



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

RECURSOS HÍDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE TEMPORAL DOS IMPACTOS DA
URBANIZAÇÃO NA SUB-BACIA DO CÓRREGO SEM NOME EM ILHA SOLTEIRA/SP

ENG.º THIAGO GARCIA DA SILVA SANTIM

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ AUGUSTO DE LOLLO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia - UNESP - Campus de
Ilha Solteira, para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Civil – Área
de Conhecimento: Recursos Hídricos
e Tecnologias Ambientais.

FEVEREIRO DE 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

S235u	Santim, Thiago Garcia da Silva. Uso de geotecnologias na análise temporal dos impactos da urbanização na sub-bacia do Córrego Sem Nome em Ilha Solteira/SP / Thiago Garcia da Silva Santim. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2010. 228 f. : il. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2010 Orientador: José Augusto de Lollo Co-orientador: Jefferson Nascimento de Oliveira Bibliografia: p. 190-199 1. ArcMap 9.2. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Planilhas eletrônicas. 4. Planilhas Excel. 5. Drenagem. 6. Redes de drenagem urbana. 7. Vazões de projeto.
-------	--



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Uso de Geotecnologias na Análise Temporal dos Impactos da Urbanização na Sub-Bacia do Córrego Sem Nome em Ilha Solteira/SP

AUTOR: THIAGO GARCIA DA SILVA SANTIM

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DE LOLLO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL , Área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. PAULO AUGUSTO ROMERA E SILVA
Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo / Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos

Prof. Dr. SERGIO DOS ANJOS F. PINTO
Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento / Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro

Data da realização: 02 de fevereiro de 2010.

Dedico este trabalho ao meu avô João da Silva.

Homem que com poucas palavras

escreveu as maiores lições de minha vida.

Ofereço este trabalho ao meu amigo Jefferson Nascimento.

Que com a paciência e a dedicação de um ourives

vem lapidando a pedra bruta que sou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio técnico e financeiro.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – PPGEC pela oportunidade de aprofundar meus estudos.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira – DEC, em especial aos docentes da área de Hidráulica e Saneamento: Milton, Tsunao e Dib.

Agradeço também aos meus orientadores Lollo e Jefferson Nascimento, que nos momentos de dúvidas sempre souberam me orientar.

À pesquisadora Malva Mancuso quando pesquisadora do IPT por ter possibilitado o uso do ArcMap 9.2 no meu trabalho, permitindo explorar ainda mais as informações que foram de grande utilidade no meu trabalho de conclusão de curso.

Gostaria ainda de agradecer aos funcionários do DEC Aldir pelo fundamental auxílio com plantas e mapas utilizados neste trabalho, José Carlos por tornar nossas urgências em fardos mais leves de serem carregados e a Dona Cícera pelo conforto de um ambiente agradável de trabalho.

Ao Laboratório de Hidrologia e Hidrometria - LH² que forneceu equipamentos e programas nos momentos de grande necessidade, bem como pessoal capacitado e dotado de vontade para auxiliar: em especial ao Júnior e à Celina.

À Prefeitura Municipal de Ilha Solteira que sempre se prontificou a ajudar.

Aos funcionários da biblioteca municipal de Ilha Solteira que a cada dia travam uma intensa batalha contra os efeitos do tempo para manter viva a memória dos grandes momentos já vividos pela cidade de Ilha Solteira, pois se não fossem por eles a análise temporal dos efeitos da urbanização não seria possível.

Aos professores Hélio Ricardo e Maurício do Departamento de Fitossanidade e Engenharia Rural e de Solos – DEFERS, pela ajuda sempre bem vinda nas críticas ao trabalho.

Agradeço a aqueles que por meio de um sorriso, ou de um abraço, ou de uma palavra de conforto nunca deixaram de me motivar a terminar este estudo: Maria José Sabino, Shirley, Vera, Rogério Shoiti, Iván Sanchez (*hermanos separados por la distancia pero unidos por el agua*) e Thássya.

Agradeço aos meus amigos de trabalho do Consórcio Sondotécnica e ETEP para gerenciamento e fiscalização do Programa Mananciais, em especial à Gloria, Ricardo e José Roberto que sempre foram compreensivos, aos amigos de faculdade, em especial aos moradores do Condomínio São Paulo, aos meus irmãos Christiano e Luciano, e aos meus avôs e avós pelo exemplo de vida e pelos conselhos.

Agradeço ainda à mocinha Renata que nos últimos anos tem sido a lanterna da minha responsabilidade e a noite tranqüila dos meus dias atribulados, agradeço acima de tudo a sua paciência e ao seu apoio nos momentos de falta de motivação.

Por fim, agradeço aos meus pais pelos anos de sacrifício despendidos com a minha formação e educação e por todo amor que nunca me faltou. A eles devo muito mais do que um simples obrigado, pois por causa deles posso lutar pelos meus objetivos.

RESUMO

A expansão das áreas urbanas promove consideráveis alterações no uso e ocupação da terra de uma bacia hidrográfica. Estas novas características condicionam a bacia hidrográfica a um novo regime das variáveis hidrológicas. Desse modo, antecipar o comportamento das variáveis hidrológicas passou a ser o desafio dos planejadores urbanos, pois com a redução de áreas permeáveis o volume que antes infiltrava passa a escoar superficialmente requerendo espaços para ser locado. Com o intuito de localizar este acréscimo problemático da vazão as pesquisas em hidráulica e hidrologia passaram a recorrer aos modelos de previsão de vazão. Aos modelos de previsão de vazões somou-se o advento dos programas de geoprocessamento, possibilitando a estruturação de bancos de dados mais detalhados. Assim, este trabalho configurou um banco de dados no *ArcMap 9.2* utilizando cartas temáticas confeccionadas no *AutoCAD 2000* e planilhas cadastrais sobre o uso e ocupação da terra no *Excel 2003* para a sub-bacia hidrográfica do Córrego Sem Nome, localizada no município de Ilha Solteira – SP. Esta bacia hidrográfica tornou-se um caso interessante para estudo, pois além de ser de pequeno porte, área de 3,47 km², em 45 anos deixou de ser rural e passou a ser 100% urbana, sofrendo com intensos processos erosivos. A aplicação do *ArcMap 9.2* na determinação dos parâmetros da bacia de drenagem forneceu uma estimativa mais acurada dos coeficiente de *runoff*, parâmetros da fórmula de Horton e coeficientes de Manning. O Método do Balanço de Massas foi empregado para o cálculo das vazões, a fórmula de Horton para a determinação da infiltração e o método da onda cinética para o cálculo dos tempos de concentração dos trechos a serem analisados. Dessa forma, confeccionou-se um ferramental computacional que possibilitou simulações dos efeitos da urbanização ao longo dos anos, fornecendo as vazões de pico para cada etapa do processo de ocupação nos pontos de lançamento. Por fim, com as vazões de pico determinadas, foi avaliada a eficiência da rede de drenagem existente na sub-bacia, visto que ela foi construída juntamente com a implantação da cidade projetada de Ilha Solteira – SP.

Palavras-chave: ArcMap 9.2. SIG. Planilhas Excel. Redes de drenagem urbana. Vazões de projeto.

ABSTRACT

The urban areas expansion brings significant changes in use and land cover watershed. These new features make the basin to a new system of hydrological variables. Thus, the challenge for urban planners was anticipate the behavior of hydrologic variables because the decrease of permeable areas decreased the volume that infiltrate, increasing runoff, requiring space to be leased. In order to resolve this flood's increase problem researches in hydraulics and hydrology are turning to predictive modeling of flow. Models for forecasting stream flow added to the advent of GIS programs, enabling the structuring more detailed databases. This paper set up a database in ArcMap 9.2 using thematic maps prepared in AutoCAD 2000 and cadastral spreadsheets about the use and land cover in Excel 2003 for the catchment area of the Sem Nome Stream, located in Ilha Solteira- SP, Brazil. This basin has become an interesting case to study, as well as being small, area of 3.47 square kilometers, in 45 years no longer rural and has become 100% urban, suffering from severe erosion. The application of ArcMap 9.2 on watershed parameters determination provides a more accurate estimate of runoff coefficient, of the parameters of the Horton's formula and of the Manning coefficients. The method of mass balance was used to calculate the flow, the Horton's formula for determining the infiltration and wave kinetic method for calculating time of concentration of watercourses to be analyzed. Thus, a simulations tool has been concocted turning possible to know the effects of urbanization all over the years, providing the peak flow for each stage of the occupation in the runoff launch. Finally, with the peak flows determined, we evaluated the efficiency of the existing drainage system in the watershed, since it was built along with the city's projected deployment Ilha Solteira – SP, Brazil.

Keywords: ArcMap 9.2. GIS. Excel spreadsheets. Urban drainage system. Peak flow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Diferentes escalas de análise.....	17
Figura 2 –	Relação entre polutograma e hidrograma	29
Figura 3 –	Impacto da urbanização no hidrograma	30
Figura 4 –	Resultados da evolução urbana na bacia hidrográfica	30
Figura 5 –	Efeito da urbanização x sistemas de drenagem no incremento dos deflúvios.....	31
Figura 6 –	Representação esquemática das condições de ocupação da terra	34
Figura 7 –	Efeito das condições de desenvolvimento da terra para vazões de 100 anos de retorno.	35
Figura 8 –	Relação entre vazão de pico e tempo de recorrência para o ponto B	36
Figura 9 –	Diagrama das metodologias para estimativa das vazões de enchente	40
Figura 10 –	Os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos	50
Figura 11 –	Construções à prova de enchentes	53
Figura 12 –	Curva de atendimento às demandas de drenagem urbana	53
Figura 13 –	Proporção dos municípios por pontos de lançamento da rede de drenagem segundo as grandes regiões.....	56
Figura 14 –	Planejamento de sistemas de drenagem urbana – fluxograma das atividades principais.....	60
Figura 15 –	Medidas estruturais não convencionais	61
Figura 16 –	Dissipador localizado.....	63
Figura 17 –	Exemplo de dissipador contínuo ao longo do aterro.....	64
Figura 18 –	Localização da área de estudo em destaque a sub-bacia do Córrego Sem Nome.....	79
Figura 19 –	Pluviograma e temperaturas médias para a região de Ilha Solteira – SP.....	80
Figura 20 –	Carta topográfica do município de Ilha Solteira – SP antes da ocupação urbana e em 2009	83
Figura 21 –	Estudo preliminar para implantação de Ilha Solteira: Plano geral e limites.	90
Figura 22 –	Estrutura urbana de Ilha Solteira.....	91
Figura 23 –	Esquema de implantação do núcleo urbano de Ilha Solteira	92
Figura 24 –	Processo de desenvolvimento urbano do núcleo principal de Ilha Solteira.....	97
Figura 25 –	Ilha Solteira em 1970	98

Figura 26 – Ilha Solteira em 2006	98
Figura 27 – Mapa da situação inicial (1970) e distribuição das residências por tipo.....	100
Figura 28 – Mapa da situação de 1980 e distribuição das residências por tipo	101
Figura 29 – Casas nível 3	102
Figura 30 – Residência tipo 2 de madeira com 3 quartos (2M-3Q).....	102
Figura 31 – Loteamentos urbanos da cidade de Ilha Solteira e pontos de erosão.....	104
Figura 32 – Histórico da ocupação e crescimento da mancha urbana na sub-bacia do Córrego Sem Nome.....	106
Figura 33 – Reservatório para amortecimento da vazão de pico a ser lançada no Córrego Sem Nome em virtude do incremento da contribuição devido ao residencial Nova Ilha	109
Figura 34 – Seção a jusante do Jardim Aeroporto em dois momentos	111
Figura 35 – Áreas de contribuição de Ilha Solteira – SP de acordo com o Plano Diretor .	115
Figura 36 – Rede de drenagem urbana com pontos de lançamento da microdrenagem na macrodrenagem sobreposta às áreas de contribuição de 1 a 12 definidas pelo Plano Diretor de Ilha Solteira – SP	117
Figura 37 – Alterações promovidas pela urbanização nos limites das 11 áreas de contribuição definidas pela rede de drenagem ao longo dos anos.....	118
Figura 38 – Trechos do Córrego Sem Nome.....	119
Figura 39 – Esquema geral dos canais das áreas de contribuição, características hidráulicas e capacidade de vazão	120
Figura 40 – Trecho 2 em planta (A), em perfil (B) e foto (C).....	122
Figura 41 – Foto do Trecho 3(A), perfil do Trecho 3 (B) e planta (C)	123
Figura 42 – Trecho 4 detalhe da erosão (A) e seção proposta no projeto de canalização não implantado (B)	124
Figura 43 – Fluxograma do método	128
Figura 44 – Informações tratadas no SIG.....	133
Figura 45 – Três métodos de aplicação de SIG na modelagem hidráulica e hidrológica ..	134
Figura 46 – Hidrogramas da área de contribuição A para os cenários de estudo.....	166
Figura 47 – Hidrogramas da área de contribuição B para os cenários de estudo.....	166
Figura 48 – Hidrogramas da área de contribuição C para os cenários de estudo.....	167
Figura 49 – Hidrogramas da área de contribuição D para os cenários de estudo.....	167
Figura 50 – Hidrogramas da área de contribuição E para os cenários de estudo	168
Figura 51 – Hidrogramas da área de contribuição F para os cenários de estudo	168

Figura 52 –	Hidrogramas da área de contribuição G para os cenários de estudo.....	169
Figura 53 –	Hidrogramas da área de contribuição H para os cenários de estudo.....	169
Figura 54 –	Hidrogramas da área de contribuição I para os cenários de estudo	170
Figura 55 –	Hidrogramas da área de contribuição J para os cenários de estudo	170
Figura 56 –	Hidrogramas da área de contribuição K para os cenários de estudo.....	171
Figura 57 –	Hidrogramas sub-bacia do Córrego Sem Nome para os cenários de estudo ..	171
Figura 58 –	Hidrogramas sub-bacia do Córrego Sem Nome para os cenários de estudo, relacionando vazões de pico com os novos loteamentos implantados	175
Figura 59 –	Vazões de pico nos lançamentos para os cenários analisados	177
Figura 60 –	Vazões excedentes na (A) área de contribuição D e (B) área de contribuição G.....	179
Figura 61 –	Propostas de controle do escoamento superficial e diagrama unifilar das vazões recebidas pelo canal do Córrego Sem Nome	185
Figura A –	Planta e elevações da casa tipo 1	200
Figura B –	Planta e elevações das casas tipo 2 e 3	201
Figura C –	Planta e elevações das casas tipo 2R.....	202
Figura D –	Planta e elevações da casa tipo 4	203
Figura E –	Planta e elevação da casa tipo 2M-2Q	204
Figura F –	Planta e elevação da casa tipo 2M-3Q	205
Figura G –	Planta da casa tipo 5.....	206
Figura H –	Planta da casa tipo 6.....	207
Figura I –	Elevações da casa tipo 5	208
Figura J –	Elevações da casa tipo 6	208
Figura K –	Faixas para cálculo da largura média da bacia em metros (a) antes da urbanização e (b) depois da urbanização	211
Figura L –	Primeiro passo: escolha do período de interesse.....	215
Figura M –	<i>Console</i> em <i>userform</i> mostrando a Etapa 1 do Programa LH ² -01: dados iniciais	216
Figura N –	Etapa 2 do Programa LH ² -01: escolha do(s) período(s) a ser(em) analisado(s)	217
Figura O –	Etapa 3 do Programa LH ² -01: escolha do(s) lançamento(s) ou da(s) área(s) de contribuição para a análise	217
Figura P –	Etapa 4 do Programa LH ² -01: definição das variáveis para determinação do tempo de duração da chuva de projeto.....	218

Figura Q –	Etapa 5 do Programa LH ² -01: resumo geral das opções selecionadas para a análise	219
Figura R –	Subdivisão do Estado de São Paulo em 6 regiões ecológicas, cada uma subdividida em mais quente e mais fria	221

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Municípios com problemas de enchentes e inundações	31
Tabela 2 –	Fórmulas para cálculo do tempo de concentração	45
Tabela 3 –	Principais modelos hidrológicos	48
Tabela 4 –	Fatores agravantes das inundações ou enchentes.....	55
Tabela 5 –	Principais modelos de escoamento	77
Tabela 6 –	Coeficientes de forma para a sub-bacia do Córrego Sem Nome	108
Tabela 7 –	Precipitações diárias para a região de Ilha Solteira-SP em 2008.....	112
Tabela 8 –	Precipitação máxima diária para a região de Ilha Solteira-SP	112
Tabela 9 –	Intensidades máximas anuais das precipitações para a região de Ilha Solteira - SP	112
Tabela 10 –	Dados de intensidade, duração e frequência para a cidade de Andradina em mm/h	114
Tabela 11 –	Cartas confeccionadas no <i>AutoCAD</i>	130
Tabela 12 –	Coeficiente de escoamento superficial para TR = 10 anos.....	136
Tabela 13 –	Estimativa de parâmetros da fórmula de Horton	138
Tabela 14 –	Valores do coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning.....	141
Tabela 15 –	Coeficientes “n” de Manning para vazões sobre o solo.....	142
Tabela 16 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição A.....	144
Tabela 17 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição B.....	146
Tabela 18 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição C.....	148
Tabela 19 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição D.....	149
Tabela 20 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição E	150
Tabela 21 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição G.....	151
Tabela 22 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição H.....	152

Tabela 23 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição F	155
Tabela 24 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição I	156
Tabela 25 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição K.....	157
Tabela 26 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição J	158
Tabela 27 –	Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da sub-bacia do Córrego Sem Nome.....	159
Tabela 28 –	Tempo de concentração das áreas de contribuição até o lançamento no canal	160
Tabela 29 –	Tempo de concentração das áreas de contribuição até a seção de estudos.....	161
Tabela 30 –	Vazões das 11 áreas de contribuição obtidas pelo Programa LH ² -01.....	164
Tabela 31 –	Vazões da sub-bacia do Córrego Sem Nome obtidas pelo Programa LH ² -01.....	165
Tabela 32 –	Coeficiente de escoamento superficial direto (CESD)	173
Tabela 33 –	Precipitação efetiva mm/h (Pef).....	173
Tabela 34 –	Tempo de pico.....	173
Tabela 35 –	Vazões de pico x capacidade de vazão das tubulações dos lançamentos das áreas de contribuição.....	177
Tabela 36 –	Vazões de pico x capacidade de vazão do canal do Córrego Sem Nome.....	178
Tabela i –	Valores do coeficiente de compacidade antes e depois da urbanização	210
Tabela ii –	Comprimento das faixas para cálculo da largura média	211
Tabela iii –	Valores do fator forma antes e depois da urbanização	212
Tabela iv –	Valores do índice de conformação antes e depois da urbanização	212
Tabela v –	Descrição dos 5 grupos hidrológicos de solo do Esta de São Paulo.....	222
Tabela vi –	Avaliação tentativa da percentagem de cada um dos cinco grupos hidrológicos de solo por zona ecológica no Estado de São Paulo	222

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	PLANEJAMENTO URBANO E URBANIZAÇÃO.....	20
2.1.1	Impactos da alteração das características de uso e ocupação da terra.....	27
2.1.1.1	<i>Impactos sobre mananciais.....</i>	<i>28</i>
2.1.1.2	<i>Impacto sobre a qualidade da água.....</i>	<i>29</i>
2.1.1.3	<i>Impactos sobre a drenagem urbana e regime hídrico</i>	<i>29</i>
2.2	ESTUDO HIDROLÓGICO	36
2.2.1	Métodos de chuva x vazão	39
2.2.2	Determinação da infiltração e armazenamento de água no solo	43
2.2.3	Cálculo do tempo de concentração	44
2.2.4	Modelos hidrológicos	45
2.3	DRENAGEM URBANA	49
2.3.1	Medidas de controle: Obras de drenagem.....	51
2.3.2	Plano Diretor de Drenagem Urbana	54
2.3.3	Medidas estruturais não convencionais	61
2.3.4	Estruturas para dissipação de energia.....	62
2.3.4.1	<i>Dissipadores localizados</i>	<i>62</i>
2.3.4.2	<i>Dissipadores contínuos.....</i>	<i>64</i>
2.4	TÉCNICAS COMPUTACIONAIS PARA TRATAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES	65
2.4.1	Sistema de informação geográfica (SIG)	65
2.4.1.1	<i>Uso do SIG na análise dos recursos hídricos.....</i>	<i>75</i>
3	ÁREA DE ESTUDO	79
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	79
3.2	HISTÓRIA DE ILHA SOLTEIRA – SP	84
3.2.1	O Plano Diretor inicial.....	89
3.2.2	O plano viário	92
3.2.3	O zoneamento da cidade.....	93

3.2.4	A zona habitacional.....	96
3.3	EVOLUÇÃO DO NÚCLEO URBANO.....	97
3.4	HIDROGRAFIA E HIDROLOGIA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO SEM NOME.....	107
3.5	HIDRÁULICA DO CÓRREGO SEM NOME.....	114
4	MATERIAIS E MÉTODO	126
4.1	MATERIAIS.....	126
4.2	MÉTODO	128
4.2.1	Arcabouço Computacional.....	133
4.2.2	Métodos para determinação dos hidrogramas.....	135
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	143
5.1	RESULTADOS DO BANCO DE DADOS.....	143
5.2	RESULTADOS DO PROGRAMA LH ² -01	160
5.2.1	Tempos de concentração das áreas de contribuição.....	160
5.2.2	Chuva de projeto.....	162
5.2.3	Hidrogramas.....	163
5.2.3.1	<i>Análise dos hidrogramas</i>	<i>172</i>
5.2.4	Vazão calculada X capacidade existente.....	176
5.2.5	Proposta para o controle do escoamento superficial	181
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	186
	REFERÊNCIAS.....	189
ANEXO A -	Plantas das residências previstas no projeto original de Ilha Solteira	199
ANEXO B -	Cálculos hidrológicos para a sub-bacia do Córrego Sem Nome.....	209
ANEXO C -	Procedimentos para uso do Programa LH ² -01	214
ANEXO D -	Tabelas e figuras complementares dos métodos de chuva x vazão	220

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade em centros urbanos substituiu as coberturas naturais da terra por coberturas artificiais. Tal modificação implicou em um aumento na ocorrência de enchentes e degradações ambientais, condicionando o sistema urbano ao risco de colapso. Para que este risco possa ser minimizado e na medida do possível eliminado, é preciso ter um olhar crítico sobre a configuração, estrutura, organização e complexidade da nova paisagem.

Essa tarefa de conhecimento dos novos parâmetros de uso e ocupação da terra não é simples, pois uma paisagem é formada por inúmeros componentes, desde indivíduos microscópios até indivíduos com alta capacidade de apropriação e controle sobre o seu meio, tal como é o homem (BRASIL, 2007).

