
Mínima	2,04	1,70	1,03	0,46	0,43	0,56	0,71	0,33	0,46	0,96	1,33
Média	7,01	5,92	2,62	1,02	0,86	2,07	1,41	1,31	2,48	3,41	4,18

Valores característicos anuais

Máxima: 41,50 m³/s em 27/01/1997

Mínima: 0,33 m³/s em 08/08/1997
Média: 2,84 m³/s

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1998

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1,52	1,48	5,10	3,05	1,59	0,71	1,55	1,52	1,44	2,47	1,59	1,15
2	9,10	1,37	3,05	2,94	1,55	0,66	1,79	9,05	1,44	1,66	1,59	1,44
3	3,15	1,37	2,00	2,34	1,55	0,46	13,75	1,48	1,37	4,18	1,52	1,22
4	4,08	1,40	1,79	2,09	1,48	0,71	3,60	1,48	1,66	1,63	1,52	1,29
5	1,63	1,48	7,31	2,05	1,55	0,58	1,55	11,55	2,34	4,08	1,66	1,18
6	1,91	1,59	4,15	2,34	1,63	0,36	1,66	1,66	2,65	14,75	1,55	1,29
7	2,05	1,40	2,34	2,34	1,44	0,30	1,59	1,63	11,25	4,08	2,51	1,18
8	2,47	1,37	1,79	2,25	1,63	0,24	18,85	1,55	7,43	1,79	1,66	0,86
9	2,34	1,26	1,79	1,59	1,51	0,20	15,15	1,44	12,50	1,66	1,59	1,63
10	2,25	1,44	2,08	1,44	1,52	*	2,34	1,59	9,40	1,52	1,44	1,18
11	2,34	3,05	1,66	1,66	1,44	0,20	1,52	1,63	5,85	1,66	1,59	4,08
12	1,63	2,47	2,57	1,59	1,44	0,23	1,66	5,10	12,50	1,59	1,48	1,18
13	2,34	2,34	1,59	1,52	1,52	0,23	1,63	19,50	11,90	1,51	1,59	1,07
14	1,63	2,00	3,65	1,63	2,13	0,21	1,66	8,90	12,50	1,52	1,59	1,11
15	2,47	1,52	2,13	1,40	1,75	0,48	1,66	5,50	6,10	2,34	1,63	1,40
16	2,47	1,48	1,63	1,63	1,44	0,66	1,66	4,08	1,66	1,66	1,55	1,44
17	2,42	2,13	1,63	2,84	1,52	0,29	1,66	2,60	1,52	1,66	1,40	1,66
18	2,34	1,55	9,40	1,66	1,52	1,79	1,59	6,10	4,34	1,52	1,40	2,08
19	1,91	1,59	6,65	1,52	1,55	11,90	1,59	11,85	16,50	1,63	1,57	1,37
20	1,71	1,55	5,10	1,40	1,40	3,58	0,91	3,60	11,90	1,44	1,48	4,88
21	1,74	2,71	2,13	2,34	1,33	1,63	1,66	1,44	5,10	1,66	1,48	10,60
22	1,48	3,45	1,33	8,68	1,11	0,91	1,55	1,52	2,47	1,55	1,33	1,03
23	1,48	1,66	1,66	9,05	1,07	1,26	1,33	1,52	1,79	1,52	1,29	1,29
24	1,63	2,59	1,59	1,91	1,00	1,26	1,63	1,48	1,66	1,51	1,15	1,33
25	1,88	1,91	1,52	1,91	0,93	1,74	1,59	1,44	3,05	12,20	1,00	1,52
26	2,13	2,95	1,63	1,91	1,45	1,52	1,66	1,44	1,70	2,34	1,22	1,52
27	1,52	4,85	1,66	1,79	1,63	1,44	1,83	1,52	9,20	3,66	1,00	1,40
28	1,75	4,85	18,74	1,52	1,51	1,07	2,34	1,44	11,30	1,66	1,15	1,40
29	1,63	*	2,55	1,63	2,08	0,76	1,48	1,44	11,20	1,59	1,07	1,55
30	1,55	*	3,15	1,52	2,09	0,73	1,51	1,52	14,40	1,48	0,97	1,22
31	1,71	*	2,51	*	1,48	*	1,52	1,44	*	1,59	*	1,52

Valores característicos mensais

Máxima	16,50	5,10	36,00	13,80	2,55	13,80	36,00	22,50	18,00	19,50	3,55	
Mínima	1,33	1,18	0,96	1,33	0,91	0,20	0,86	1,33	1,33	1,40	0,91	
Média	2,26	2,10	3,41	2,38	1,51	1,24	3,08	3,81	6,60	2,74	1,45	

Valores característicos anuais

Máxima: 36,00 m³/s em 28/03/1998
Mínima: 0,20 m³/s em 09/06/1998
Média: 2,71 m³/s

Vazões fluviométricas diárias (m³/s) - ano de 1999

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	2,82	3,20	1,48	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	1,07	2,51	1,55	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	1,26	2,17	1,63	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	1,22	1,74	1,70	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	1,45	1,96	1,59	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	2,23	1,78	1,52	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	4,69	1,55	1,37	*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	5,66	1,22	1,29	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9	3,15	3,56	1,18	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	2,70	4,29	1,07	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11	1,79	3,76	0,96	*	*	*	*	*	*	*	*	*
12	1,42	3,15	1,07	*	*	*	*	*	*	*	*	*
13	1,79	2,70	1,15	*	*	*	*	*	*	*	*	*
14	2,51	9,20	1,26	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	3,16	4,39	1,33	*	*	*	*	*	*	*	*	*
16	3,35	3,92	1,37	*	*	*	*	*	*	*	*	*
17	5,85	7,09	1,29	*	*	*	*	*	*	*	*	*
18	5,75	4,54	1,22	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19	5,25	4,08	1,11	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	4,18	3,35	1,11	*	*	*	*	*	*	*	*	*
21	3,81	11,93	1,03	*	*	*	*	*	*	*	*	*
22	3,30	5,15	1,03	*	*	*	*	*	*	*	*	*
23	2,95	3,51	1,03	*	*	*	*	*	*	*	*	*
24	2,90	4,38	0,96	*	*	*	*	*	*	*	*	*
25	2,70	2,55	1,00	*	*	*	*	*	*	*	*	*
26	2,51	1,76	1,00	*	*	*	*	*	*	*	*	*
27	3,30	1,26	7,04	*	*	*	*	*	*	*	*	*
28	3,20	0,96	6,61	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	3,20	*	6,20	*	*	*	*	*	*	*	*	*
30	3,15	*	5,70	*	*	*	*	*	*	*	*	*
31	2,75	*	8,71	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Valores característicos mensais

Máxima	6,82	21,00	9,16	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mínima	0,96	0,96	0,96	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Média	3,07	3,63	2,15	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Valores característicos anuais

Máxima: 21,00 m³/s em 21/02/1999
Mínima: 0,96 m³/s em 02/01/1999
Média: 2,92 m³/s
Código ANEEL: 65007046
Estação: AUTÓDROMO

Média	2,98	2,37	1,11	*	*	*	*	*	*	*	*
*											

Valores característicos anuais
Máxima: 39,20 m³/s em 12/01/2002
Mínima: 0,40 m³/s em 05/01/2002
Média: 2,15 m³/s