A paisagem está sob a influência de elementos bióticos e abióticos, sendo, portanto tantos os fatores que dificilmente se pode compreender em sua totalidade.

Entretanto, esses elementos estão agrupados em sistemas nos quais é possível definir qual o grau de interferência e representatividade na análise do sistema objeto de estudos.

Para o caso do sistema urbano e do subsistema rede de drenagem recebem destaque os seguintes fatores:

- Microclima e regime das precipitações;
- Hidrologia urbana e escoamento superficial;
- Medidas de controle do escoamento superficial implantadas na bacia;
- Parâmetros físicos da bacia urbana;
- Cultura da população;
- Parâmetros de uso e ocupação da terra.

Com base nos elementos supracitados releva-se a importância do uso e ocupação da terra na composição da paisagem da área de estudo.

A cobertura da superfície da terra torna-se o principal objeto de estudo devido a sua influência nos outros fatores. No caso do micro-clima e no regime das precipitações o tipo de ocupação da terra determina o comportamento da atividade convectiva que é responsável pelo surgimento das nuvens das precipitações intensas. Estas chuvas, devido a sua curta duração e

elevada intensidade, são determinantes no cálculo das vazões de pico para os projetos das medidas de controle do escoamento superficial.

Assim como o micro-clima e o regime das precipitações são afetados pelas mudanças na cobertura da terra, as variáveis hidrológicas também são susceptíveis a estas alterações. Após a substituição da paisagem natural pela paisagem antropizada as variáveis hidrológicas passam a ser influenciadas pelo novo ambiente. Segundo Lazaro (1990) esta interação dos processos hidrológicos com os ambientes urbanizados é a definição de hidrologia urbana.

O estudo da hidrologia urbana implica na determinação pormenorizada da nova forma de ocupação da terra. A grande parte das pesquisas brasileiras tratava as bacias como um todo e assim era conhecida apenas a hidrologia da bacia. Esta análise global suprimia os efeitos da urbanização nas variáveis hidrológicas, pois a área urbana em muitos casos era muito menor do que a rural e assim um estudo da hidrologia de todo o município não era representativo para o conhecimento da hidrologia urbana que necessita de um grau discretivo maior, visto a heterogeneidade das áreas ocupadas por cidades.

A Figura 1 ilustra as diferentes escalas de observação possíveis para a identificação dos parâmetros e dos mais variados componentes e arranjos espaciais dependendo do que é priorizado.

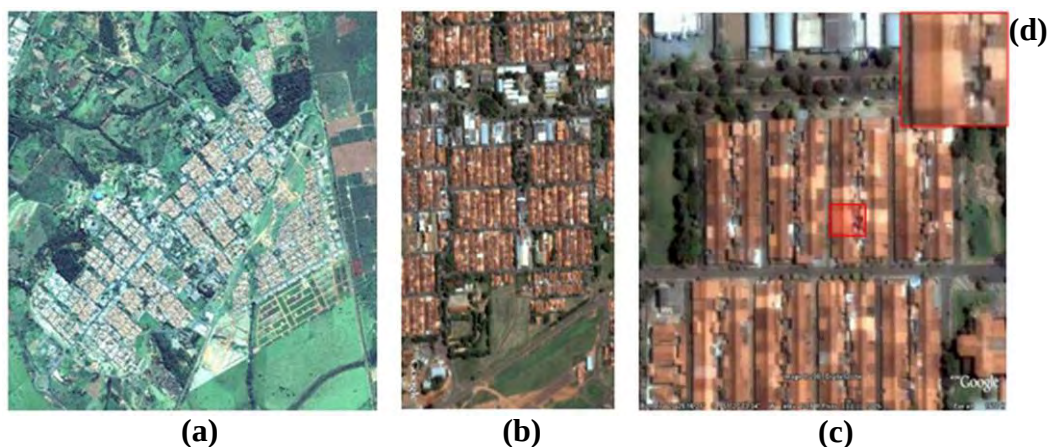


Figura 1 – Diferentes escalas de análise; priorizando (a) o município, (b) o bairro, (c) a quadra, e (d) o lote. (Modificado de Google Earth, 2006)

No caso, destaca-se o município como um todo, a cidade e em específico um bairro e o bairro e em específico uma quadra ou mesmo um lote.

Nesse contexto, releva-se a importância de se estudar os efeitos da urbanização em bacias de pequeno porte para que pesquisas em hidrologia urbana possam ser feitas e o processo de degradação do meio ambiente seja controlado. Isto infelizmente, segundo Canholi

(2005), não está acontecendo e sendo ampliado na medida em que os limites urbanos aumentam ou a densificação das cidades se torna intensa.

Entretanto, com a elaboração dos planos diretores os municípios passaram a ter informações sobre suas características fisiográficas, hidrológicas e climáticas até então pouco estudadas. Estas informações constituem uma fonte riquíssima de possibilidades a serem analisadas e aproveitadas para orientar e aprimorar os novos projetos urbanos. Porém, no âmbito dos municípios existe um abismo entre as informações e os procedimentos técnicos para o uso potencializado destes dados.

As dificuldades têm as mais diversas origens: falta de técnicas computacionais para integrar e trabalhar os dados, falta de conhecimento do corpo técnico ou mesmo o capital limitado para investir em *softwares* já consagrados, cujo uso não é comum na prática dos municípios de pequeno porte.

A integração das informações é o elo que promove a tão esperada inter-relação entre os planos diretores municipais, pois o Plano Diretor deve ser o conjunto entre os demais planos diretores responsáveis pelo planejamento e estabelecimento das diretrizes para o controle da rede de drenagem, do sistema viário, do uso e ocupação da terra e do saneamento ambiental.

Uma possibilidade eficiente para promover esta integração das informações tratadas pelos Planos Diretores é o uso das técnicas de geoprocessamento que têm sido objeto de estudos de muitas pesquisas científicas no mundo todo em virtude de sua flexibilidade e amplitude de aplicação.

Como resultado deste enfoque, nas últimas décadas as técnicas de geoprocessamento, em especial os SIGs, tem sido amplamente utilizadas para auxiliar na aquisição, análise e integração das informações, orientando embasando as decisões tomadas pelos planejadores urbanos.

Tal proposição vem permitindo consolidar planos de urbanização sustentáveis e controlados, além de possibilitar aos planejadores urbanos cálculos com a admissão de valores das variáveis cada vez mais próximos da condição real.

Dessa forma o objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da urbanização na sub-bacia hidrográfica do Córrego Sem Nome desde a edificação da cidade projetada de Ilha Solteira em 1968 até ano de 2009. Para tanto, foi estruturado um banco de dados no *ArcMap* 9.2 com cartas temáticas sobre o uso e ocupação da terra, relevo, hidrografia, tipo de solo e drenagem para os anos compreendidos pelo estudo.

Ainda foram desenvolvidas planilhas no *Excel* para receber as informações do banco de dados e por meio do Método do Balanço de Massas integrado à Fórmula de Horton foram calculadas as vazões de pico para cada um dos anos analisados, constituindo assim um histórico sintético de vazões, pois na sub-bacia do Córrego Sem Nome não há redes hidrométricas.

Assim, foi elaborado um ferramental computacional que por meio do uso de cartas temáticas representando cenários torna possível analisar impactos de modificações na superfície da terra da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

Por fim, este trabalho fornece uma ferramenta de controle dos parâmetros urbanos e determinação das vazões efluentes da sub-bacia do Córrego Sem Nome para possibilitar o dimensionamento dos equipamentos de micro e macrodrenagem tão essenciais àquela região do município de Ilha Solteira, na qual os processos erosivos encontram-se em estágio bastante avançado colocando em risco a segurança da população e os investimentos já feitos pela Prefeitura em infra-estrutura urbana.

Os processos erosivos desencadeiam uma seqüência de impactos degradantes nos corpos hídricos, dentre os principais destacam-se: o assoreamento do canal e a eutrofização em virtude da perda de luz e do excesso de nutrientes carregados com os sedimentos (ESTEVEZ, 1988).

Em decorrência do Córrego Sem Nome ser um afluente do rio Paraná é neste manancial que ocorre o aporte dos sedimentos promovendo o assoreamento e a eutrofização do lago da Usina Hidrelétrica de Engenheiro Souza Dias (Jupiá), tal como apontado por Demore et al. (2007).

Portanto, o produto desse estudo poderá auxiliar no embasamento de planos para controle do escoamento superficial, bem como na determinação das variáveis e parâmetros hidrogeológicos para a aplicação de métodos de dimensionamento de estruturas hidráulicas, tais como galerias, dissipadores de energia e bacias de infiltração.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo tem a finalidade de reunir informações relacionadas à concepção de planejamento urbano, estudos e modelos hidrológicos, obras de drenagem urbana e uso de técnicas computacionais no controle e gerenciamento dos dados da bacia hidrográfica.

Além disso, o capítulo também procura reunir informações sobre como obter, tratar e avaliar dados de urbanização, cálculos de vazões e dimensionamento de obras de dissipação de energia.

2.1 PLANEJAMENTO URBANO E URBANIZAÇÃO

O homem evoluiu ao longo de sua existência no planeta Terra e veio alterando o seu modo de vida, modificando a superfície terrestre na busca de adequá-la as suas necessidades (BRASIL, 2007).

Com o desenvolvimento de um novo modo de vida os homens passaram a aglomerar-se em vilarejos, vilas, cidades e metrópoles, concentrações de pessoas que exigiram demandas por equipamentos responsáveis pelo conforto, segurança, saúde, educação e lazer.

Para possibilitar a organização das ações que implementassem no aglomerado humano estes equipamentos passaram a existir os órgãos gestores regidos por sistemas de governo.

De acordo com Silva (1995) é a administração pública quem gera mecanismos para coleta de informações, definindo prioridades e decidindo onde e como atuar para prevenir problemas no centro urbano ou para sanar um problema já existente, necessitando desta forma do planejamento e da gestão.

Silva (2005) descreveu o planejamento como sendo a preparação para a gestão, buscando-se por meio de prognósticos e planos evitar ou minimizar problemas, ampliando margens de manobras, visto o caráter imprevisível e indeterminado que sempre existe quando se fala em planejamento urbano.

Por isso, antever os imprevistos torna o planejamento dotado de flexibilidade nas ações.

A gestão foi descrita por Silva (2005) como sendo a efetivação do planejamento, ou pelo menos em parte, pois como já foi dito o imprevisível e o indeterminado estão sempre presentes, podendo alterar cronogramas e atividades pré-determinadas.

Segundo Becker (2006, p. 32):

O planejamento e a gestão municipal no Brasil vêm ganhando novos contornos com as recentes leis e medidas adotadas pelo governo federal. O Estatuto da Cidade e a Lei de Responsabilidade Fiscal, que entraram em vigor em 2001, foram importantes passos em direção a abertura democrática no processo de planejamento das cidades, culminando com a criação do Ministério das Cidades em 2003.

De acordo com Gripp Jr et al. (2002 apud SILVA, 2004, p. 11) a Lei de Responsabilidade Fiscal foi de suma importância para a evolução do planejamento em virtude de ter estabelecido que todos os municípios devessem: “... realizar o mapeamento de sua área urbana e avaliação minuciosa dos imóveis com fins de cobrança de impostos...”.

O cadastramento é de interesse público para o controle dos impostos como, por exemplo, o IPTU, entretanto, alimentar um banco de dados cadastral faz com que o cadastro técnico municipal possa ter finalidades múltiplas, pois a ele estão agregados além do controle dos impostos, as possibilidades de planejamento para expansões da infra-estrutura urbana.

Tornar o cadastro imobiliário uma ferramenta multifinalitária reduziria os gastos dos municípios com o planejamento, desenvolvimento e gerenciamento municipal, pois conforme exposto por Silva (2004), os municípios nos últimos anos têm sofrido considerável declínio em suas receitas orçamentárias, dificultando principalmente as ações e decisões das administrações no que tange às ações de planejamento e gestão das cidades.

Cadastrar, planejar, taxar e, portanto exercer o controle do uso e da ocupação da terra urbana nada mais é do que cumprir uma competência atribuída aos municípios pelo Inciso VIII do Artigo 30 da Constituição Federal de 1988:

Art. 30. Compete aos municípios: [...] VIII – promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano; [...] (BRASIL, 1988, p. 17).

Silva (2004) ainda ressaltou que apesar de ser uma obrigação imposta pela Constituição Federal de 1988, o cadastro técnico de áreas urbanas e rurais no Brasil é uma atividade relativamente recente e, portanto, ainda carece de pesquisas sobre metodologias de levantamentos, tratamento e armazenamento dos dados cadastrais.

O cadastramento técnico é uma tarefa árdua e demasiadamente custosa, pois demanda tempo e necessita de atualizações freqüentes. Estas dificuldades tornam-se barreiras

principalmente em áreas inóspitas ou mesmo nos municípios e pequeno porte em que existe defasagem entre as tecnologias disponíveis e a capacitação do corpo técnico das prefeituras responsáveis pelas atividades de controle do uso da terra.

Segundo Loch (2007) o cadastro técnico no Brasil existe a mais de um século, porém de uma forma desestruturada, uma vez que desde os primórdios da colonização brasileira já se mediam as sesmarias e posteriormente as posses dos seus residentes.

Somente em 1850, com a Lei 601, conhecida como Lei de Terras, foi onde se passou a discriminar as terras públicas e as privadas em virtude da preocupação com o registro público das terras.

Loch (2007) ressaltou que a Lei 601 de 1850 foi o marco inicial do cadastramento, no entanto não recebeu nenhuma menção como cadastro técnico, fato que somente veio a acontecer em 1964 com a criação do Estatuto da Terra pela Lei 4.504 de novembro de 1964.

Após 1964 foi somente em outubro de 2001 que o Brasil deu mais um passo decisivo na área de cadastramento, com a Lei de georreferenciamento dos imóveis rurais, exigindo-se que a precisão na medida de todos os vértices dos imóveis fosse igual ou superior a 50 centímetros, todavia, como se pôde notar, o foco desta lei foram as propriedades rurais.

Percebe-se que a área rural brasileira, sempre foi alvo de preocupações técnicas e jurídicas, o que não vinha acontecendo com a área urbana. Pode-se afirmar que a preocupação das propriedades rurais era em decorrência de que estas áreas concentravam grande parte das populações.

Loch (2007) destacou que as cidades brasileiras somente começaram a ter expressão no começo do século XX, pois foi a partir de meados deste século que as cidades passaram a crescer de uma forma muito mais rápida. Segundo o mesmo autor, na década de 50, 80% da população vivia no campo, sendo ao longo da década de 90 que ocorreu um êxodo rural sem precedentes na história brasileira, fazendo com que a população urbana passasse a ser de 80 % de toda a população.

Dessa maneira, em 2003 com a criação do Ministério das Cidades é que se passou a haver uma maior preocupação com a avaliação e a sustentabilidade das cidades, onde surgiu uma forte interação do Ministério com as Universidades que oferecem cursos na área de cadastro Técnico (LOCH, 2007).

Loch (2007) ainda destacou que no período de 55 anos, de 1950 até os nossos dias, a grande maioria da população migrou do meio rural para as cidades, isto denota que a ocupação das terras se alterou consideravelmente, o que deveria exigir novos mapas temáticos em escala adequada que permitissem identificar para onde foi esta população.

Essa necessidade por informações sobre o uso e ocupação da terra urbana foi mostrada pela Constituição Federal de 1988, quando ela atribuiu a competência de ordenar o uso da terra urbana aos municípios

De acordo com as recomendações de Dias e Teixeira (1991 apud SILVA, 2004) um cadastro técnico urbano, para atender à obrigação imposta pela Constituição Federal, deve contar com os seguintes componentes:

- Cadastro imobiliário, contendo as descrições do terreno e edificações necessárias para distingui-las nos algoritmos de determinação dos valores venais (base dos tributos);
- Plantas de quadras contendo a configuração dos terrenos e uma sistematização cadastral única e expansível;
- Planta genérica de valores, para configuração do zoneamento fiscal;
- Sistema computacional capaz de atualizar sistematicamente estas informações e emitir relatórios;
- Código tributário atualizado.

A evolução técnica e tecnológica possibilitou avanços na confecção de mapas temáticos e dos planos diretores, estes que foram uma benfeitoria imposta aos municípios brasileiros com mais de 20.000 habitantes pela Constituição Federal desde 1988, entretanto, esta obrigação aumentou por meio do Estatuto das Cidades no ano de 2003.

O conceito de Plano Diretor urbano desde então vem sendo amadurecido dentro da esfera da administração pública da grande maioria das cidades brasileiras.

Observa-se que os rumos tomados a cada nova revisão destes planos conduzem para o fundamento idealizado por Figueiredo (1994), ou seja, o Plano Diretor urbano ser o conjunto de planos diretores que abranjam cada necessidade do núcleo urbano.

Dessa forma a integração entre os diversos planos diretores almejará a maximização dos benefícios para cada diretriz estabelecida, já que cada decisão será tomada com base no consenso multidisciplinar e interdisciplinar e não apenas no bom senso de uma classe de técnicos.

A sustentabilidade dos núcleos urbanos tem sido o principal objetivo dos esforços governamentais, tal como exposto por Brasil (2007, p. 169):

Planejamento hoje se atrela ao conceito de sustentabilidade. No Brasil, a aplicação do conceito de sustentabilidade como um critério a definir mudanças no uso e manejo das terras ou orientar as ações em pesquisa, ainda é restrita e recente. Para facilitar a adoção deste conceito, é necessário o estabelecimento de indicadores objetivos para avaliação da sustentabilidade dos sistemas, tendo em vista escalas adequadas aos exercícios de planejamento.

Na busca pela sustentabilidade, iniciativas como o projeto SWITCH (*Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health*) da UNESCO têm o objetivo de promover o avanço científico, tecnológico e sócio-econômico em pesquisas voltadas para mudanças no paradigma das águas urbanas, gestão das águas pluviais, eficiência no fornecimento e no abastecimento de água potável, tratamento de esgotos, planos para as águas urbanas e auxílio aos governos e às instituições.

Segundo os idealizadores do projeto SWITCH mudar a forma como a água é vista pelas populações é o primeiro passo rumo à sustentabilidade.

Assim, as pesquisas contribuem para a sustentabilidade e o manejo racional e ambientalmente correto das águas urbanas, sendo a meta global do projeto SWITCH o estímulo à mudança para desenvolver o manejo adequado das águas urbanas, promovendo a sustentabilidade do sistema urbano.

Dessa maneira, coexistir para sobreviver é a semântica por detrás dos discursos sustentáveis. A crise acerca do futuro da água vem sendo o agente alimentador das medidas que passaram a tratar a água com mais respeito.

A água não é mais o problema, pois a origem das enchentes, alagamentos, escorregamentos de encostas, colapso de obras civis e doenças de veiculação hídrica estão nos anos de imperícia das administrações públicas (TUNDISI, 2003).

Desde os primórdios do processo de urbanização abastecer as populações com água tratada era a medida elementar para a administração pública, porém esta ação levava para os domicílios água de forma disciplinada, mas a coleta, tratamento e restituição dos despejos urbanos não eram feitas com a mesma disciplina (FIGUEIREDO, 1994).

Assim, a água era servida de forma controlada e restituída sem controle algum, pois o pouco volume de esgoto era diluído e depurado pelos corpos hídricos. Todavia, por mais abundantes que fossem os corpos hídricos brasileiros, a idéia de que eles sempre selariam de forma adequada o futuro dos despejos urbanos causou certa letargia no pensamento da

sociedade e dos administradores no dizia respeito aos efluentes urbanos, fossem eles domésticos ou pluviais.

Esse atraso no pensamento de como tratar os efluentes urbanos e de como abastecer as populações pôde ser notado quando as cidades passaram a concentrar mais de 80% da população em um intervalo de 55 anos.

A mudança de Brasil rural para urbano promoveu a impermeabilização dos espaços, removendo a cobertura vegetal para a edificação de novas residências ou mesmo para o cultivo de plantações e criação de animais para alimentar a população urbana em crescimento constante, os escoamentos superficiais passaram a perder a sua característica pluvial, tornando-se torrenciais, dotados, portanto, de maior energia. Assim, a sociedade além de poluir as águas também passou a agredir os corpos hídricos causando erosões e desencadeando processos de assoreamento conforme diagnosticou Araújo et al. (2005).

Segundo Mendes e Cirilo (2001), outro efeito negativo da urbanização que ocorreu na medida em que as regiões se desenvolveram foi ter tornando mais intenso o uso dos recursos hídricos, aumentando o potencial de conflitos entre os tipos de usos e os riscos de degradações ambientais gerados pelas atividades antrópicas.

Neste contexto, o aproveitamento da água tem sido caracterizado historicamente no Brasil pela gestão da oferta, ou seja, quando a água se torna escassa, buscam-se soluções para o aumento da oferta por meio de novos investimentos na infra-estrutura, como as barragens.

Entretanto, aumentar a oferta para ajustar à demanda tem-se tornado um passo financeiramente inviável em vista da escassez dos recursos hídricos.

As obras necessitam cada vez mais de maiores portes e medidas mitigadoras mais custosas do que a própria intervenção (MENDES; CIRILO, 2001).

A mudança no pensamento dos planejadores na busca pela sustentabilidade dos centros urbanos implica em mudanças drásticas no comportamento e na forma de pensar da sociedade, trazendo consigo conceitos inovadores para a elaboração de projetos na tentativa de causar o menor impacto possível do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico.

Segundo Canholi (2005, p. 16):

Embora a bibliografia disponível em outros países seja pródiga em exemplos da aplicação dos conceitos “inovadores”, no Brasil, surpreendentemente, a aplicação desses conceitos ou mesmo a especulação da sua aplicabilidade, ainda é incipiente.

O atraso brasileiro segundo Tucci e Marques (2000) ocorreu devido ao já citado crescimento acelerado, produzindo muitas cidades com centenas de milhares de habitantes em um curto período de tempo.

Tal acontecimento condicionou o enfoque dos projetos por uma maior preocupação com a drenagem urbana de bacias de grande porte em vista das dificuldades enfrentadas pelas populações residentes nestas áreas: inundações, alagamentos, desmoronamentos, transmissão de doenças de veiculação hídrica, ou seja, perdas de vidas e de bens materiais.

Nos países desenvolvidos, por exemplo, as pesquisas em hidrologia urbana foram feitas na maioria das vezes em bacias de alguns hectares ou dezenas de hectares.

Esses estudos tinham como objetivo principal conhecer o impacto de certos tipos de urbanização na drenagem para fins de planejamento futuro.

Isso permitiu a Europa consolidar o conceito de hidrologia urbana com conhecimento de causa para uma gama significativa de processos de ocupação urbana, pois apesar de se tratar do mesmo fenômeno cada área urbana possui peculiaridades que individualizam cada processo de urbanização e, portanto, cada ciclo hidrológico local (TUCCI et al., 2001).

Enquanto isso os projetos de drenagem brasileiros continuaram atrelados ao conceito higienista, ou seja, a evacuação rápida do escoamento pela rede de água pluvial separada da rede de esgoto doméstico, com o intuito de sanar as dificuldades dos aglomerados urbanos, porém sem o controle deste escoamento na fonte.

De acordo com Tucci e Marques (2000) o princípio higienista foi consolidado no início do século passado pelo sanitarista Saturnino Brito.

Canholi (2005) afirmou que o conceito higienista não trata o problema do aumento da vazão, apenas o empurra para jusante, implicando no futuro em novos problemas com inundações.

Empurrar para o amanhã a solução dos problemas atuais faz com que o estudo das cidades torne-se cada vez mais difícil na medida em que o processo de urbanização segue modelos sem diretrizes e sem o controle dos parâmetros urbanos e das variáveis hidrológicas.

Segundo Tucci e Genz (1995) a solução para estes problemas torna-se gradativamente mais difícil, tanto pelo aspecto econômico quanto pelo social com o desenvolvimento da cidade.

Por fim, Mendes e Cirilo (2001) recomendaram, para que o planejamento e a administração dos recursos hídricos possam ser exercidos de forma racional e dinâmica, a existência imprescindível de informações sistematizadas e de sistemas que articulem estas informações, de modo a processá-las para gerar subsídios às intervenções porventura necessárias, bem como a previsão e controle dos processos naturais afetados pela ação humana.

2.1.1 Impactos da alteração das características de uso e ocupação da terra

A ocupação da terra é a interface entre a chuva e o deflúvio sendo desta forma responsável por um novo comportamento das variáveis hidrológicas, como por exemplo, as taxas de infiltração e de evapotranspiração e a vazão do escoamento subsuperficial.

De acordo com Konrad e Booth (2002) o aumento da vazão escoada nos canais naturais ocasiona a necessidade de medidas de controle para conduzir o acréscimo de vazão sem que ocorram alagamentos ou inundações.

Portanto, o uso e a ocupação da terra para a hidrologia são fatores determinantes na velocidade e no volume do escoamento superficial interferindo diretamente no tempo de concentração da bacia e no tempo de retorno das vazões, estas que são variáveis essenciais à elaboração e ao planejamento de obras de drenagem e Planos Diretores (CANHOLI, 2005).

De acordo com Figueiredo (1994), a falta de controle das alterações no uso e ocupação da terra implica em alterações nos parâmetros admitidos pelos planejadores urbanos durante a elaboração dos equipamentos da cidade. Dentre estes equipamentos, Tomaz (2002) destaca a rede de drenagem, pois nela ocorre o efeito de sobrecarga hídrica em virtude do aumento do volume escoado devido à impermeabilização dos espaços.

Esse incremento de vazão causa danos à rede de microdrenagem que lança o efluente na macrodrenagem e assim este escoamento com elevada energia atinge as áreas de descarga ocasionando degradações como as erosões (MOTA, 2003).

Conforme exposto por Aisse et al. (2003) no Seminário Internacional em Gestão Urbana, na medida em que a urbanização promove a compactação, impermeabilização e a remoção da cobertura vegetal da terra, o volume que antes escoava lentamente pela superfície da terra e ficava retido pela vegetação, favorecendo a infiltração e a conseqüente recarga dos aquíferos, passa a escoar pelos condutos da drenagem pluvial. Este processo resulta no aumento do volume escoado e na redução do tempo de concentração da bacia e do tempo de retorno da vazão, exigindo uma maior capacidade de escoamento das seções transversais dos cursos de água.

Tucci e Genz (1995) destacaram que este processo é responsável por alterações que resultam no aumento das freqüências e da magnitude das cheias dos rios urbanos, provocando prejuízos e transtornos devido às inundações.

De acordo com FUSP (2002) e com o Plano Diretor de Drenagem Urbana elaborado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (SAMAE; IPH, 2001), os principais impactos

resultantes do uso e da ocupação da terra dentro do processo de urbanização são: impactos sobre mananciais, impacto sobre a qualidade da água e impactos sobre a drenagem urbana e regime hídrico.

2.1.1.1 Impactos sobre mananciais

A ocupação urbana descontrolada das várzeas, sendo estas também conhecidas como áreas de proteção permanente, é a maior ameaça aos mananciais.

Tal ocupação traz consigo esgoto doméstico, lixo, sedimentos e a carga difusa de poluição gerada nas áreas urbanizadas, levando ao comprometimento da qualidade da água e à possível inviabilidade do uso dos recursos hídricos do manancial.

Esse processo acarreta no aumento do custo do tratamento e também na ameaça de redução da qualidade da água a ser distribuída para a população devido à possível presença de substâncias tóxicas associadas à poluição urbana.

Soma-se ainda como outro fator agravante o fato do sistema ficar misto com esgotamento sanitário e drenagem pluvial juntos nas inundações, disseminando doenças de veiculação hídrica.

A recuperação destas áreas de proteção em regiões já urbanizadas, como por exemplo, o caso das represas Billings e Guarapiranga na cidade de São Paulo, é economicamente custoso, daí a necessidade de se disciplinar o uso e ocupação da terra antes do desenvolvimento.

Entretanto o principal problema está no fato de que a proteção destas áreas de mananciais é incumbência dos municípios pertencentes à bacia, dificultando planos de ação, pois somente um sistema integrado de gestão da água no meio urbano poderia promover alguma solução para o problema.

Segundo Mendes e Cirilo (2001, p. 41):

O rio é o destino final da trajetória da água na bacia. Segundo esta ótica, o rio é também o reflexo de qualquer ação que ocorra e que altere de forma significativa o equilíbrio natural do território, uma vez que os efeitos destas atividades se farão sentir de alguma forma naquele elemento. Neste sentido o rio pode ser considerado um indicador do estado de equilíbrio da área drenada, caracterizando ou não o nível de sustentabilidade da região.

2.1.1.2 Impacto sobre a qualidade da água

O processo de urbanização brasileiro ocorre sem considerar a característica e a capacidade de recuperação dos recursos naturais.

Canholi (2005) demonstra a discrepância de objetivos entre o Brasil, onde o excesso de água é o problema e, por conseguinte a preocupação se dá apenas com o controle quantitativo dos escoamentos, e os países desenvolvidos, enfáticos quanto aos aspectos relativos à qualidade da água coletada.

A Figura 2 contrapõe um polutograma e um hidrograma mostrando a baixa qualidade da água coletada pelo sistema de drenagem nos primeiros instantes do escoamento.

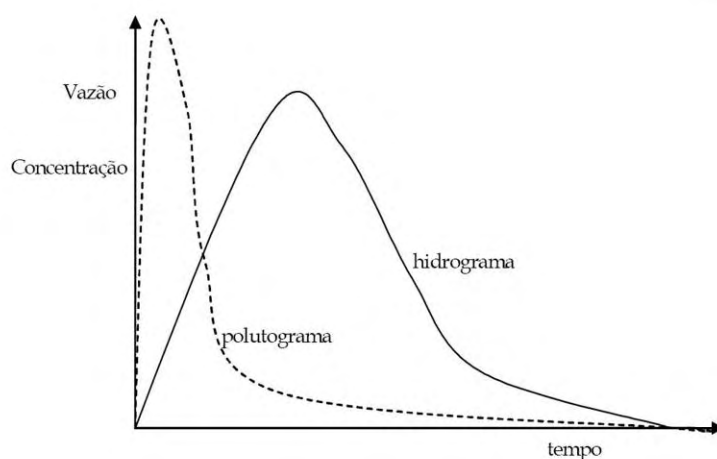


Figura 2 – Relação entre polutograma e hidrograma. (BRASIL, 2005)

Poleto (2002) atentou em seu trabalho que a qualidade da água pluvial nos instantes iniciais não é melhor do que a do efluente de um sistema de tratamento secundário de esgotos domésticos, variando em função de alguns fatores tais como: limpeza urbana e sua frequência, intensidade, distribuição temporal e espacial da precipitação, da época do ano e do tipo de uso da área urbana além das características culturais da população.

2.1.1.3 Impactos sobre a drenagem urbana e regime hídrico

O processo de urbanização atual, compactação e impermeabilização da terra por meio da sobreposição de telhados, ruas, calçadas, pavimentos de asfalto e de concreto, para a remoção rápida do deflúvio, provoca diminuição da infiltração e o conseqüente aumento do

coeficiente de escoamento superficial e, portanto do volume escoado, conforme SAMAE e IPH (2001).

A Figura 3 ilustra a relação entre os hidrogramas de pré-urbanização e pós-urbanização confirmando a antecipação da vazão de pico nos ambientes urbanos, além de confrontar outros aspectos tais como as comparações entre as vazões de base e os tempos de recessão do escoamento superficial.

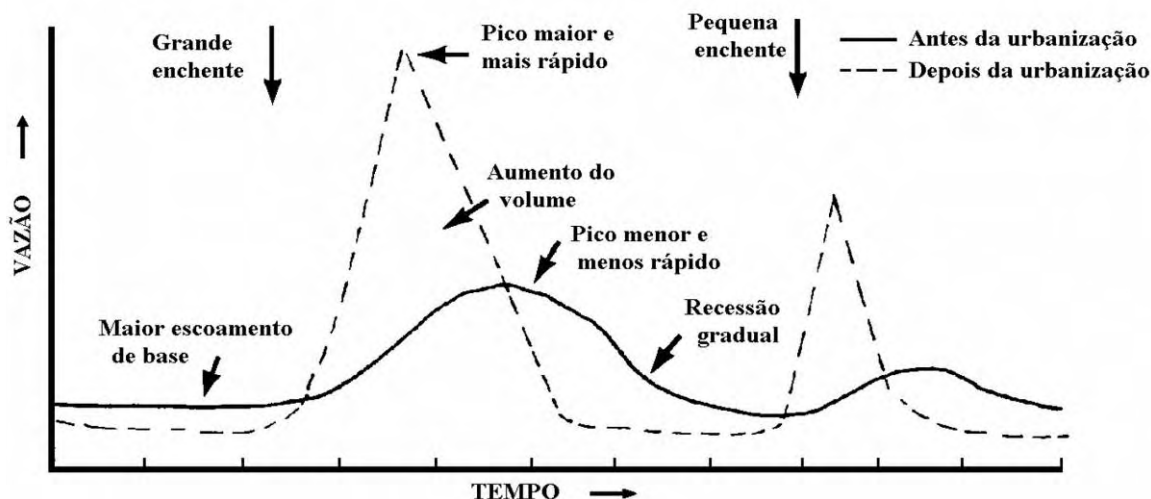


Figura 3 - Impacto da urbanização no hidrograma. (BRASIL, 2005)

Já as Figuras 4 e 5 mostram respectivamente a redução do tempo de concentração em contraposição ao aumento da área urbana; e o efeito da impermeabilização versus a disponibilidade do sistema de drenagem na bacia, no incremento das enchentes.

Segundo Konrad e Booth (2002) e com base no exposto pela Figura 5, a ampliação da vazão ocasiona um problema de alocação de espaços nas redes de microdrenagem e macrodrenagem que na época das chuvas veiculam mais água e necessitam, para tanto de espaço para esse transporte. Esse espaço requerido muitas vezes é maior do que a capacidade de vazão suportada pela rede de drenagem, sendo esta estabelecida em projeto pela análise dos parâmetros físicos e variáveis hidrológicas da área de contribuição.

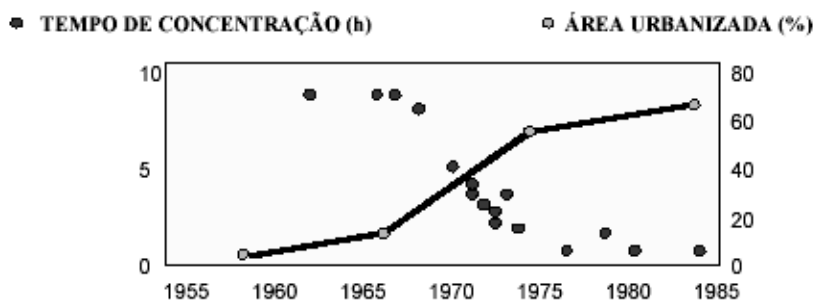


Figura 4 – Resultados da evolução urbana na bacia hidrográfica. (TUCCI; GENZ, 1995)

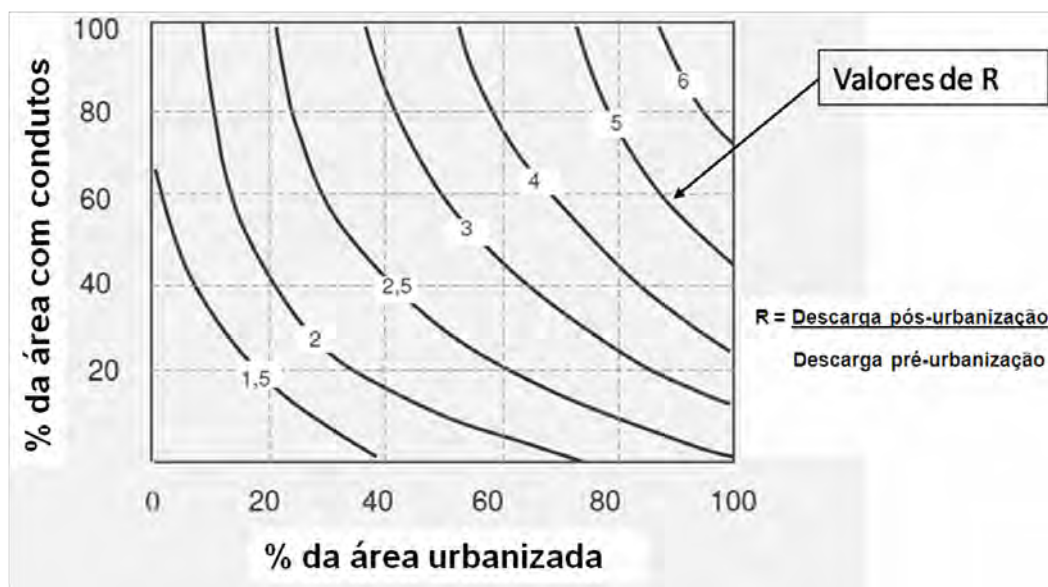


Figura 5 – Efeito da urbanização x sistemas de drenagem no incremento dos deflúvios.
(Modificado de Leopold, 1968)

Para Tomaz (2002) o descaso da sociedade em manter as condições adequadas de operação dos elementos da microdrenagem como as sarjetas e os bueiros é um fator agravante, pois reduz a capacidade de vazão destes elementos.

Com o processo de urbanização as enchentes urbanas tornaram-se um problema crônico no Brasil.

A Tabela 1 apresenta o total de municípios nas grandes regiões que sofreram inundações ou enchentes nos anos de 1998 e 1999.

Tabela 1 – Municípios com problemas de enchentes e inundações

Grandes Regiões	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Total de Municípios	5507	449	1787	1668	1159	446
Municípios que sofrem inundações ou enchente	1235	57	238	539	356	45
% Municípios que sofrem ou enchente	22,00%	12,70%	13,31%	32,35%	30,71%	10,00%

Fonte: Modificado de IBGE (2005).

Segundo Becker (2006) nas áreas de ocupação urbanas já consolidadas é comum a insuficiência do sistema de drenagem, ou seja, as galerias apresentam-se insuficientes para a condução das águas pluviais em razão do aumento do escoamento superficial, provocado, entre outros fatores, pelo aumento da impermeabilização, sendo necessária a ampliação do sistema de galerias.

Na prática, o mau dimensionamento dos sistemas de drenagem, seja por erros técnicos, seja por não considerar a dinâmica natural e socioeconômica do espaço, ou pela

ausência de planejamento que venha garantir o desenvolvimento social, pautado por uma visão qualitativa de uso e ocupação do espaço com menor risco possível de eventos catastróficos, constitui a razão de grande parte dos problemas hoje vivenciados, sobretudo no meio urbano (PARKINSON, 2003).

No caso da utilização de rios como rede de macrodrenagem, quando a capacidade normal do rio é atingida ocorre a elevação do nível para a área conhecida como várzea.

Quando a cidade ocupa esse espaço, o rio o reclamará de qualquer forma e invadirá as áreas urbanizadas.

A única forma de controlar as enchentes é prover espaços para que a água ocupe seu lugar, o que pode ser conseguido por meio da preservação das áreas de várzea, ou da criação de novos espaços de detenção e retenção. Esta última solução é bastante dispendiosa, embora não tanto quanto tomar como medida corretiva a remoção dos terrenos e imóveis das áreas de várzea, como afirma SAMAE e IPH (2001).

Portanto a melhor solução segundo Baptista, Nascimento e Barrad (2005) é estabelecer uma política de uso e ocupação da terra que preserve estas áreas de várzea e priorize a utilização de medidas não convencionais baseadas no conceito de reservação, promovendo o controle do deflúvio na fonte, ou seja, ainda na microdrenagem.

Walesh (1989) demonstrou os efeitos quantitativos da urbanização em termos de escoamento superficial por meio de um modelo computacional que simulava o acréscimo de vazão em pontos de controle para 7 condições de ocupação da terra para uma sub-bacia do sudeste de Wisconsin – EUA, com área de 352,24 km².

A Figura 6 ilustra as 7 condições: a natural, o desenvolvimento urbano até o ano de 1950, a configuração atual e o prognóstico para outras 4 situações futuras do processo de urbanização abordadas pela simulação. Nestes últimos 4 *layouts* as configurações da bacia de contribuição alternam características como ocupações da várzea e obras no canal para um processo urbano descontrolado.

A análise avaliou 9 pontos da bacia hidrográfica para as 7 condições de desenvolvimento urbano apresentadas pela Figura 7.

Com base em dados de medições, a simulação foi realizada, sendo obtidos os resultados apresentados nos gráficos da Figura 7.

Os gráficos indicam no eixo das ordenadas os picos de vazões dadas em ft³/s e no eixo das abscissas o *layout* de ocupação da área de estudos.

Cada ponto de controle é relacionado a uma vazão de 100 anos de retorno para determinada condição de ocupação da terra.

Embasado pelos resultados Walesh (1989) montou o gráfico exposto pela Figura 8 no qual são ilustradas as curvas de probabilidade da ocorrência de picos de vazões para as configurações apresentadas pela Figura 6.

Por meio dos resultados tabulados pela Figura 8 pode-se notar que para uma vazão de 7.000,00 ft³/s o tempo de retorno para a condição de ocupação 1 (natural) é de 100 anos, mas quando se avalia a condição de ocupação 7 (desenvolvimento descontrolado dentro e fora da várzea) o tempo de retorno passa a ser de apenas 2 anos, ou seja, 50 vezes menor.

Outra abordagem para o gráfico da Figura 8 pode ser feita quando se estabelece um tempo de retorno para uma dada vazão. Desta maneira, adotando como tempo de retorno 5 anos, para a condição 3 (existente) a vazão é de 5.000,00 ft³/s, entretanto, para a condição 7 (desenvolvimento descontrolado dentro e fora da várzea) a vazão de pico passa a ser de 10.000,00 ft³/s. Com base no exposto é demonstrado o impacto do desenvolvimento urbano no regime das vazões.

De acordo com Carlson (2004), a insuficiência na capacidade de condução dos leitos naturais começa quando a área média impermeabilizada da bacia hidrográfica alcança cerca de 5% da área total, tornado-se mais grave quando começa a exceder 10%.

No limite de 10% os veios de água ainda podem ser capazes de processar completamente o afluxo de escoamento superficial.

Entretanto, quando a porcentagem de área ocupada pelas superfícies impermeáveis é superior a 25%, a capacidade de condução do leito natural estará totalmente comprometida.

Carlson (2004) ainda destacou os efeitos mitigadores de áreas verdes arborizadas, pois mesmo que uma bacia hidrográfica contendo mais de 25% de sua área com cobertura impermeável, desde que mantenha áreas com vegetação de médio a grande porte, haverá a atenuação dos efeitos da urbanização nos picos de vazão e melhora significativa na qualidade da água.

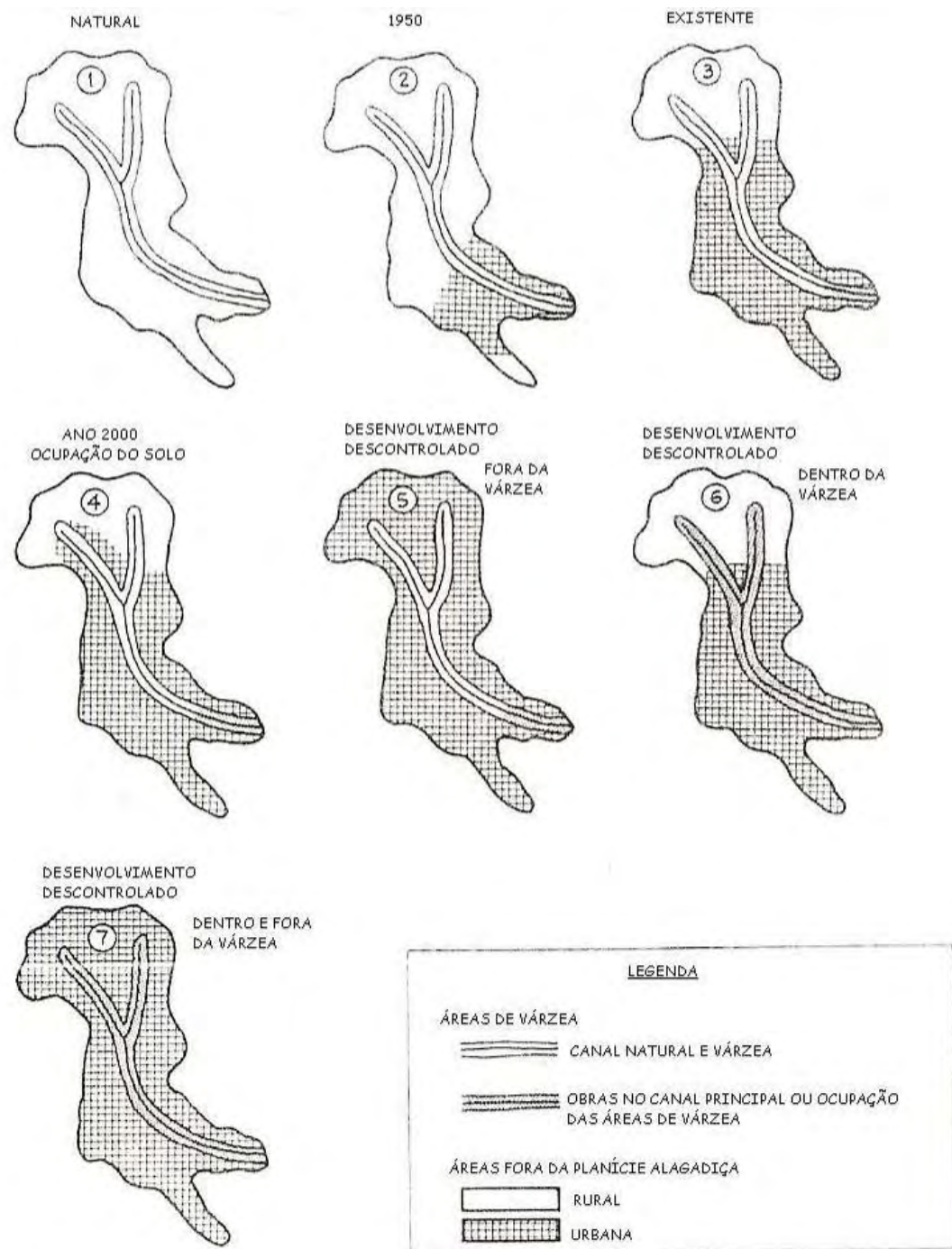


Figura 6 – Representação esquemática das condições de ocupação da terra.
(Traduzido de Welsh, 1989)

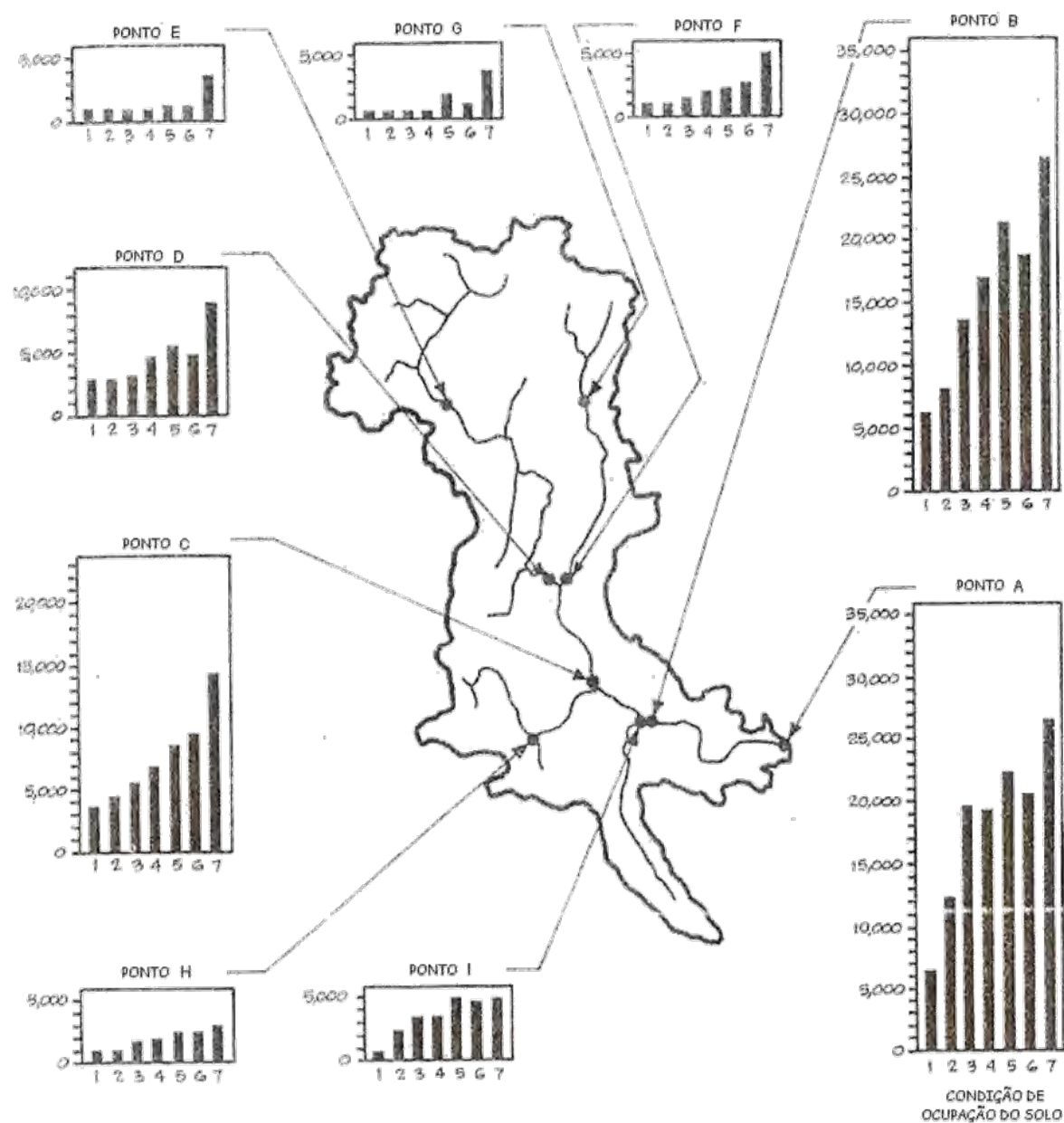


Figura 7 – Efeito das condições de desenvolvimento da terra para vazões de 100 anos de retorno. Gráficos com ordenadas em ft^3/s e eixo das abscissas representando a condição de ocupação. (Traduzido de Welsh, 1989)

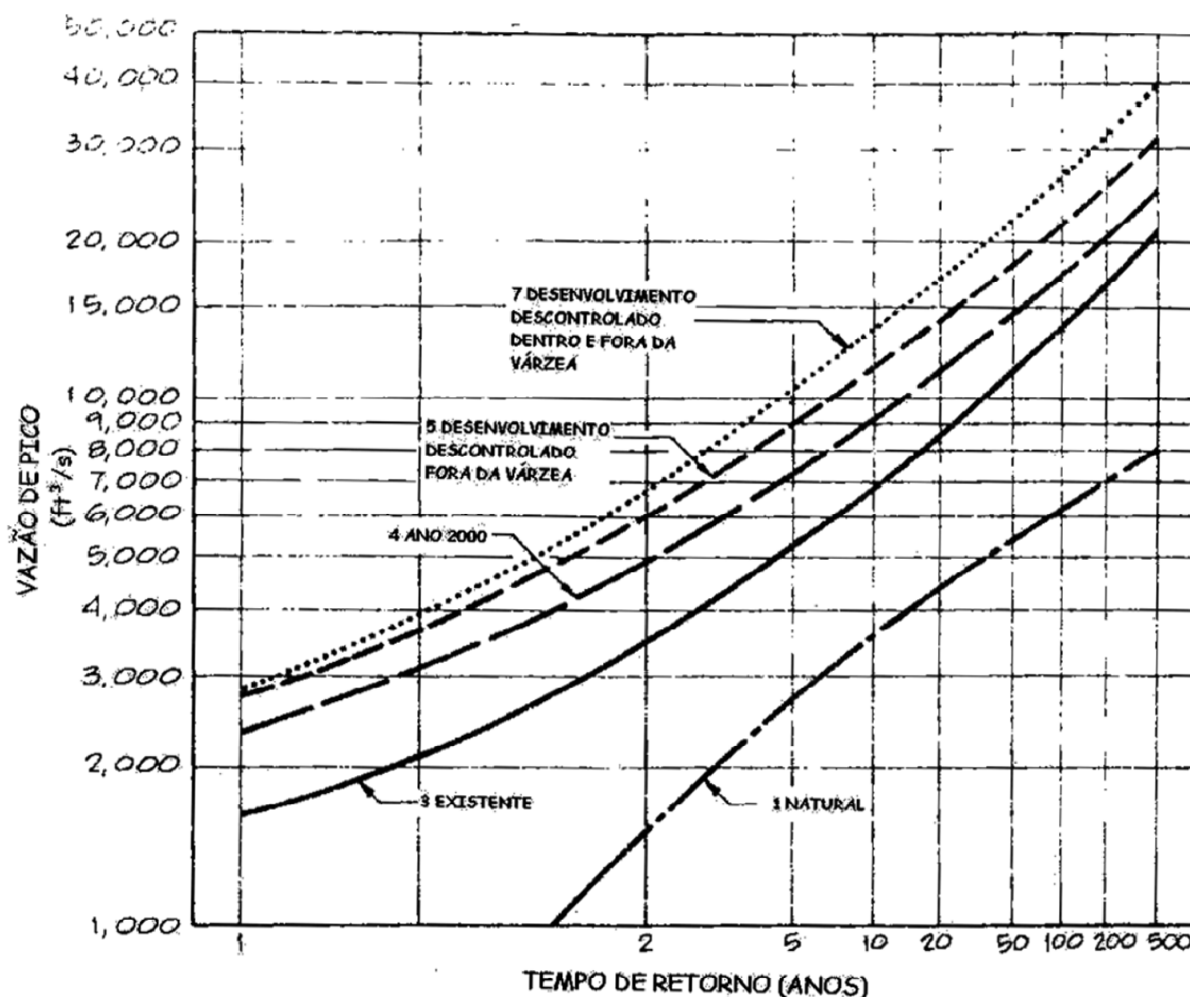


Figura 8 – Relação entre vazão de pico e tempo de recorrência para o ponto B.
(Traduzido de Walesh, 1989)

2.2 ESTUDO HIDROLÓGICO

O estudo hidrológico visa relatar o comportamento das variáveis hidrológicas no ambiente estudado e tem como objetivo, segundo Canholi (2005), subsidiar análises estatísticas de cheias ou alimentar modelos para cálculo de vazões de projeto.

Os dados obtidos compreendem fundamentalmente as características hidráulicas e morfológicas da bacia hidrográfica, suas condições de impermeabilização, tempos de concentração além da precipitação de projeto.

Essas informações são necessárias para o dimensionamento de estruturas de drenagem, redes de abastecimento, coleta de esgoto, captação de águas subterrâneas e sistemas de irrigação.

As variáveis hidrológicas descrevem a circulação natural da água, sendo esta circulação conhecida como ciclo hidrológico (TUCCI, 2001).

Segundo Villela e Mattos (1975), o movimento da água em cada uma das fases do ciclo é feito de um modo bastante aleatório, variando tanto no espaço como no tempo, estando, portanto, sob a influência das condições do uso da terra.

Em determinadas ocasiões esse modo aleatório de trabalho pode favorecer uma das fases, provocando chuvas torrenciais que ultrapassam a capacidade dos cursos d'água acarretando em inundações e prováveis prejuízos à sociedade.

A precipitação, de acordo com Tucci (2001), é a principal entrada do balanço hidrológico de uma bacia hidrográfica, variando em intensidade (i), duração (td), frequência e distribuição.

A medição da altura precipitada (h) é feita por meio de pluviógrafo ou por meio de pluviômetro. Sendo este último o mais comum devido a sua robustez e confiabilidade, sendo, portanto um equipamento que apesar de simples é eficiente na medição de alturas precipitadas.

A diferença entre os dois medidores é que o pluviógrafo registra automaticamente a altura de chuva e o período de ocorrência desta chuva. Já o pluviômetro registra apenas a altura de água precipitada necessitando de um operador para registrar manualmente os valores (SANTOS et al., 2001).

As variáveis como a infiltração, a evaporação e a evapotranspiração, de acordo com Mota (2003), são as perdas, ou seja, os processos pelos quais ocorre a diminuição do volume escoado superficialmente com relação ao volume precipitado que o deu origem.

Walesh (1989) ressaltou a importância da infiltração na recarga dos aquíferos e lençóis freáticos, visto a prevista exploração dos recursos subterrâneos no futuro, promovendo assim benefícios tanto para a rede de drenagem, em virtude da redução do pico de vazão (Q_p) e do aumento do tempo de ocorrência deste pico (t_p), como também para garantir no futuro água subterrânea em quantidade suficiente para a não ocorrência de conflitos pelo uso deste recurso de disponibilidade limitada.

Baptista (2005) afirmou que as técnicas compensatórias ou medidas não convencionais de drenagem conciliam a infiltração, evaporação e evapotranspiração, pois estabelecem uma relação de mutualismo entre os três processos.

As medidas promovedoras da infiltração permitem mais área livre para o plantio de vegetação, o que protege o solo e permite que o mesmo permaneça aerado, com uma capacidade de absorção alta.

Das fases do ciclo hidrológico, a mais importante para o engenheiro é a do escoamento superficial, pois ela trata da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre, sendo a maioria dos estudos hidrológicos ligados ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (VILLELA;e MATTOS, 1975).

Tucci (2001) destacou que diversos fatores influenciam na ocorrência do escoamento superficial, sendo que estes fatores podem ser de natureza climática, relacionados à precipitação (variáveis) ou de natureza fisiográfica, ligados às características físicas (parâmetros) da bacia.

Segundo Villela e Mattos (1975), as grandezas que caracterizam o escoamento superficial são:

- Vazão (Q): volume escoado superficialmente por unidade de tempo é a principal grandeza que caracteriza um escoamento. Expresso normalmente em metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou em litros por segundo (l/s);
- Coeficiente de escoamento superficial (C): conhecido também como coeficiente de deflúvio, ou ainda coeficiente de *runoff*, é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado que o deu origem. Este coeficiente varia de acordo com as características e com o uso e ocupação da terra, chuva antecedente e duração da chuva. Entretanto, conhecendo-se o C de uma determinada chuva intensa de certa duração, pode-se determinar o escoamento superficial de outras precipitações com intensidades diferentes, desde que a duração seja a mesma, por meio de métodos como o racional. Este procedimento é bastante utilizado para a previsão das vazões de enchentes provocadas por chuvas intensas;
- Tempo de concentração (t_c): este é o nome dado ao tempo em que a chuva que cai no ponto mais distante da seção considerada de uma bacia, leva para atingir a seção de estudos. Quando a distribuição da chuva cobrir toda a bacia, o tempo de concentração medirá o tempo para que toda a bacia contribua com o escoamento superficial na seção considerada;
- Tempo de recorrência (TR): também chamado de tempo de retorno, é o período de tempo que um determinado evento, seja ele vazão ou precipitação, é igualado ou superado pelo menos uma vez. Os fatores que alteram o

escoamento superficial também alteram o período do retorno. É importante notar que a escolha do período de retorno para o dimensionamento de uma obra deve ser precedida de análises relativas aos prejuízos tangíveis e intangíveis que possam vir a ser causados por eventos críticos como enchentes;

- Nível de água (h): é a medida que se refere à altura atingida pelo nível d'água em relação a um nível de referência (*datum*).

Entretanto, existem obras que não estão ligadas a um curso de água ou mesmo sem a instrumentação da bacia hidrográfica sendo necessário para o dimensionamento a estimativa do escoamento superficial por meio de modelos matemáticos (TUCCI, 2000).

Canholi (2005) ressaltou a necessidade da utilização destes modelos matemáticos em centros urbanos nos quais existem cursos de água, mas o controle das vazões não é efetuado.

2.2.1 Métodos de chuva x vazão

De acordo com Carlson (2004) uma boa gestão de bacias hidrográficas requer conhecimento de como o uso da terra afeta escoamento e a qualidade da água.

Portanto, para se conhecer o escoamento a partir da chuva por meio de métodos teóricos é necessário saber as condições da interface entre a chuva e o deflúvio, ou seja: a ocupação da terra.

Existem inúmeros métodos de cálculo chuva x vazão na literatura.

DAEE (2008) orientou que para a aplicação da metodologia adequada em primeiro lugar se deve verificar a extensão da série histórica de dados pluvio-fluviométricos e a dimensão da área de drenagem da bacia em estudo.

A Figura 9 propõe um fluxograma para orientar a escolha do método adequado com base na série histórica e na área da bacia hidrográfica.

Com base no exposto pela Figura 9 nota-se que para regiões com séries históricas maiores do que 3 anos são indicados os métodos empíricos, já para as áreas com séries históricas menores, indicam-se os métodos teóricos ou sintéticos.

De acordo com DAEE (1994) quando a série histórica de dados fluviométricos é maior do que 25 anos recomenda-se a aplicação de análise estatística, ajustando-se distribuições de probabilidade a serie de dados.

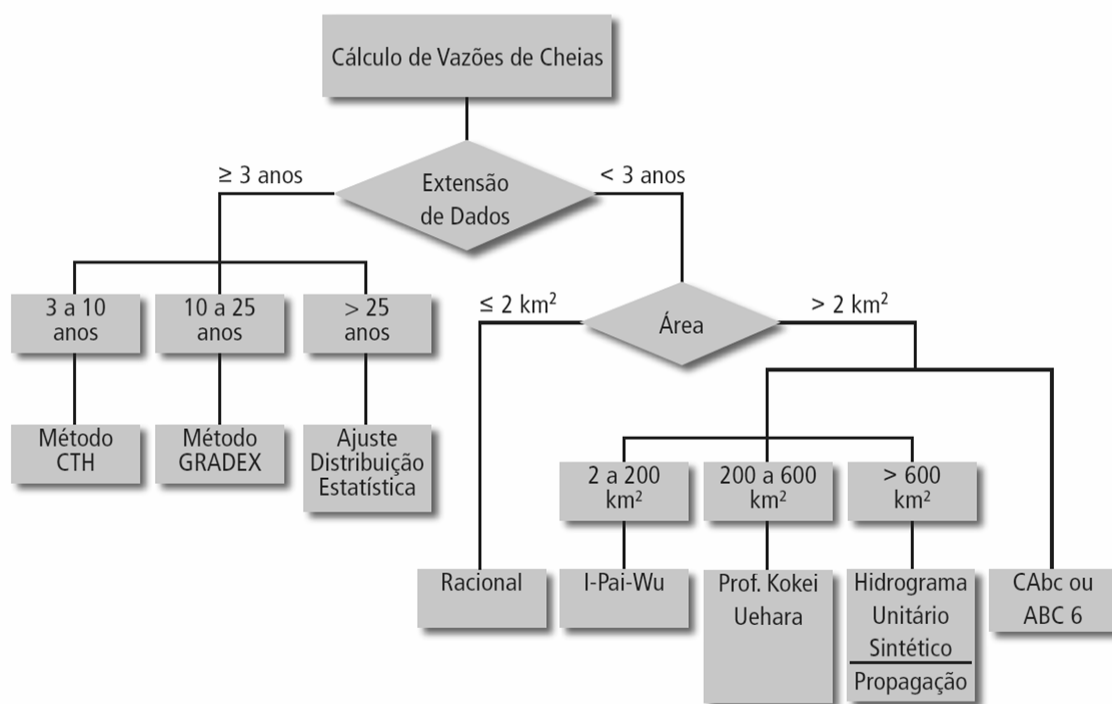


Figura 9 – Diagrama das metodologias para estimativa das vazões de enchente. (DAEE, 2008)

Esse ajuste é feito por meio da aplicação de métodos, tais como o Método Log-Pearson Tipo III, associando, desta forma à probabilidade de ocorrência de uma vazão máxima, a probabilidade de ocorrência de um evento de natureza estatística, descrito por uma função densidade de probabilidade, no caso o Log-Pearson.

Para séries históricas compreendidas entre 10 e 25 anos é sugerido o emprego do Método Gradex que correlaciona os resultados da análise de frequência de dados de precipitação intensas com respectivas vazões máximas.

O método empírico baseado na teoria do hidrograma unitário desenvolvido pelo Centro Tecnológico de Hidráulica – CTH é indicado para séries históricas entre 3 a 10 anos, sendo que este método foi desenvolvido especificamente para a determinação das vazões de projeto de canalizações de córregos urbanos na Grande São Paulo.

A metodologia desenvolvida pelo CTH consiste na estimativa dos picos de enchentes correspondentes às chuvas arbitrando-se coeficientes de *runoff* e coeficientes de dispersão, aplicados a hidrogramas percentuais típicos das bacias.

O coeficiente de dispersão mencionado anteriormente, segundo DAEE (1994), é a relação entre a chuva na área da bacia e a chuva no ponto de interesse.

Os métodos sintéticos como o Racional, I-Pai-Wu e Prof. Kokei Uehara são indicados conforme a área da bacia em estudos.

DAEE (1994) enfocou estes métodos como de grande importância para os engenheiros, pois a ausência de séries históricas de dados hidrológicos estatisticamente representativos é muito freqüente nas bacias hidrográficas de pequeno porte, sendo estas bacias as que mais comumente se apresentam no dia a dia do engenheiro envolvido no dimensionamento de obras hidráulicas.

Em vista da importância dos métodos sintéticos, a seguir serão descritos alguns métodos além dos três já supracitados:

- Método Racional: de acordo com Tomaz (2002), o método racional é um método indireto e foi apresentado pela primeira vez em 1851 na Inglaterra. Este método estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial, sendo usado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo. Os dados necessários para aplicação deste método são: a área da bacia, a intensidade da chuva e o coeficiente de *runoff* que caracteriza a ocupação da bacia hidrográfica. Segundo Tucci (2001) o método racional é amplamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas (até 2 km²). Entretanto o conceito de bacia pequena varia de autor para autor, encontrando indicações variando entre 1 km², conforme Canholi (2005), até 500 km² conforme exposto por Tomaz (2002) que ainda atentou para o fato de o método racional pode fornecer vazões subestimadas para bacias muito pequenas (inferiores a 0,8 km²) e superestimar as vazões para as bacias maiores (superiores a 3,0 km²);
- I-Pai-Wu: este método, segundo DAEE (1994) é um aprimoramento do método racional, corrigindo o efeito de superestimar vazões para as bacias de grande porte, daí a possibilidade de se indicar o método I-Pai-Wu para bacias de até 200 km². Para tanto, o método I-Pai-Wu avalia fatores como a forma, declividade, intensidade e distribuição da chuva, características da bacia hidrográfica como a declividade e o comprimento do talvegue, tempo de concentração e tempo de pico;
- Método do Prof. Kokei Uehara e método de Snyder: o método proposto pelo Prof. Kokei Uehara, de acordo com o exposto por DAEE (1994), é uma adaptação do método de Snyder para as condições brasileiras, podendo ser aplicado para as bacias com áreas de drenagem de 200 a 600 km². O método de Snyder propõe um grupo de equações baseadas em observações de rios nas

regiões montanhosas dos Apalaches. Este método admite um hidrograma sintético, isto é, construído a partir de valores adotados para os parâmetros envolvidos, tais como: vazão de pico (Q_p), tempo de chuva (t_d), tempo de concentração (t_c), tempo de retardamento (t_r), que é o tempo decorrido entre o centro de gravidade do hietograma da chuva excedente e o pico do hidrograma unitário, e tempo de base (t_b) sendo este tempo igual a um valor entre $3,0 \times t_c$ ou $3,5 \times t_c$. Por fim, Linsley (1958 apud DAEE, 1994) mostrou em 1943 a aplicabilidade das equações de Snyder para outras regiões modificando algumas constantes como o tempo de retardamento, comprimento do talvegue, distância da seção de controle até a projeção do centro de gravidade da bacia no talvegue e o coeficiente C_t que depende da forma da bacia. Para as áreas estudadas por Snyder ele varia de 1,8 a 2,2, já para as bacias brasileiras estudadas pelo Prof. Kokei Uehara, esse coeficiente varia entre 0,8 a 2,0;

- Método do Soil Conservation Service (SCS): de acordo com Tomaz (2002) o método do SCS é mais conhecido e mais aplicado nos Estados Unidos. Este método é indicado para áreas que variam de 3 km² a 250 km² e está baseado no conceito de hidrograma unitário (HU). As hipóteses básicas de um HU, segundo McCuen (1998 apud TOMAZ, 2002), são (a) que a intensidade da chuva efetiva seja constante durante a chuva que produz o HU; (b) a chuva efetiva é uniformemente distribuída sobre toda a área de drenagem; (c) o tempo de base ou tempo de duração do hidrograma do deflúvio superficial direto devido a uma chuva efetiva de duração unitária é constante e, (d) por fim, os efeitos de todas as características de uma dada bacia de drenagem incluindo a forma, declividade, retenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de escoamento do canal serão refletidos na forma do HU. Segundo Canholi (2005) pode-se converter um hidrograma adimensional em um HU para uma duração desejada desde que a vazão de pico por centímetro de chuva excedente e o tempo de pico sejam conhecidos. Ainda segundo Canholi (2005), o método do SCS foi desenvolvido somente para eventos com o tempo de duração da precipitação excedente de $t_d = 0,2 \times t_p$ ou $t_d = 0,133 \times t_c$;
- Santa Bárbara: segundo Tomaz (2002) as duas grandes vantagens deste método são: considerar os efeitos do armazenamento e não possuir restrições quanto às dimensões da bacia hidrográfica. Canholi (2005) descreveu o método Santa Bárbara como um método que combina os deflúvios das áreas

permeáveis e impermeáveis para construir um hidrograma instantâneo das vazões excedentes, sendo este hidrograma instantâneo amortecido em um reservatório imaginário que provoca um retardamento igual ao tempo de concentração da bacia. Entretanto, para o cálculo da precipitação excedente é preciso fazer uso de métodos de infiltração, tais como o método de Horton, o método do número de curva do *Soil Conservation Service* (CN-SCS) ou o método do balanço de massas.

Uma das principais limitações de quase todos os modelos de chuva x vazão é o tamanho da área de drenagem (AD). Em vista de aperfeiçoar os resultados obtidos, DAEE (1994) sugeriu 3 recomendações: (a) a divisão da bacia hidrográfica em áreas de contribuição quando a área total de drenagem extrapolar os limites de 600 km²; (b) a determinação dos hidrogramas unitários sintéticos dos tributários e; (c) a propagação das ondas de cheia geradas ao longo do sistema hidrográfico.

2.2.2 Determinação da infiltração e armazenamento de água no solo

A infiltração é a passagem da água da superfície do terra para o seu interior em função da sua capacidade de infiltração e da água disponível para infiltrar (TUCCI, 2001).

Segundo Tomaz (2001), intuitivamente pode-se dizer que a infiltração possui uma taxa maior no início que na medida em que vai passando o tempo de chuva a taxa vai diminuindo até o solo se comportar como uma superfície impermeável.

Os métodos para a determinação da infiltração são de grande importância, pois eles podem ser utilizados em conjunto com os métodos de chuva x vazão, potencializando os resultados, tal como ocorre no método Santa Bárbara.

A seguir segue a descrição de alguns métodos já consagrados para o cálculo da infiltração:

- Método de Horton: este é o método mais conhecido para o cálculo da infiltração (TOMAZ, 2002). De acordo com Tucci (2001) a equação de Horton é o resultado de experimentos de campo que avaliaram o comportamento dos solos submetidos a uma precipitação com intensidade sempre superior à

capacidade de infiltração do solo, como resultado, foi obtido uma relação exponencial válida quando o potencial de vazão de infiltração é maior ou igual à precipitação;

- CN-SCS: o método do número de curva utiliza parâmetros de classificação hidrológica e de cobertura de solos para fornecer o índice chamado de número de curva (CN), este número é relacionado empiricamente à capacidade de armazenamento da bacia (CANHOLI, 2005). No Anexo D deste trabalho encontra-se uma descrição pormenorizada deste método;
- Método do balanço de massas: foi descrito por Canholi (2005) como sendo o método utilizado visando equalizar a intensidade da chuva à intensidade do deflúvio. Segundo Kuichling (1889 apud CANHOLI, 2005) a relação entre a vazão de precipitação e a vazão efetiva é igual à área impermeabilizada da bacia quanto toda esta área está contribuindo, sendo que a vazão efetiva, ou vazão excedente resulta também das áreas permeáveis quando a intensidade da precipitação excede a capacidade de infiltração. O deflúvio proveniente das áreas impermeáveis diretamente conectadas à rede de drenagem é praticamente igual ao volume precipitado, salvo apenas quando é afetado pelas depressões e detenções que eventualmente existem na bacia hidrográfica.

2.2.3 Cálculo do tempo de concentração

O tempo que se passa entre o início da chuva e o momento em que toda a bacia contribui com o escoamento superficial é chamado de tempo de concentração (TOMAZ, 2002). De acordo com Tucci (2001), o tempo de concentração é um dos parâmetros que controlam a forma do hidrograma, os outros parâmetros são o tempo de retardamento, o tempo de pico e o tempo de duração da tormenta.

Existem inúmeras fórmulas para cálculo do tempo de concentração, entretanto, conforme afirmaram Tucci (2001) e Tomaz (2002) podem haver divergências entre os valores obtidos, devendo-se recorrer a mais de um método para validar os resultados.

A seguir, a Tabela 2 descreve os principais métodos discutidos por Canholi (2005), Tomaz (2002), Tucci (2001) e Walesh (1989), apresentado as descrições, recomendações e restrições.

Tabela 2 – Fórmulas para cálculo do tempo de concentração

MÉTODO	DESCRIÇÃO, RESTRIÇÕES E RECOMENDAÇÕES	PARÂMETROS E VARIÁVEIS NECESSÁRIOS
Kirpich	A fórmula de Kirpich foi o resultado do estudo de 6 pequenas bacias rurais. É muito utilizada na aplicação do método racional para áreas rurais com no máximo 0,5 km ² de área, declividade entre 3 e 10%, não sendo indicada para bacias alongadas por subestimar o t_c .	Comprimento do talvegue e declividade do talvegue.
<i>California Culverts Practices</i>	Possui como grande vantagem a fácil obtenção dos dados. É uma simplificação da fórmula de Kirpich, sendo indicada para bacias hidrográficas de pequeno porte (0,5 km ²) e com pouca complexidade nas características de uso e ocupação da terra.	Comprimento do talvegue e diferença entre a cota do ponto mais alto da bacia e a cota de saída da bacia.
Onda Cinemática	Essa equação é adequada para pequenas bacias onde o método racional pode ser aplicado. Ela foi deduzida a partir das equações da onda cinemática aplicada a superfícies, baseando-se na hipótese de precipitação constante igual ao tempo de concentração e na equação de Manning. Nesta equação está incluso o impacto das gotas de água, os obstáculos dos escoamentos como o lixo, a vegetação, as pedras e o transporte de sedimentos.	Rugosidade de Manning, intensidade da precipitação, comprimento do talvegue e declividade.
SCS Lag	Indicada para bacias rurais com áreas de até 8 km ² . Para aplicações em bacias urbanas o SCS sugere procedimentos para ajuste em função da área impermeável e da parcela de canais que sofreram modificações. Essa fórmula superestima o valor do t_c em comparação com os resultados da fórmula de Kirpich.	Comprimento do talvegue, número da curva CN e a declividade da bacia.
SCS – método cinemático	Considera o tempo de concentração como o somatório dos tempos de percurso dos diversos trechos que compõe o comprimento do talvegue. Para as áreas não urbanas existe tabela que fornece valores de velocidade, já para as áreas urbanas é indicado o uso da fórmula de Manning.	Comprimento do talvegue e velocidade média no trecho.

Fonte: Adaptado de Canholi (2005), Tomaz (2002), Tucci (2001) e Walesh (1989).

As dispersões entre os resultados ocorrem em virtude do tempo de concentração variar em função dos parâmetros de uso e ocupação da superfície da terra da bacia, sendo recomendado por Canholi (2005) o uso de trechos com o enfoque cinemático, pois a diferença entre os tempos de concentração pode condicionar a vazão de pico de um hidrograma a variações significantes.

2.2.4 Modelos hidrológicos

De acordo com Tucci (1998) os modelos são representações de objetos ou de sistemas reais em ambiente virtual, onde é possível ao modelador testar possibilidades e fazer prognósticos sem que o sistema real tenha que sofrer alterações, ou sem que se tenha que esperar o tempo indicar qual o efeito de uma ação.

No caso dos modelos hidrológicos há uma busca para a melhor compreensão dos fenômenos físicos que ocorrem no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, com o

objetivo de representar teoricamente os fenômenos e prever condições diferentes das observadas (TUCCI, 1998).

De acordo com Souza (2008), alguns modelos hidrológicos permitem reconstituir séries hidrológicas, simular condições críticas e estudar o comportamento dos sistemas hidrológicos, tornam-se desta forma ferramentas essenciais para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos quando o tomador de decisão necessita avaliar processos quantitativos em diferentes fases e/ou segundo diferentes cenários.

Segundo Tucci (1998), para o estudo dos recursos hídricos existem três tipos principais de modelos matemáticos:

- Modelos de Simulação: estes modelos representam e descrevem processos, permitindo antecipar as ocorrências de eventos extremos ou críticos e a partir destes resultados tomar as decisões. Os modelos de simulação são destinados a definição das dimensões de projeto, ao planejamento, à previsão de variáveis e à avaliação do uso da terra. Os principais modelos de simulação tratam de representar o ciclo hidrológico na bacia hidrográfica, a qualidade da água, a produção e transporte de sedimentos;
- Modelos de Otimização: este é o tipo de modelo que aperfeiçoa sistemas ou funções de sistema quanto a sua operação e podem usar os modelos de simulação dentro de sua estrutura. Os modelos de otimização buscam definições como operação de reservatórios, dimensionamento de redes de escoamento, usos múltiplos da água, etc.;
- Modelos de Decisão: estes modelos são denominados de modelos de suporte à decisão, combinando vários modelos para dar respostas às questões de decisão solicitadas pelos usuários. Existem Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) para a gestão da água em bacias hidrográficas e na drenagem urbana.

Para Souza (2008) existe uma grande diversidade de modelos utilizados no gerenciamento dos recursos hídricos, simulando operações em reservatórios, dimensionamento de redes, canais e condutos, avaliação da qualidade das águas em rios e reservatórios, gestão de sistemas múltiplos (canais, estações de tratamento, reservatórios), geração estocástica de vazões e determinação de chuva x vazão, dentre tantos outros.

Os modelos hidrológicos de chuva x vazão variam em função de alguns fatores como: número de parâmetros exigidos como dados de entrada, conceitos utilizados, simplificações adotadas.

A classificação dos modelos hidrológicos foi descrita por Tucci (1998) da seguinte maneira:

- Contínuo ou discreto (pontual): Nos modelos discretos (pontuais) considera-se que todas as variáveis de entrada e de saída são representativas de toda área estudada. Já nos modelos contínuos a variabilidade espacial é considerada e encontrada nas diversas variáveis do modelo. Entretanto, discretizações do espaço também são feitas, sendo que cada elemento discretizado pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área, conforme foi exposto por Rennó e Soares (2003);
- Conceitual ou empírico: segundo Freitas (1994) a diferença entre os modelos conceituais e empíricos é o fato de que os modelos conceituais incorporam intrinsecamente em suas relações processuais formulações físicas, químicas, biológicas que nos modelos empíricos não acontece. De acordo com Rennó e Soares (2003) os modelos empíricos não possibilitam fazer simulações de mudanças em condições para os quais o modelo não previu, tais como, chuvas extremamente altas, mudança de uso da terra, etc;
- Estocástico (probabilístico) ou determinístico: Segundo Rennó e Soares (2003), um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório. Caso os conceitos de probabilidades não sejam considerados durante elaboração de um modelo, este será denominado determinístico;
- Concentrado ou distribuído: segundo Freitas (1994), todos os modelos acima podem ser classificados como concentrados ou distribuídos. Considera-se que um modelo é concentrado quando ele ignora a distribuição espacial das variáveis de entrada e dos parâmetros que caracterizam os processos físicos, tendo variações apenas em relação ao tempo. Já nos modelos distribuídos essa distribuição espacial é levada em conta na modelagem.

A estrutura dos modelos hidrológicos precipitação-vazão é, atualmente, baseada na discretização da bacia hidrográfica, nas variáveis de entrada, na estrutura básica da integração

dos processos, na aquisição dos dados físicos da bacia e na determinação dos parâmetros (TUCCI, 1998).

Em vista das limitações que acontecem pelo processo a ser representado no modelo ser muito complexo, ou seja, sem haver equações matemáticas que possam descrevê-lo ou por falta de computadores que possam tratar os resultados destas equações, surge a necessidade de simplificações para o tratamento do fenômeno a ser modelado.

Dessa forma, um mesmo processo pode ser representado de diferentes maneiras, sendo algumas mais apropriadas para determinados casos.

Assim, não existe um modelo único que seja o melhor e sim pode existir aquele que melhor descreve um fenômeno (RENNÓ; SOARES, 2003).

A Tabela 3 foi confeccionada com base em Souza (2008), que reuniu um breve histórico dos modelos hidrológicos, demonstra a grande variabilidade de modelos para estudar os fenômenos hidrológicos. Cada um destes modelos possui recomendações que permitem simplificações nas equações fazendo com que os resultados sejam mais plausíveis.

O uso indiscriminado de modelos sem atentar para as suas limitações pode implicar em resultados catastróficos, pois as condições de contorno que permitem simplificações nas equações utilizadas variam de bacia para bacia.

Tabela 3 – Principais modelos hidrológicos

PIONEIROS	ATUAIS	
	NACIONAIS	INTERNACIONAIS
SSARR STANFORD IV Kentucky Model Texas Watershed Model MIT HEC-1 Mero	IPH II, IPH III e IPH IV ABC 3, ABC 4, ABC 5 e ABC 6 DRENG-P21A HIDRO-SHS Cdren	HEC-2 TR-20 PondPack MIKE 11 HydroReach WEAP 21

2.3 DRENAGEM URBANA

Segundo Tomaz (2002), a drenagem urbana é o processo pelo qual se remove as águas pluviais por meio de obras estruturais para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundação.

Canholi (2005) justifica as obras de drenagem urbana como sendo uma solução para o problema da perda do armazenamento natural do solo devido à impermeabilização da superfície que acarreta no aumento da velocidade dos escoamentos em função das obras de canalização.

Muitos projetos de drenagem urbana no Brasil ainda são desenvolvidos com a filosofia de que a melhor drenagem é a que expulsa a água do local o mais rápido possível. Este princípio acaba transferindo o problema de montante para jusante agravando ainda mais a situação, fazendo com que as inundações ocorram com maior frequência e maior magnitude em diferentes pontos das cidades conforme expõe Tucci e Marques (2000).

Segundo Canholi (2005) e Tucci et al. (2001) a ampliação dos problemas ocorre devido a uma avaliação apenas da situação local, sem contemplar toda a bacia hidrográfica.

A falta desta análise mais completa da bacia hidrográfica urbana é justificada por Barros (1995) devido a não existência de suporte técnico especializado neste assunto por parte da administração da drenagem urbana, que é feita, na maioria das vezes, pelos municípios. Isto leva à implantação de soluções pontuais com pequena vida útil e, portanto, mais onerosas em longo prazo.

Atualmente, segundo Tucci et al. (2001), o entendimento mais amplo vem tornando o termo drenagem urbana o produto da integração multidisciplinar, ou seja, indo além dos conceitos de engenharia e diretrizes estabelecidas pela política do setor, até ao campo social por meio da educação ambiental, o que acaba proporcionando melhores soluções e de longo prazo.

Segundo Canholi (2005), Tucci e Marques (2000) e Lazaro (1990) nos países desenvolvidos esta proposta de entendimento da drenagem urbana como um sistema multidisciplinar vem sendo desenvolvida desde a década de 70, em decorrência da necessidade crescente de conhecimento e controle das relações, freqüentemente conflitantes, entre o trinômio: cidade, sociedade e ciclo hidrológico.

Essa necessidade fez com que a drenagem urbana passasse a se preocupar com a qualidade do escoamento e não apenas com a quantidade.

A necessidade de uma reflexão mais profunda sobre as conseqüências das ações antrópicas sobre o meio ambiente, particularmente sobre os recursos hídricos, conduziu a hidrologia a uma nova concepção embasada em conceitos inovadores: a hidrologia urbana.

A hidrologia urbana pode ser definida, segundo Lazaro (1990), como o estudo dos processos hidrológicos em ambientes afetados pela urbanização, como mostrado pela Figura 10, na qual os efeitos da urbanização são apresentados.

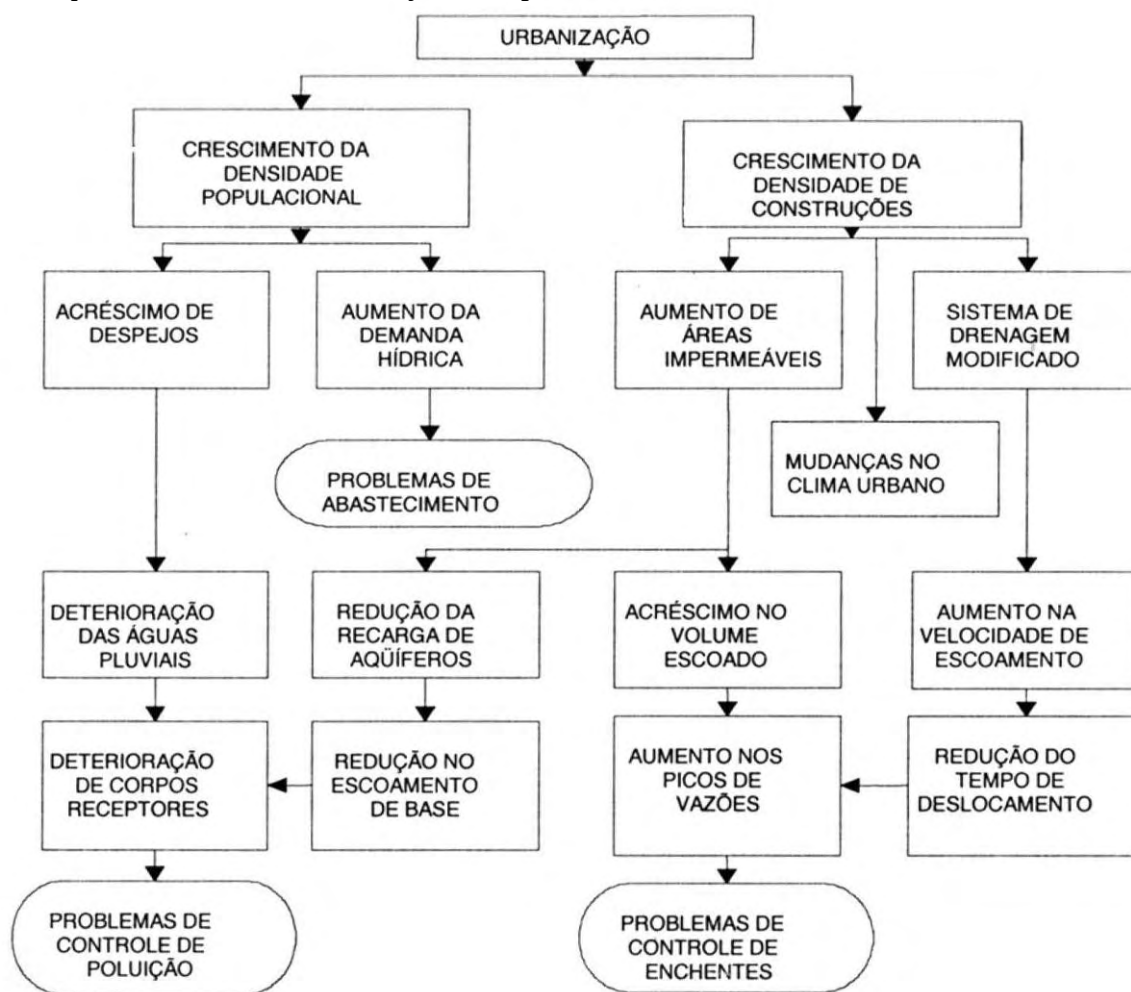


Figura 10 – Os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos.
(HALL, 1984 apud TUCCI; MARQUES, 2000)

Conhecer a hidrologia urbana, ou seja, entender o sistema multidisciplinar de inter-relações proposto na Figura 10, permite ao engenheiro compreender os efeitos que a evolução da urbanização causa.

Tal entendimento possibilita a elaboração de soluções mais eficientes e econômicas para a drenagem urbana por meio do gerenciamento integrado entre as medidas estruturais e não estruturais, bem como promover também a integração entre os planos diretores (CANHOLI, 2005).

2.3.1 Medidas de controle: Obras de drenagem

Segundo Tomaz (2002) e Tucci e Genz (1995) as obras de drenagem são divididas em obras de microdrenagem, sistemas de condutos pluviais pertencentes ao loteamento ou à rede primária urbana; e obras de macrodrenagem, destinadas à condução final das águas captadas pela drenagem primária.

De acordo com Tomaz (2002) e Tucci et al. (2001) para controlar e prevenir o risco de sobrecarga do sistema de drenagem podem ser tomadas medidas do tipo estrutural, não estrutural e da integração entre estas.

As medidas estruturais, segundo Tucci e Marques (2000), podem ser caracterizadas como medidas intensivas ou extensivas.

As medidas estruturais intensivas, conforme Canholi (2005), são as que agem no rio e podem ser de quatro tipos: a) de aceleração do escoamento: construção de diques e polders, aumento da capacidade de descarga dos rios e retificação; b) de retardamento do fluxo: reservatórios (bacias de retenção/detenção), restauração de calhas naturais; c) de desvio do escoamento: túneis de derivação e canais de desvio; e d) que englobem a introdução de ações individuais visando a tornar as edificações à prova de enchentes.

Já as medidas estruturais extensivas, ainda segundo Canholi (2005), são as que agem na bacia correspondendo aos pequenos armazenamentos disseminados em sua área, à recomposição de cobertura vegetal e ao controle de erosão da terra, ao longo da bacia de drenagem.

As medidas estruturais por serem dotadas de grandes estruturas e, portanto sendo visíveis, criam uma falsa sensação de segurança para a população induzindo a ocupação das áreas inundáveis.

Entretanto, as medidas estruturais tornam-se economicamente e fisicamente inviáveis na medida em que são projetadas para dar uma proteção completa, como expuseram Tucci e Marques (2000).

Canholi (2005) sugere a implantação das medidas estruturais integradas com as medidas não estruturais para que haja uma maior proteção a custos menores.

As medidas não estruturais em contraposição às medidas estruturais não visam obras físicas, pois almejam disciplinar a ocupação territorial e o comportamento de consumo das pessoas e atividades econômicas por meio de ações preventivas: regulamentação do uso e

ocupação da terra; e educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e lixo; ou por meio de ações corretivas: seguro enchente; sistemas de alerta e previsão de inundação; e construção à prova de enchente. Com base neste conceito entende-se a afirmação de Figueiredo (1994, p. 44): “[...] às vezes, não fazer obras é a grande solução de engenharia”.

A regulamentação do uso e ocupação da terra delimita as áreas sujeitas à inundação em função do risco, sendo possível estabelecer um zoneamento e a respectiva regulamentação para construção, ou ainda para eventuais obras de proteção individuais (como a instalação de comportas, portas-estancques dentre outras) a serem incluídas nas construções existentes.

Da mesma forma podem ser desapropriadas algumas áreas, destinando-as a praças, parques e estacionamentos, dentre outras possibilidades.

Essas ações visam prevenir contra os fatores de ampliação dos deflúvios, representados pela impermeabilização intensiva da bacia de drenagem e pela ocupação das áreas ribeirinhas inundáveis, fatores que sobrecarregam a capacidade natural de armazenamento e o escoamento das calhas dos rios.

A implantação destas medidas deve estar de acordo com os aspectos sociais como a aceitação pela comunidade e para que isto seja possível deve haver a inclusão da comunidade em programas de educação ambiental.

Assim a população terá ciência dos riscos a que está sujeita ao ocupar áreas de risco, saberá como um processo erosivo é desencadeado e também como a falta de cuidados com a disposição final do lixo doméstico pode ocasionar alagamentos e enchentes na região habitada por esta população.

Quando a desapropriação torna-se bastante dispendiosa, bem como a implantação de medidas estruturais, a solução volta-se para as ações corretivas como o seguro-enchente que permite aos indivíduos ou empresas a obtenção de uma proteção econômica para as eventuais perdas. Outra medida corretiva é a implantação do sistema de alerta e previsão de inundação, evitando o fator surpresa que muitas vezes provoca vítimas fatais e grandes prejuízos pelo alagamento de vias, aprisionamento de veículos, inundação de edificações e de equipamentos (SAMAE; IPH, 2001).

O sistema de alerta facilita as ações preventivas de isolamento ou retirada de pessoas e de bens das áreas sujeitas às inundações, assim como a adoção de desvios de tráfego.

Para a proteção das edificações podem ser adotadas as construções à prova de enchentes, que são definidas como o conjunto de medidas projetadas para reduzir as perdas em prédios localizados nas várzeas de inundação durante a ocorrência de cheias. Como exemplo tem-se as construções sobre palafitas ou pilotis ilustradas pela Figura 11.



Figura 11 – Construções à prova de enchentes. (ANA, 2002)

Dentro de um planejamento consistente das ações de melhoria e controle dos sistemas de drenagem urbana deve estar previsto uma combinação adequada de recursos humanos, materiais e um balanceamento harmonioso na integração das medidas estruturais e não estruturais, sempre que o gerenciamento integrado for possível.

Essa metodologia permite a elaboração de grandes soluções e não mais das soluções grandes que predominavam no passado e cuja funcionalidade é discutível, conforme afirma Figueiredo (1994).

A Figura 12 mostra as curvas de atendimento às demandas da drenagem urbana a partir das ações referentes às medidas estruturais e não estruturais.

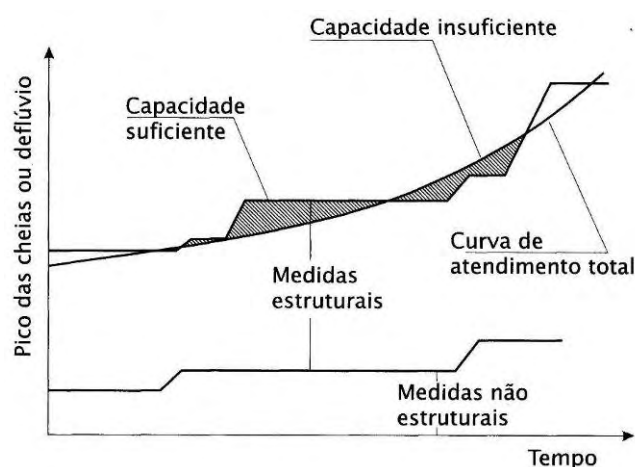


Figura 12 – Curva de atendimento às demandas de drenagem urbana. (BRAGA, 1994 apud CANHOLI, 2005)

Nota-se que a curva das medidas não estruturais não atende a demanda porque ela impede a geração desta demanda, ou seja, proíbe a ocupação das áreas de risco. Já as medidas estruturais, por terem uma característica de correção, elas acompanham a demanda, resultando em um ciclo vicioso de obras, no qual a demanda exige as medidas estruturais e estas por sua vez viabilizam a ocupação de novas áreas de risco que irão exigir mais medidas estruturais.

2.3.2 Plano Diretor de Drenagem Urbana

O Plano Diretor de Drenagem Urbana é um dos planos integrantes do Plano Diretor e sua finalidade é a de disciplinar e controlar inundações da bacia, sendo uma ferramenta dotada de estratégias essenciais para a obtenção de boas soluções de drenagem urbana (SAMAE; IPH, 2001).

Segundo Canholi (2005) o esforço maior na sua elaboração e condução é no sentido de que não se torne meramente um plano de obras, pois deverá ser um instrumento regulador, referencial técnico e estratégico que condicione as intervenções dos municípios e ao mesmo tempo defina os instrumentos políticos, institucionais e econômico-financeiros de viabilização.

Entretanto, na análise feita por IBGE (2005) que avaliou 5.507 municípios pôde-se constatar que em apenas 21% das cidades analisadas havia instrumentos reguladores de drenagem urbana auxiliando na administração pública.

Essa proporção insipiente de 1 município regulamentado para cada 5 sem regulamentação é evidenciada por meio da Tabela 4, na qual estão indicados os agravantes de inundações e enchentes.

Por meio da Tabela 4 conclui-se que a falta do estabelecimento de procedimentos simples, tal como a limpeza de bueiros e GAP (galerias de águas pluviais) resultaria em uma redução nos fatores agravantes de enchentes de aproximadamente 26%.

Responsabilizados por aproximadamente 28% dos fatores agravantes estão o dimensionamento inadequado de projetos e as obras inadequadas, porém estes fatores por si só não tem uma relevância para o planejamento sem a avaliação do fator adensamento populacional ao qual se atribui aproximadamente 18% dos fatores agravantes, ou seja, estes 18% podem desencadear os outros 28%.

Sendo assim, o adensamento populacional pode condicionar as obras e projetos adequados à condição de urbanização, ao colapso em virtude de uma mudança drástica nos parâmetros adotados para a concepção do dimensionamento hidráulico.

Tabela 4 – Fatores agravantes das inundações ou enchentes

Grandes Regiões	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-oeste
Dimensionamento Inadequado de projeto	339	8	63	166	92	10
Obstrução de bueiros/bocas de Lobo	631	38	123	260	192	18
Obras inadequadas	345	16	67	145	104	13
Adensamento populacional	391	16	75	192	95	13
Lençol freático alto	205	13	54	69	58	11
Existência de interferência Física	298	8	57	130	91	12
Outros	237	13	26	110	78	10
Sem declaração	3	1	1	1	-	-
Áreas onde ocorrem inundações ou enchentes (há)	48809	1629	6606	10171	28176	2227

Fonte: IBGE (2005).

Estas mudanças seriam previstas no projeto caso houvesse instrumentos reguladores impedindo que ocupações não prognosticadas sobrecarregassem a infra-estrutura da área do projeto.

Arelado à sobrecarga dos equipamentos de drenagem em virtude do adensamento populacional e ao dimensionamento inadequado estão relacionados os problemas de erosões e assoreamento dos corpos receptores.

Segundo IBGE (2005), no Brasil entre 2000 e 2002 os desastres mais comuns foram inundações, deslizamentos de encostas, secas e erosões.

Do total de municípios brasileiros, 2.263 municípios (41% do total) declararam ter sofrido algum tipo de alteração ambiental que afetou as condições de vida da população: 16% tiveram deslizamento de encosta e 19% sofreram inundações. Outros 1.954 municípios (35% do total) informaram que sofreram alteração da paisagem, sendo 676 (35%) disseram que a causa foi a erosão da terra (voçorocas, ravinas, deslizamentos).

Entretanto, apesar do número expressivo de municípios que disseram ter sofrido com alterações ambientais, poucos tiveram ações voltadas para o combate e prevenção destes desastres naturais: dos 366 municípios que declararam ter sofrido alteração ambiental devido ao deslizamento de encostas, apenas 30% (ou 110) iniciaram alguma ação voltada à contenção de encostas; entre os 431 municípios que sofreram inundações, 40% (ou 169) tomaram medidas de recomposição da vegetação nativa; e dos 673 que sofreram erosão, 51% (ou 344) implementaram combate a esse problema.

Em 47% dos municípios as atividades econômicas foram prejudicadas por problemas ambientais, sendo a principal atividade a pesca devido ao assoreamento dos corpos hídricos.

Conforme o exposto, as erosões interferem na paisagem de 35% das cidades brasileiras, sendo que tal resultado pode ser relacionado ao fato de que 75% dos municípios brasileiros lançam o escoamento superficial em corpos d'água permanentes, sem equipamentos de dissipação de energia (IBGE, 2004).

A Figura 13 indica os principais pontos de lançamento das redes de microdrenagem na macrodrenagem das cidades brasileiras.

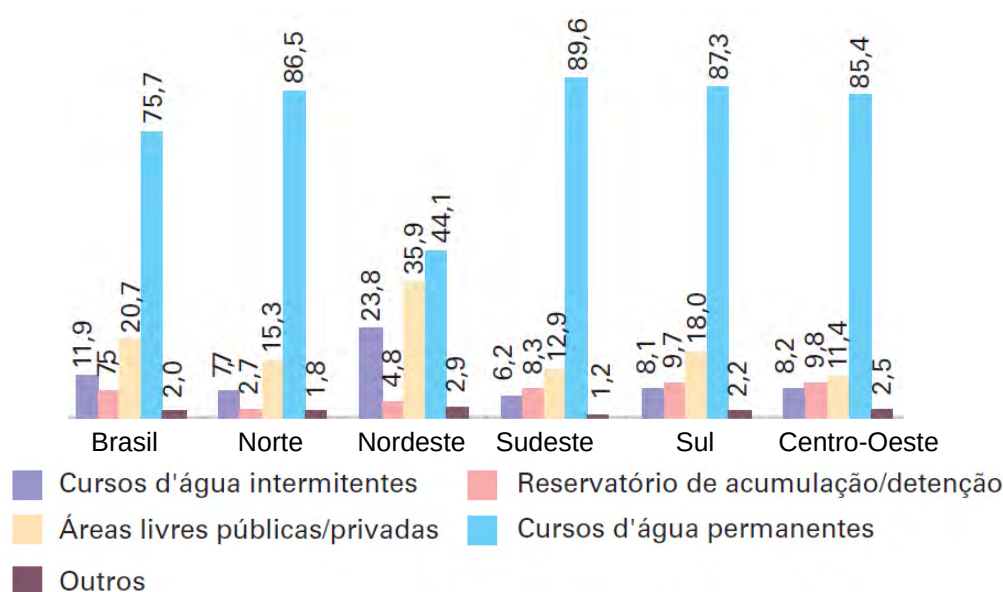


Figura 13 – Proporção dos municípios por pontos de lançamento da rede de drenagem segundo as grandes regiões. (IBGE, 2004)

Dessa maneira, o Plano Diretor de drenagem urbana deve abordar elementos que não dizem respeito apenas à engenharia civil, mas também que envolvam as populações e a ecologia, dentre outras tantas disciplinas que se inter-relacionam nos núcleos urbanos.

De acordo com FUSP (2002) para que o Plano Diretor de drenagem urbana seja abrangente e em consenso com o paradigma da moderna drenagem urbana, em sua formulação ele deve considerar as seguintes diretrizes básicas:

- A drenagem é um fenômeno regional – a unidade de gerenciamento é a bacia hidrográfica;
- A drenagem é uma questão de alocação de espaços – a supressão de áreas de inundação, naturais ou não implicará a sua realocação para áreas de jusante. Portanto a bacia hidrográfica deve ser contemplada como um todo, para que as medidas implantadas não tenham efeitos pontuais, ou seja, reduzem o impacto em determinadas áreas em detrimento de outras. Caso isto ocorra, devem-se prever medidas mitigadoras;
- A drenagem é parte integrante da infra-estrutura urbana – seu planejamento deve ser multidisciplinar e harmonizado com os demais planos diretores (Plano de desenvolvimento urbano, plano de saneamento ou esgotamento sanitário, plano de controle de resíduos sólidos e plano viário);
- A drenagem deve ser sustentável – no seu gerenciamento deve-se garantir sustentabilidade institucional, ambiental e econômica.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana elaborado pelo SAMAE e IPH (2001) destaca ainda as seguintes diretrizes:

- Cada usuário urbano não deve ampliar a cheia natural – portanto o Plano Diretor de drenagem deve contemplar na sua regulamentação, o planejamento de áreas a serem desenvolvidas e as áreas atualmente loteadas. Assim o poder público terá condições de responsabilizar aqueles que estiverem ampliando a cheia, permitindo também que o custo de implantação de medidas e manutenção da drenagem urbana seja transferido aos proprietários dos lotes, proporcionalmente a sua área impermeabilizada, geradora do volume adicional com relação às condições propostas no projeto inicial;
- Naturalização dos canais – valorização dos mecanismos naturais de escoamento na bacia hidrográfica (obras de impacto zero);

- Educação – a educação de todos os professores, proprietários, administradores públicos e da sociedade é fundamental para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente e acatadas por todos, proporcionando maiores cuidados tanto nas obras quanto nas áreas naturalizadas.

O estabelecimento destas diretrizes no planejamento tem como objetivo criar mecanismos de gestão da infra-estrutura urbana relacionada com o escoamento das águas pluviais e dos rios nas áreas da cidade, evitando perdas econômicas, melhoria das condições de saúde e melhoria do meio ambiente da cidade.

Todavia, para que se chegue à definição das diretrizes que irão nortear o planejamento é fundamental que haja o controle sobre parâmetros da bacia hidrográfica na qual se realiza o estudo.

O fluxograma proposto por Wanielista e Yousef (1993 apud CANHOLI, 2005), ilustrado pela Figura 14, apresenta as atividades obrigatórias e básicas que a elaboração de um Plano Diretor de drenagem urbana deve compreender para que o plano seja efetivo e abrangente, permitindo diagnosticar os problemas existentes ou previsíveis dentro do horizonte de projeto adotado.

Para dessa maneira determinar, hierarquizar e redimensionar as soluções mais adequadas do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, além de promover o controle sobre os parâmetros da bacia hidrográfica.

A avaliação e a escolha da alternativa ótima dependerão do aspecto priorizado na metodologia da elaboração do Plano Diretor de drenagem. Canholi (2005) sugere que além do aspecto econômico e técnico, a melhoria de qualidade de vida, nível de emprego e lazer sejam quantificados e utilizados como critério para a avaliação.

A utilização de outros aspectos além do econômico e técnico insere o planejamento e as obras de drenagem no contexto multidisciplinar e multifinalitário, permitindo a melhoria do ambiente e das condições de vida da comunidade (TUCCI; MARQUES, 2000).

Dentro da esfera multidisciplinar, observa-se que o produto da integração entre os aspectos técnico, social e econômico na elaboração do Plano Diretor de drenagem urbana, tal como sugerido por Canholi (2005), gera benefícios mútuos, conforme exposto por Lazaro (1990).

Em síntese, as condições do sistema de drenagem, composto pelas redes de microdrenagem e macrodrenagem, estão diretamente ligadas à cultura da comunidade, ou seja, uma sociedade sem consciência ambiental e que desconhece os processos básicos do

ciclo hidrológico irá exigir da prefeitura obras pertinentes ao conceito higienista, pois a água será o “problema”.

Dessa forma a urbanização preconizará pela impermeabilização dos espaços para o escoamento rápido do deflúvio, acarretando em calamidades e gastos elevados com obras de reparo e proteção (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAND, 2005).

Por fim, uma sociedade conhecedora dos processos básicos do ciclo hidrológico e consciente, entende a necessidade da ocorrência destes processos dentro do ambiente urbano para que a vida seja preservada, pois considera a água como solução para o problema causado pela urbanização, aceitando o novo paradigma da drenagem urbana, conforme expôs Mota (2003).

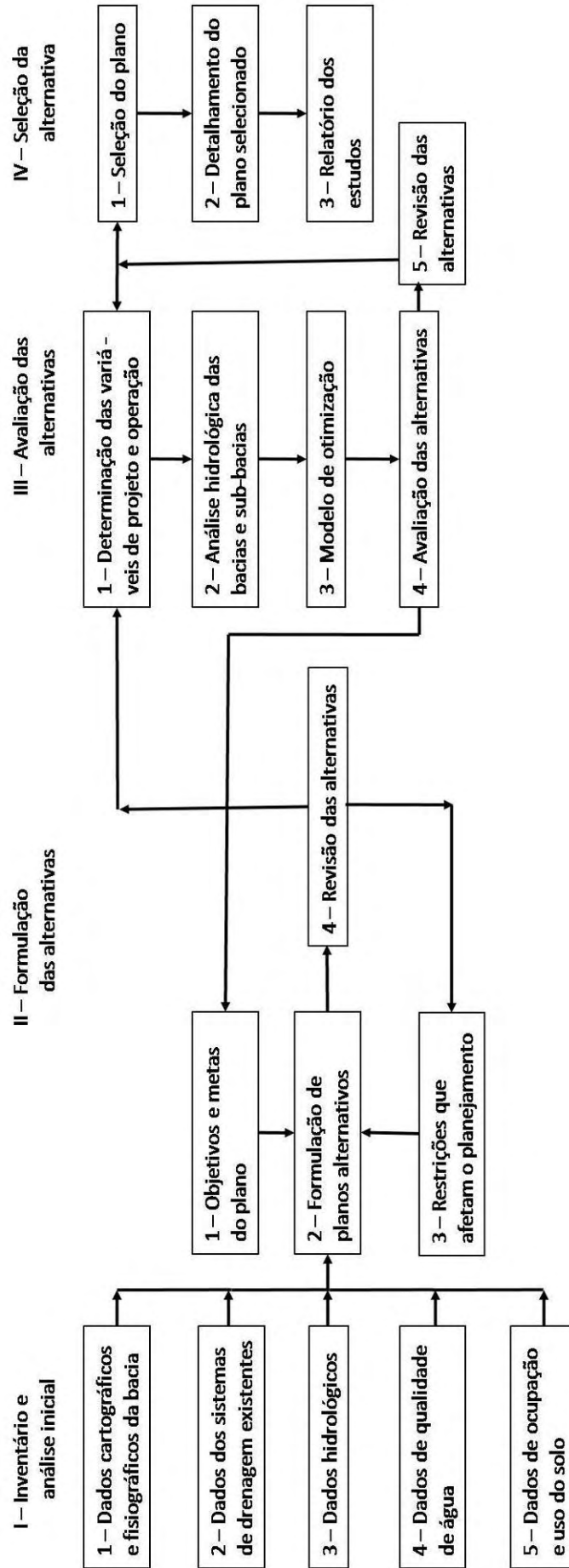


Figura 14 – Planejamento de sistemas de drenagem urbana – fluxograma das atividades principais (WANIELISTA; YOUSEF, 1993 apud CANHOLI, 2005)

2.3.3 Medidas estruturais não convencionais

Canholi (2005) descreve as medidas estruturais não convencionais como sendo o resultado da integração entre a eficiência na drenagem urbana e a melhora do aspecto visual.

Essas medidas fazem parte do conceito de reservação, ou seja, controlam o deflúvio na fonte devido a sua prioridade que é a infiltração, reduzindo o pico de vazão e aumentando o tempo para que a vazão de pico ocorra.

A Figura 15 ilustra a harmonia de uma bacia de percolação inserida em um espaço urbano e uma opção de controle do deflúvio no próprio lote.



(a)



(b)

Figura 15 – Medidas estruturais não convencionais (a) bacia de percolação Cascale Station NE (CANHOLI, 2005); e (b) pavimento permeável (COUNTY, 2002)

Segundo County (2002) o estudo da hidrologia urbana e o controle do desenvolvimento urbano permitem a elaboração e implantação destas medidas de forma eficiente e eficaz, sendo benéficas para a sociedade, pois respeita o desenvolvimento dos processos hidrológicos.

Canholi (2005) ainda destaca que a sociedade brasileira não vê estas medidas como solução, pois foi condicionada a idealizar as obras grandes como iniciativa para resolver o problema.

As medidas não convencionais são implementos no sistema urbano, tornando-o menos prejudicial ao desenvolvimento dos processos do ciclo hidrológico, mais agradável à vida e com um sistema de drenagem eficaz, como afirma Mota (2003).

Porém nem sempre é possível implantar as soluções estruturais não convencionais, sendo preciso lançar mão de soluções higienistas.

Para tanto, medidas de controle, como os dissipadores de energia, devem ser adotadas no ponto em que a microdrenagem lança o seu escoamento na macrodrenagem, pois em muitos casos a macrodrenagem é constituída por canais naturais não apropriados para receber acréscimo de deflúvio, resultando em erosões e assoreamento do corpo hídrico.

2.3.4 Estruturas para dissipação de energia

Segundo EPA (2002) o controle das erosões nas áreas de lançamento do deflúvio urbano no meio ambiente natural deve ser feito por vias de obras que visem à dissipação de energia em pontos anteriores.

DNIT (2006, p. 199) descreveu os dissipadores de energia como sendo [...] “dispositivos destinados a dissipar energia do fluxo d’água, reduzindo conseqüentemente sua velocidade, quer no escoamento através do dispositivo de drenagem, quer no deságüe para o terreno natural.”

Quanto à classificação, DNIT (2006) classifica os dissipadores de energia em dois grupos: os dissipadores localizados e os dissipadores contínuos.

2.3.4.1 Dissipadores localizados

Nessa classe de dispositivos têm-se as bacias de amortecimento, sendo elas obras destinadas a diminuir a velocidade da água quando esta passa de um dispositivo de drenagem superficial para o terreno natural de modo a evitar o fenômeno da erosão (EPA, 2002).

De acordo com DNIT (2006) as bacias de amortecimento serão instaladas de um modo geral no pé das descidas d'água nos aterros; na boca de jusante dos bueiros; na saída das sarjetas de corte; e nos pontos de passagem de corte-aterro.

A Figura 16 ilustra este tipo de equipamento de redução de energia. O dimensionamento hidráulico será função da velocidade de escoamento d'água a montante e da altura do fluxo afluyente.

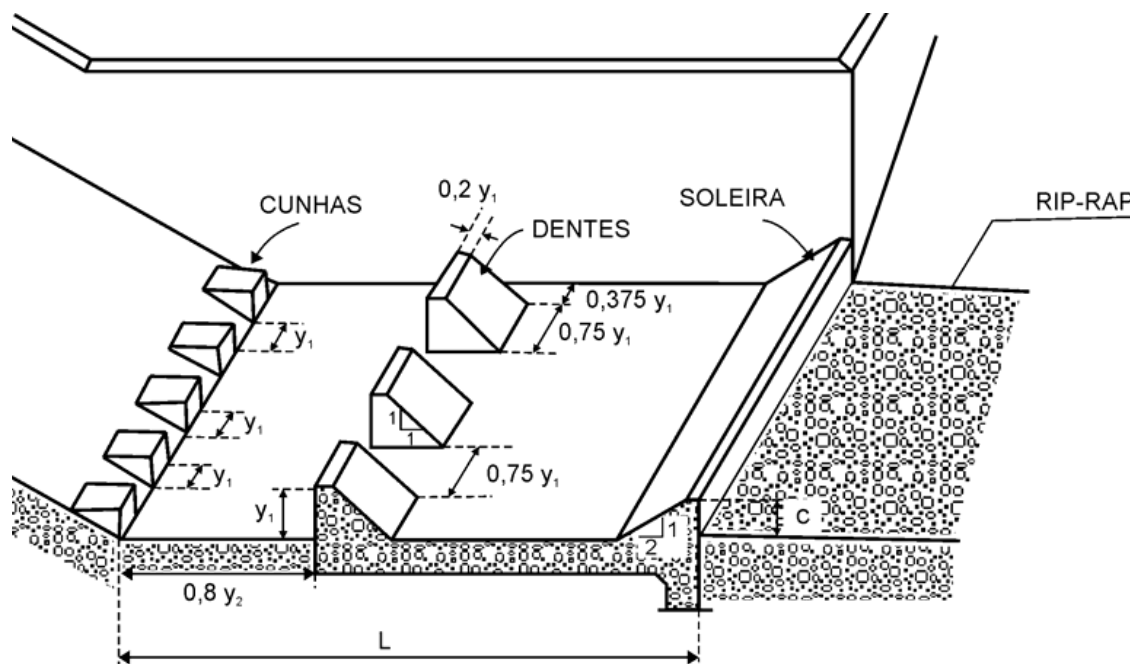


Figura 16 – Dissipador localizado. (DNIT, 2006)

Recomenda-se a utilização de dissipador tipo "rip-rap" na saída das bacias de amortecimento, saída de bueiros e na saída de outros dispositivos cuja velocidade da água não comprometa seriamente o terreno natural, justificando neste caso o projeto completo de uma bacia de amortecimento.

A extensão do "rip-rap" deve ser adequada para a velocidade e volume d'água que sai do dissipador e as condições do leito a jusante, devendo ser construído com as pedras dispostas em desordem, as quais devem possuir formas irregulares e seus diâmetros compatíveis com o cálculo determinado por curvas de diâmetro esférico equivalente.

Essas curvas relacionam a velocidade de saída da água do dispositivo a montante com a inclinação longitudinal do terreno de jusante, determinando desta maneira o diâmetro esférico equivalente da pedra afim de que permaneçam estáveis.

2.3.4.2 Dissipadores contínuos

Segundo EPA (2002) os dissipadores contínuos (Figura 17) têm como objetivo, diminuir a velocidade da água continuamente ao longo de seu percurso com o intuito de evitar o fenômeno da erosão em locais que possa comprometer a estabilidade de encostas e taludes.

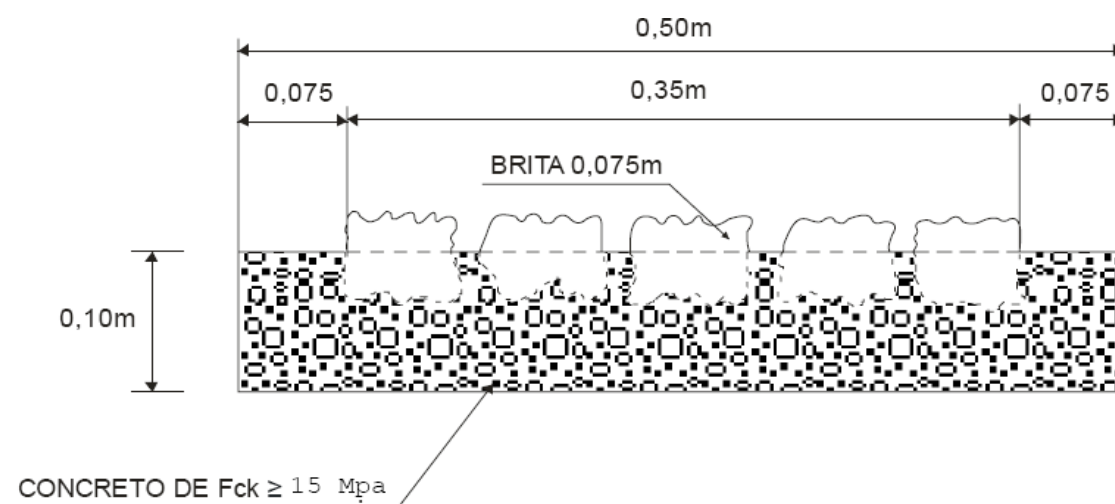


Figura 17 – Exemplo de dissipador contínuo ao longo do aterro. (DNIT, 2006)

De acordo com DNIT (2006) estes dispositivos localizam-se em geral nas descidas d'água na forma de degraus e ao longo do aterro, para que a água precipitada sobre a plataforma seja conduzida pelo talude continuamente sem criar preferências, ou seja, sem iniciar os movimentos de transporte de sedimentos ocasionando as ravinas e subseqüentes erosões.

Os dissipadores contínuos devem ser construídos com uma camada de concreto de aproximadamente 0,50m de largura com espessura de 0,10m de acabamento áspero obtido com o assentamento em disposição irregular de pedras de dimensões aproximadas de 7,5cm, tal como especificou DNIT (2006).

2.4 TÉCNICAS COMPUTACIONAIS PARA TRATAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES

Independente da solução ótima adotada para resolver os problemas de drenagem urbana ser estrutural, não estrutural, estrutural não convencional ou da integração entre estas, para que sua eficiência possa ser mantida ao longo do tempo até o horizonte de projeto definido é fundamental que o controle sobre a urbanização seja efetuado.

Controlar a evolução da ocupação de uma bacia ou mesmo estruturar um banco de dados com os parâmetros de uso e ocupação da terra potencializa a escolha da solução ótima, além de fornecer subsídios para a modelagem dos fenômenos hidrológicos.

Tais objetivos motivaram o homem ao longo dos anos a desenvolver mecanismos de estudo com o auxílio de técnicas computacionais.

A seguir serão descritas algumas destas técnicas computacionais, tais como o Sistema de Informação Georreferenciada, o *AutoCAD* e as planilhas do *Excel*.

2.4.1 Sistema de informação geográfica (SIG)

Segundo Mendes e Cirilo (2001), o SIG pode ser definido como:

- Um sistema de informação criado para trabalhar com dados referenciados através de coordenadas geográficas. Em outras palavras, geoprocessamento é um sistema de banco de dados com capacidades bem específicas para dados referenciados geograficamente e bem como um conjunto de operadores para trabalhar com estes dados;
- Um sistema automatizado para capturar, armazenar e apresentar dados espaciais;
- Uma enorme distinção do geoprocessamento é a capacidade de sobreposição de mapas. Não simplesmente um mapa sobre o outro, mas a capacidade de operações de análise dos dados dos mapas;
- Um sistema para capturar, armazenar, integrar, manipular, analisar e apresentar dados que foram referenciados sem campanhas de campo.

Silva (2003 apud BECKER, 2006, p. 43) sintetizou a descrição de SIG com sendo “a tecnologia SIG está para as análises geográficas, assim como o microscópio, o telescópio e os computadores estão para outras ciências (Geologia, Astronomia, Geofísica, Administração, entre outras).”

Segundo Rocha (2005) e Câmara et al. (2004), os sistemas que compõe os SIG podem ser divididos em:

- Sistema de entrada de dados: sistema de processamento digital de imagem georreferenciadas, digitalização de mapas, sistema de posicionamento global, dados tabulares e dados estatísticos e mapas digitais;
- Sistema de armazenamento de dados: banco de dados espacial (mapas digitais) e banco de dados de atributos (alfanuméricos);
- Sistema de análise de dados: sistema de análise geográfica (operação algébrica), sistema de análise estatística e sistema de gerenciamento de dados (SGBD);
- Sistemas de saída de dados: sistema de exibição cartográfica (saída de mapas para a tela, impressora, plotter e arquivos digitais).

Como visto, o homem procurou desenvolver ao longo dos anos um sistema que possibilitasse a escolha de soluções cuja eficácia/eficiência fossem efetivas sem a necessidade de simulá-las em escala real e sim em um ambiente sem riscos de perdas de vidas e monetárias, ou seja, o ambiente virtual.

De acordo com Almeida et al. (2007) a necessidade humana de simular fenômenos dinâmicos no computador aguça a engenhosidade humana desde os primórdios dos computadores pessoais, tal como exposto pelo histórico feito por Shamsi (2005):

- Nos anos 60 os SIGs eram um sistema digital de agrupamento de camadas que permitia o registro simultâneo de diversas informações, tendo como grande agente propulsor desta tecnologia o exército americano. A tecnologia SIG foi concebida muito antes da internet que começou nos anos 70 quando o Departamento de Defesa Americano habilitou os computadores e pesquisadores nas universidades para trabalharem em conjunto;

- Na segunda metade da década de 90 os SIGs passaram a ser mais acessíveis aos usuários menos treinados por meio de programas que permitiam transferir para os PCs os bancos de dados. Porém o uso da tecnologia ainda era muito restrito devido ao elevado custo pela necessidade de PCs com configurações mais sofisticadas o que até o final dos anos 90 não era possível;
- Após o ano 2000, com a popularização dos PCs sofisticados, o uso dos SIGs passou a ser facilitado e difundido, tornando a implantação menos dispendiosa, o uso mais rápido e com uma gama muito variada de produtos. Este fato é confirmado quando se observa que antes de 1988 o número de empresas vendedoras dos *softwares* de SIG era de apenas 12 e em 2001 o número era superior a 500.

De acordo com Shamsi (2005), a indústria do SIG continua a crescer motivada principalmente pelo uso no planejamento urbano, definindo taxas de ocupação, no estabelecimento de leis de uso e ocupação da terra e principalmente na cartografia.

O uso do SIG como uma ferramenta de gerenciamento vinha crescendo desde o final do século 20 e de 1995 a 2005 o número de usuários de SIG cresceu de forma notável.

De acordo com ESRI (2005), a tecnologia SIG vem se consolidando e conquistando novos usuários a cada dia por tornar mais fácil e prático os procedimentos antes laboriosos, além de permitir a troca de informações com o *AutoCAD* e com as planilhas do *Excel*.

A diferença fundamental entre SIG e *AutoCAD*, segundo Rocha (2000), é que o *AutoCAD* não incorpora a possibilidade de realização de análises espaciais ou funções geográficas, sendo o *AutoCAD* bastante utilizado na conversão de dados e impressão de mapas.

Existem diversos tipos de sistemas que manipulam dados espaciais como sistemas de cartografia automatizada e os sistemas CAD, porém os SIGs se diferenciam desses sistemas por dois motivos principais: capacidade de representar os relacionamentos espaciais entre fenômenos geográficos e permitir a realização de complexas operações de análise espacial com os dados geográficos (CÂMARA et al., 2004; LISBOA FILHO, 2001).

Para usuários mais avançados os programas de SIG da ESRI ainda possibilitam programações em linguagem *Autolisp* utilizada nos programas da *Autodesk*, linguagem *Visual Basic* e *Visual Basic for Application (VBA)* ambas amplamente utilizadas e difundidas principalmente nos aplicativos da *Microsoft*, como o *Excel*.

A interface intuitiva e as capacitadas ferramentas de cálculo, além da programação por meio do VBA e a construção de gráficos, além das tabelas dinâmicas faz com que o *Excel* seja um dos mais populares aplicativos de computador para cálculos, superando o seu antecessor, o *Lotus 1-2-3*, este que foi o primeiro aplicativo de planilhas para cálculos, ainda em DOS.

Na engenharia, a aceitação das planilhas do *Excel* foi bastante fácil, pois de acordo com Kotzian (2007), as planilhas eletrônicas de cálculo consistem em ferramentas de fácil acesso e utilização, oferecendo possibilidades de agregar diversas rotinas de cálculo associadas as suas células. Permitindo, dessa forma, o desenvolvimento de operações matemáticas mais complexas através de rotinas simplificadas e encadeadas, podendo em seguida incorporar aos SIGs as tabelas geradas no *Excel*.

Segundo Bohnenberger e César Jr (1999) embora as planilhas sejam um recurso limitado, pois em si não é uma linguagem de programação, ainda sim se mostram um instrumento interessante para resolver alguns problemas de drenagem urbana, em especial a otimização do projeto, ou seja, visando obter uma rede hidraulicamente bem balanceada, de menor profundidade, respeitando o recobrimento mínimo dos tubos.

Isso é possível porque o *Excel* permite que funções condicionais avaliem os cálculos e assim seja procedida a seqüência de iterações até que os valores ótimos sejam atingidos.

Nos estudos de Bohnenberger e César Jr (1999) as planilhas foram responsáveis por permitir a sistemática automática na qual estava incluída a revisão simultânea do projeto hidráulico através da adoção declividade.

Com isso, os autores conseguiram reduzir a profundidade da rede de drenagem, dos PVs e dos degraus, resultando em volumes menores e, portanto num projeto mais econômico.

As planilhas eletrônicas apresentam como vantagens a facilidade na estruturação das rotinas de cálculo, bem como a visualização direta dos valores associados a cada célula de cálculo, permitindo a identificação dos diversos parâmetros ao longo da série temporal simulada (KOTZIAN, 2007).

Kotzian (2007) ainda ressaltou que a modelagem matemática por meio de planilhas permite efetuar ajustes diretos nas rotinas de cálculo, na medida em que forem sendo agregados novos parâmetros hidráulicos ou hidrológicos, sem um aumento correspondente de complexidade de programação, visto que as rotinas estão associadas a células da planilha eletrônica.

Todavia, trazer para dentro da esfera dos projetos a praticidade das técnicas computacionais e a partir daí gerar modelos, necessita da capacitação pessoal e da confecção

de um banco de dados confiável, cuja confiabilidade seja baseada em uma coleta adequada de informações sobre todas as variáveis e parâmetros envolvidos.

Segundo Cysne (2004) o modelo de dados é uma abstração da realidade e deve dar ênfase aos detalhes e aspectos que interessam ao problema que está sendo focalizado. O mesmo autor ainda ressaltou que a elaboração de um modelo de dados para representar fenômenos geográficos tem por objetivo a captura e a representação de propriedades geométricas e topológicas dos objetos georreferenciados envolvidos no problema.

Tucci (1998) atentou para a questão de condicionar resultados em vista dos dados priorizados, por isso é fundamental que antes do início dos trabalhos de modelagem uma base de dados já tenha sido estabelecida.

De acordo com Refosco (2007), no caso do modelo ser embasado em dados priorizados, ele irá refletir o nosso ponto de vista sobre determinado fenômeno, sendo esta a grande limitação da modelagem.

Segundo Christofolletti (1999 apud REFOSCO, 2007, p. 331): “[...] o modelo representa um ou alguns aspectos da realidade, compreendidos segundo as nossas possibilidades de perceber, pelos sentidos ou por equipamentos, alguma parte do mundo real”.

Cysne (2004) atentou para o fato de que os modelos de dados voltados especificamente para SIGs têm sido propostos em função das necessidades dos usuários, da disponibilidade dos dados, das fontes de captação e das restrições impostas pelos SIGs adotados.

Segundo o mesmo autor, este pensamento pode promover a disseminação de programas de banco de dados estruturados com base apenas no que o modelador tinha em mãos, reduzindo sobremaneira as possibilidades de análise.

Entretanto, ao longo dos anos, os modelos evoluíram, e a eles foram acrescentadas novas extensões visando oferecer uma representação da realidade mais rica semanticamente.

Assim, cada modelo de dados para SIG pode ser considerado um modelo inovador, quer pelo acréscimo de novas extensões, características, perspectivas ou aplicações (CYSNE, 2004).

Esta evolução nos modelos de dados para SIG tem como grande agente motivador as pesquisas. Segundo Cysne (2004), o número de trabalhos apresentados nesta área, principalmente na última década, comprova esta evolução.

Alguns desses trabalhos buscam definir padrões de modelo de dados dentro do escopo de SIGs, enquanto outros trazem soluções para problemas já existentes na área.

Para os bancos de dados que visam demonstrar as alterações nos aspectos de uso e ocupação da terra, a metodologia entidade-relacionamento foi citada por Cysne (2004) como a ideal. Nesta metodologia os fenômenos geográficos são descritos através das entidades, relacionamentos e atributos.

Lisboa Filho (2001 apud BECKER, 2006) indicou quatro aspectos que caracterizam um dado georreferenciado:

- A descrição do fenômeno geográfico;
- Sua posição (ou localização) geográfica;
- Relacionamentos espaciais com outros fenômenos geográficos (topologia);
- Instante ou intervalo de tempo em que o fenômeno existe ou é válido.

Sendo estes quatro aspectos classificados em duas categorias:

- Dados convencionais: atributos alfanuméricos usados para armazenar os dados descritivos e temporais;
- Dados espaciais: atributos que descrevem a geometria, a localização geográfica e os relacionamentos espaciais.

Os modelos de banco de dados podem ser classificados em três tipos, conforme expôs Cysne (2004): o primeiro tipo são os modelos conceituais ou de alto nível, estes modelos se caracterizam por apresentarem conceitos mais próximos da realidade do usuário; o segundo tipo é denominado de modelos de representação ou implementação e fornecem além dos conceitos próximos e compreendidos pelo usuário final, detalhes de implementação voltados para um SGBD específico.

Um sistema gerenciador de base de dados (SGBD) consiste em uma coleção de dados inter-relacionados e de um conjunto de programas para acessá-los. É um sistema computadorizado de gravações e armazenamento, cujo propósito é manter os dados e permitir sua recuperação quando necessária.

Um SIG implementado com a estratégia *dual* utiliza um SGBD relacional para armazenar os atributos convencionais dos objetos geográficos (na forma de tabela) e arquivos para guardar as representações geométricas destes objetos.

No modelo relacional, os dados são organizados na forma de uma tabela onde as linhas correspondem aos dados e as colunas os atributos (HARA, 1997 apud BECKER, 2006).

Por fim, o terceiro tipo são os modelos chamados de baixo nível ou físicos, neste grupo de modelos estão os que apresentam detalhes do armazenamento, tais como formatos de registros, ordenamentos de registros e caminhos de acesso.

Os dados armazenados no SIG, em geral, segundo Cysne (2004), são representados como duas grandes classes: objetos e campos.

Os objetos geográficos (geo-objetos) apresentam um identificador, uma localização e atributos não-espaciais, e podem estar associados a mais de uma representação gráfica, podendo ser descritos como pontos, linhas ou polígonos e ocorrem em mapas cadastrais e redes.

Os campos geográficos (geo-campos) representam grandezas espaciais contínuas, tais como tipo de vegetação e uso da terra, representando na prática os mapas temáticos, imagens e modelos numéricos de terreno.

Quanto à classificação das informações armazenadas no banco de dados, de acordo com Tucci (1998), elas podem ser classificadas como variáveis ou parâmetros, sendo que as variáveis descrevem fenômenos tais como precipitação, infiltração e evapotranspiração, já os parâmetros descrevem as características físicas da área de estudos, como, por exemplo, a declividade, tipo de solo e tipo de ocupação da superfície da terra.

Segundo Rennó e Soares (2003) a estrutura de um modelo é um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros.

Seguindo a diferenciação feita por Tucci (1998), os autores Rennó e Soares (2003) ainda descreveram que os parâmetros mantêm seu valor inalterado durante todo o processo estudado. Assim, um parâmetro possui o mesmo valor para todos os intervalos de tempo, o que não significa que ele não possa variar espacialmente, como no caso de modelos que estudam as variações no uso e ocupação da terra. Por outro lado, as variáveis podem mudar ao longo do tempo que o modelo estiver sendo executado.

A complexidade em determinar os parâmetros que influem no uso e ocupação da terra justifica-se como um investimento de longo prazo, pois todo o sistema urbano é planejado com base na sua expansão, ou seja, o processo de apropriação e modificação do espaço natural.

Almeida et al. (2007) define mudança de uso da terra como transformações quantitativas na área de um dado tipo de uso da terra, podendo envolver a conversão de um

uso em outros ou modificação de certo tipo de uso, como por exemplo, mudanças de áreas residenciais de alto para baixo padrão.

Amarrado a estas questões estão as demandas por equipamentos urbanos sejam eles de transporte, saúde, educação, lazer, saneamento e moradia. Dessa forma, define-se o uso e ocupação da terra como o elemento que une os vários subsistemas urbanos.

Segundo Pinho et al. (2007), o reconhecimento de padrões de mudanças no uso e na cobertura da terra (ocupação da terra) pode fornecer elementos para tornar possível o planejamento e estruturação de planos para o atendimento de necessidades da população. Ainda conforme Pinho et al. (2007), esse procedimento pode ser feito pela análise multitemporal de mapas de uso e cobertura do solo intra-urbano, exigindo dados detalhados, precisos e que possam ser atualizados continuamente.

As informações sobre o uso e a cobertura da terra podem ser obtidas por meio de imagens de satélite e trabalhadas em um modelo de crescimento urbano que combine a área de superfície impermeável, podendo ser usado para estimar o escoamento superficial presente e futuro em pequenas e médias bacias hidrográficas (CARLSON, 2004).

Sendo assim, torna-se imprescindível a instituição de procedimentos de monitoramento dos parâmetros e de redes de monitoramento das variáveis hidrometeorológicas para viabilizar os estudos preliminares que são responsáveis pela quantificação das variáveis do projeto por meio dos dados observados em campo.

IBAMA (2002 apud SILVA, 2004), os dados espaciais utilizados em um SIG podem ser obtidos diretamente no campo, através de instrumentos como o GPS (*Global Position System*), ou indiretamente, através de produtos do sensoriamento remoto (imagens de satélite e fotografias aéreas, por exemplo).

Tucci et al. (2001) atenta para o desafio da hidrologia: conhecer o comportamento dos processos hidrológicos, pois o entendimento dos mesmos geralmente é qualitativo o que nem sempre permite o gerenciamento dos recursos hídricos dentro de bases ambientalmente sustentáveis.

A quantificação desses processos depende da observação das variáveis hidrológicas que os descrevem ao longo do tempo, além dos parâmetros que os permitem ocorrer.

O mesmo autor ainda ressalta que estas variáveis possuem comportamento estocástico, necessitando de amostras confiáveis e representativas para sua estimativa.

Ademais, soma-se a estas dificuldades a falta de informações sobre os parâmetros da bacia hidrográfica, condição que segundo Delleur (1982) dificulta a classificação do tempo de recorrência de um determinado evento, pois a uma precipitação de tempo de retorno inferior a

5 anos pode ser associada a deflúvios com tempos de retorno diferentes a cada nova fase do processo de urbanização.

Portanto, a falta de informações é prejudicial no adequado entendimento do comportamento de um sistema hídrico, mas não sendo mais prejudicial do que a falta de padronização que pode fazer com que inúmeras informações não possam ser integradas devido a padrões incompatíveis utilizados.

A falta de padronização nas informações das empresas de uma mesma área é tida por Cysne (2004) como um fator que demanda aumento nos custos de levantamento, armazenamento, transmissão e conversão dessas informações.

Esse processo faz com que um mesmo dado que poderia ser utilizado no entendimento, detalhamento de vários sistemas seja subaproveitado e desta forma, quando um novo sistema precisar ser estudado, novos gastos com levantamento, armazenamento, transmissão e conversão serão feitos.

Cysne (2004) orientou para que os pesquisadores atuantes na área de banco de dados e de sistemas de informações geográficas devessem contribuir na busca de soluções para a elaboração de modelos, conceitos ou padrões, definição de estruturas de representação, relacionamentos e critérios de restrições a serem utilizados, estabelecendo assim a padronização e procedimentos nas etapas e estruturação de um banco de dados.

De acordo com Lazaro (1990) para a elaboração de projetos de obras hidráulicas, em que as variáveis hidrológicas são afetadas por parâmetros urbanos, é essencial a implantação de redes de monitoramento neste meio para que se possa estabelecer uma base de dados confiável representando o comportamento das variáveis e dos parâmetros ao longo do tempo, permitindo assim o estudo da hidrologia urbana.

Tucci (1998) ainda destaca como principal objetivo dos estudos preliminares a obtenção de informações em quantidade e com qualidade para o resultado não ser condicionado de acordo com os dados priorizados frente à importância das decisões a serem tomadas.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana elaborado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (SAMAE; IPH, 2001) relata a importância da análise do impacto da urbanização sobre os processos hidrológicos para o estabelecimento de um horizonte de projeto mais confiável, além de um conjunto de medidas não estruturais para minimizar os impactos.

Segundo Santos et al. (2001), obter dados sobre as variáveis hidrológicas, meteorológicas e sobre os parâmetros do ambiente no qual será implantado o projeto é fundamental, pois, como afirma Tucci (1998), possibilita a utilização e otimização dos

resultados obtidos por modelos matemáticos, os quais permitem prever chuvas e ou vazões estimando a probabilidade de ocorrência de eventos raros e quantificar as possibilidades do aproveitamento dos recursos hídricos dentro de bases ambientalmente sustentáveis.

Santos et al. (2001) propõe para as variáveis a obtenção das informações por meio de redes de monitoramento, visto que os parâmetros da bacia podem ser obtidos por estudos e observações geológicas, pedológicas, topográficas e morfológicas.

Ainda segundo Santos et al. (2001) as redes de monitoramento são compostas por várias estações sobre a superfície da bacia hidrográfica.

A distribuição das estações tem a finalidade de proporcionar uma densidade na região de modo que por interpolação entre as várias séries de dados das diferentes estações seja possível determinar, com suficiente precisão, as características básicas das grandezas hidrológicas ou meteorológicas em qualquer local da região.

Estas estações podem ser meteorológicas quando indicarem lugares onde se medem as principais variáveis meteorológicas como precipitação, temperatura, umidade, insolação, velocidade e direção do vento.

Quando tratarem da medição de precipitação e vazões os postos são chamados de estações pluvio-fluviométricos. Nestas últimas pode haver a estação sedimentométrica responsável pela medição de vazão sólida. A medição do material sólido e o conhecimento de sua granulometria são importantes para o dimensionamento de filtros e para a elaboração do cronograma de manutenção das obras de drenagem, conforme frisa Tomaz (2002).

Santos et al. (2001) e Tucci (1998) explicaram que para garantir uma qualidade satisfatória dos dados observados nas estações, instrumentos confiáveis devem ser selecionados, capazes de medir ou registrar dados com precisão suficiente para as condições nas quais são operados.

A simplicidade e a robustez são fatores importantes, pois estes aparelhos serão operados, na maioria das vezes, por indivíduos sem conhecimento técnico e estarão locados em ambientes urbanos, ou seja, sujeitos à ação de vândalos, por isso a utilização de equipamentos mais sensíveis e de difícil manejo torna-se economicamente e operacionalmente inviável, devendo ser evitada. Além do que tais equipamentos não apresentam divergências significativas nos resultados quando comparados com os mais simples e robustos.

Os dois autores ainda salientam que a utilização de equipamentos com características diferentes deve ser evitada para possibilitar interpolações precisas entre as séries de dados das estações de medição.

Além das dificuldades com a obtenção de informações conforme já exposto, Shamsi (2005) relatou como sendo a primeira grande desvantagem do uso dos Sistemas de Informações Geográficas o alto custo e o tempo demandado para compilar e analisar as informações necessárias, sem contar o tempo gasto com o treinamento de pessoal.

Outra desvantagem que foi citada por Shamsi (2005) é capturar mais informações do que o programa requer, aumentando o tempo de processamento das informações, pois muitos dados ali apresentados não possuirão utilidade.

Por fim, a última desvantagem que pode comprometer estudos e até planos inteiros é trabalhar em cima de feições sem efetuar um teste prévio de compatibilização das escalas e posicionamento dos atributos, pois para a visualização escolhida pode ser que duas feições sejam compatíveis, mas seus atributos podem ser diferentes no posicionamento de algum dos eixos coordenados ou mesmo nas escalas.

Dessa forma, qualquer informação retirada, tal como a distância entre dois pontos, que para o usuário parece ser uma reta em duas dimensões, pode ainda ter uma componente extra de uma terceira dimensão, alterando a extensão do segmento de reta que une os pontos.

Como visto as vantagens do uso dos Sistemas de Informações Geográficas são inúmeras, porém é preciso saber os limites destes programas, pois caso estes limites não sejam respeitados as desvantagens do uso desta nova tecnologia irão suplantar as vantagens.

2.4.1.1 Uso do SIG na análise dos recursos hídricos

Segundo Shamsi (2005), o negócio da indústria da água tem crescido no mundo todo, nos Estados Unidos, por exemplo, no ano de 2000 foram gastos em sistemas de abastecimento de água e em serviços de qualidade de tratamento de efluentes um total de \$103 bilhões, sendo \$31 bilhões em tratamento de efluente e \$29 bilhões em abastecimento.

Esse investimento significativo foi o resultado da consolidação de sistemas de informação para gerenciar as redes de esgotamento sanitário, abastecimento e drenagem.

De acordo com Shamsi (2005) um dos grandes desafios das grandes cidades com relação aos sistemas de abastecimento, coleta de esgotos e drenagem é gerenciar informações sobre manutenção de infra-estrutura existente e locais onde haja demanda por novas infra-estruturas.

Apesar de muitos dos problemas parecerem sugerir a construção de novas estruturas, nem sempre esta concepção tradicional de solucionar o problema é a melhor das soluções.

Um sistema de informações é uma estrutura que fornece respostas para questões por meio de um banco de dados.

Desta maneira pode-se atuar com base nos dados coletados ao longo do tempo para o local de estudos.

No Brasil o desafio das grandes cidades em gerenciar o abastecimento de água, a coleta de esgotos e a drenagem, começa com os municípios ainda sendo de pequeno porte, entretanto, as soluções como estruturar banco de dados para auxiliar na tomada de decisões só passa a ocorrer quando as soluções convencionais já não têm mais a capacidade de amenizar o problema.

Shamsi (2005) relatou o histórico do uso da tecnologia SIG na indústria da água como tendo início no final dos anos 80 para mapear, modelar e facilitar o desenvolvimento de planos para o gerenciamento e controle de operações nos sistemas de abastecimento.

Em meados dos anos 90 as empresas fabricantes dos programas SIG começaram a ver uma ampla aplicabilidade desta ferramenta computacional nos estudos relacionados aos recursos hídricos, em especial ao abastecimento.

A aplicabilidade era potencial porque os SIGs, segundo Schock e Clement (1995 apud SHAMSI, 2005), forneciam as bases para a investigação de fontes de contaminantes e assim ponderar se os benefícios compensavam o risco dos investimentos.

O mapeamento podia ser utilizado para investigar mudanças no uso da água ou determinar a efetividade dos tratamentos.

A tecnologia SIG também podia auxiliar na avaliação da viabilidade e no impacto da expansão do sistema urbano, além de orientar o desenvolvimento de planos de proteção de mananciais. De acordo com a Associação Americana de Obras Hidráulicas (*American Water Works Association – AWWA*), aproximadamente 90% dos usos da água nos E.U.A. estavam utilizando os SIGs no final dos anos 2000.

A Tabela 5 foi extraída de Shamsi (2005), nela estão indicados os principais modelos de chuva, os procedimentos de SIG utilizados, o fabricante e o site onde podem ser baixados.

De acordo com Mendes e Cirilo (2001) os modelos de geoprocessamento tratam de dados estáticos, mas para se analisar processos hidrológicos há a necessidade de se fazer uso de modelos dinâmicos, pois as variáveis hidrológicas ao apresentam alterações ao longo do tempo de ocorrência de um evento.

As análises espaço-temporais ainda têm que tratar de dados estáticos, mas que ao longo dos anos mudam afetando as variáveis hidrológicas. Para tanto há a necessidade de se armazenar nos modelos de geoprocessamento estas informações estáticas para várias etapas da modificação.

Tabela 5 – Principais modelos de escoamento

Software	Método de aplicação	Fabricante	Site
SWMM	Intercâmbio	U.S. Environmental Protection Agency (EPA)	www.epa.gov/ceampubl/swater/swmm/index.htm
CEDRA AVSand	Integração	CEDRA Corporation	www.cedra.com
H ₂ OMAP Sewer H ₂ OVIEW Sewer	Interface e Integração	MWH Soft	www.mwhsoft.com
InfoWorks CS and InfoNet	Interface e Integração	Wallingford Software	www.wallingfordsoftware.com
Mouse GM and MIKE SWMM	Interface	DHI Water & Environment	www.dhisoftware.com
PCSWMM GIS	Integração	Computational Hydraulics Int.	www.computationalhydraulics.com
StormCAD and SewerCAD	Interface	Haestad Methods	www.haestad.com
XP-SWMM	Intercâmbio e Interface	XP-Software	www.xpsoftware.com

Fonte: Traduzido de Shamsi (2005).

Para a gestão dos recursos hídricos, a interação dos processos de análises habituais com os SIGs representa um avanço inequívoco na geração de informações mais precisas e com uma enorme redução do trabalho de aquisição, organização e processamento de dados.

Entretanto, a capacitação de corpo técnico para trabalhar com estas técnicas computacionais é obrigatória.

A capacitação dos técnicos das cidades localizadas distante dos grandes centros é uma tarefa árdua, mas no caso de municípios como Ilha Solteira, no qual existe uma instituição de ensino superior na área de engenharia, pode haver a tentativa de conciliar o conhecimento teórico com a prática vivida pelos técnicos ligados à Prefeitura Municipal da cidade, bastando para isto, aproximar a prefeitura da universidade por meio de *workshops*, desenvolvimento de planos, disponibilização de bolsas para os alunos que prestarem serviço à prefeitura.

A aproximação das dificuldades práticas ao conhecimento vivido na universidade pode resultar em uma gama de soluções de grande valia tanto para a prefeitura, que irá estruturar seu corpo técnico sem custo, quanto para a universidade que poderá avaliar métodos e promover programas de melhoria contínua das pesquisas, pois irá testar métodos teóricos na aplicação prática, vencendo o grande abismo que existe entre teoria e prática.

3 ÁREA DE ESTUDO

A seguir serão descritas as características físicas e climáticas da região onde se localiza a sub-bacia hidrográfica do Córrego Sem Nome. Também será relatado como se deu a expansão urbana na área de estudos visando fornecer informações para orientar as planilhas de uso e ocupação da terra apresentadas no capítulo de resultados e discussão.

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, conforme ilustrado pela Figura 18, é a sub-bacia do Córrego Sem Nome definida pela seção localizada a 7.739.992,92m norte e 465.064,86m leste, na cota 329,00m, sendo este corpo d'água dotado da maior sub-bacia urbana do município de Ilha Solteira – SP.

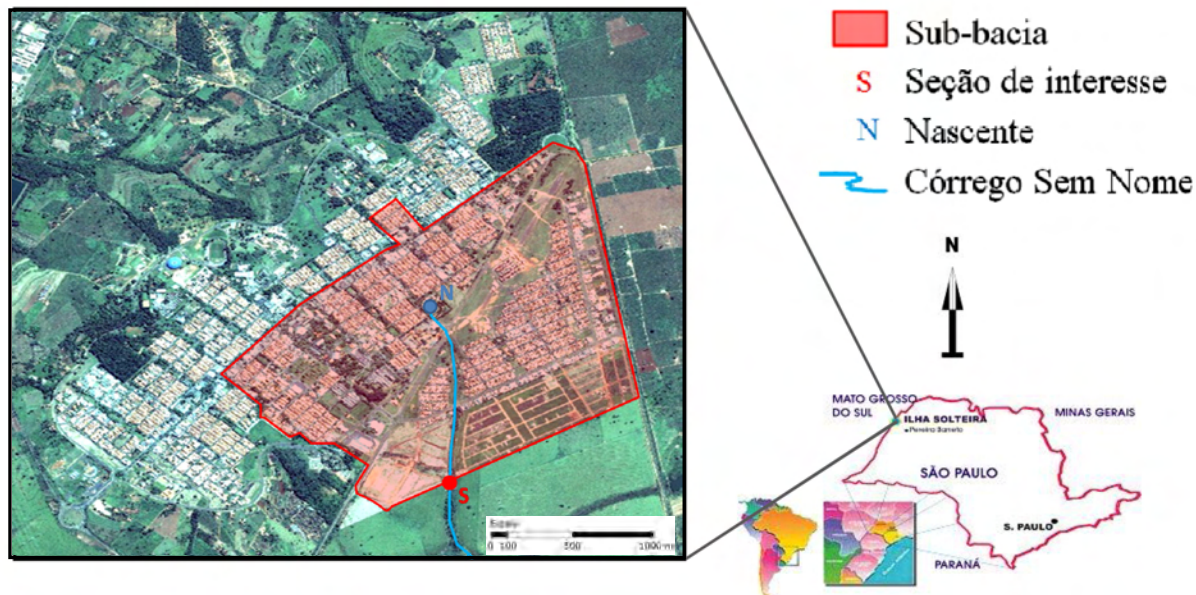


Figura 18 – Localização da área de estudo em destaque a sub-bacia do Córrego Sem Nome.
(Fonte: Modificado de Santim e Oliveira, 2007)

Clima

A região de Ilha Solteira – SP, segundo o Sistema Internacional de Köppen, possui o clima tropical tipo AW, ou seja, chuvas de verão e estiagem de inverno, apresentando índice

pluviométrico em torno de 1500 mm anuais e temperatura média anual de 28°C, com a média das máximas anuais atingindo 31°C.

A Figura 19 mostra o pluviograma típico da região obtido por meio dos dados de 1975 a 2005.

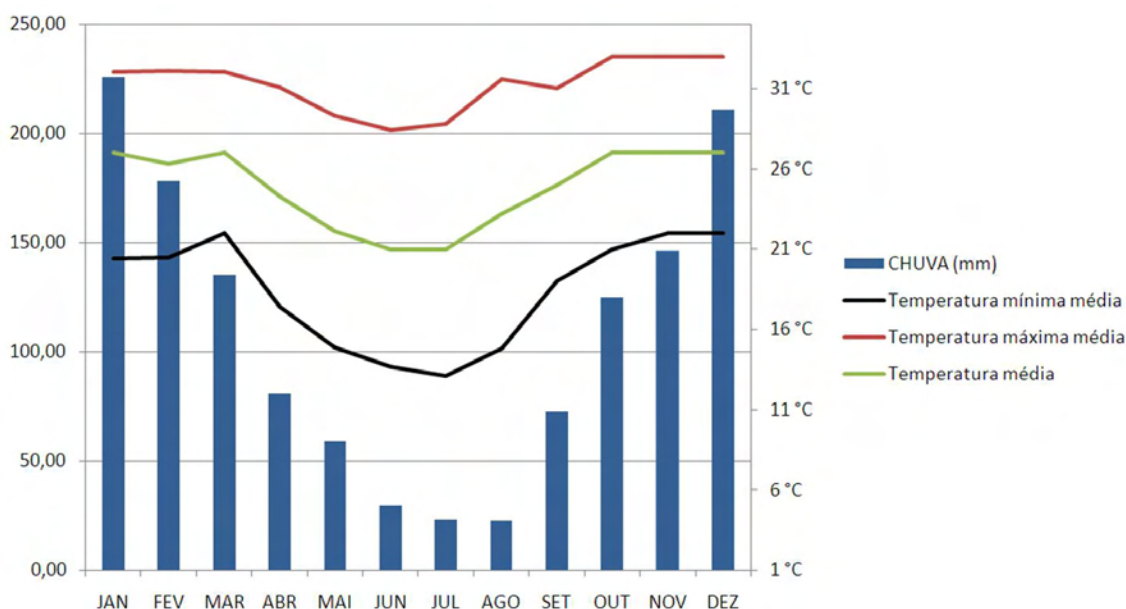


Figura 19 – Pluviograma e temperaturas médias para a região de Ilha Solteira – SP. (SGRH, 2009)

Geologia

O embasamento geológico é representado principalmente pelas rochas sedimentares do Grupo Bauru e Formação Santo Anastácio que ocorre em áreas que acompanham as cotas mais baixas dos vales dos rios afluentes do Paraná, sendo constituída por arenitos de granulação de fina a média, predominantemente finos, pouca matriz e maciços cor vermelho escuro.

A Formação Serra Geral, composta de basaltos toleíticos em derrames superpostos e arenitos intertrapianos, também é encontrada junto aos fundos de vale mais aprofundados. Nas planícies fluviais encontram-se os depósitos aluviais, areias e argilas, conglomerados na base.

De um modo geral, a geologia condicionou o relevo regional. As rochas básicas, mais resistentes às intempéries, funcionaram como nível de base, regulando a progressão da erosão, enquanto os arenitos da Série Bauru formaram vastos chapadões constituídos de colinas com topos achatados e arredondados, modelando então uma topografia de declives

suaves e pendentes longas, que vai suavizando até se formarem as planícies dos rios Paraná, Tietê e São José dos Dourados com feições características de campos de várzeas.

A alta permeabilidade do arenito Bauru, sem cimento calcário, condicionou um sistema de drenagem esparso, favorecendo a suavidade do relevo.

Geomorfologia

A região de Ilha Solteira é parte do chamado planalto ocidental ou planalto basáltico. Sua estrutura que data do mesozóico, constitui-se principalmente de arenito. Ao longo dos principais rios regionais - Paraná, Tietê e São José dos Dourados, graças à retirada desse capeamento sedimentar, afloram rochas mais antigas.

Desde Jupiá, as rochas são eruptivas basálticas. Os depósitos ocorridos durante o período cretáceo, denominados arenitos Bauru, apresentam fácies diferentes: o Bauru inferior sem cimento calcário e o Bauru superior com cimento calcário.

Solos

Os tipos de solos encontrados na região de Ilha Solteira são: PVA112 (Argissolos Vermelho-Amarelos) e LV39 (Latosolos Vermelhos).

Vegetação

A cobertura vegetal original da região onde se localiza Ilha Solteira era representada pela mata tropical latifoliada semi-decídua, pelo cerrado e pelo cerradão.

Observa-se escassez de vegetação natural que recobre apenas cerca de 1% da área do município. A maior parte dos ecossistemas agrícolas do município é constituída por pastagens (gramínea *Brachiaria brizantha*).

Relevo

O relevo pode ser descrito em síntese por colinas médias e colinas amplas, a Figura 20 mostra as cartas topográficas da região de Ilha Solteira, destacando a área de estudos em dois momentos: antes da urbanização e em 2009 quando o núcleo urbano já estava consolidado.

Em função da alteração do relevo, efetuada pelo homem para adequar o espaço a implantação da cidade, a sub-bacia alvo dos estudos teve seus limites alterados.

Antes da adequação do relevo para receber a infra-estrutura urbana, a sub-bacia do Córrego Sem Nome não possuía outros canais além do canal do Córrego Sem Nome para drenar o escoamento superficial.

Essa situação ao longo dos anos mudou, pois com a implantação das vias públicas e da rede de drenagem novos canais passaram a existir, formando assim 11 áreas de contribuição que serão abordadas novamente mais adiante no capítulo no qual será descrita a hidrografia da região de estudo.

A seguir será relatada a história de Ilha Solteira com foco no planejamento elaborado para a implantação da cidade e de como se daria a expansão urbana nos anos posteriores a sua implantação, visto que Ilha Solteira foi uma cidade projetada.

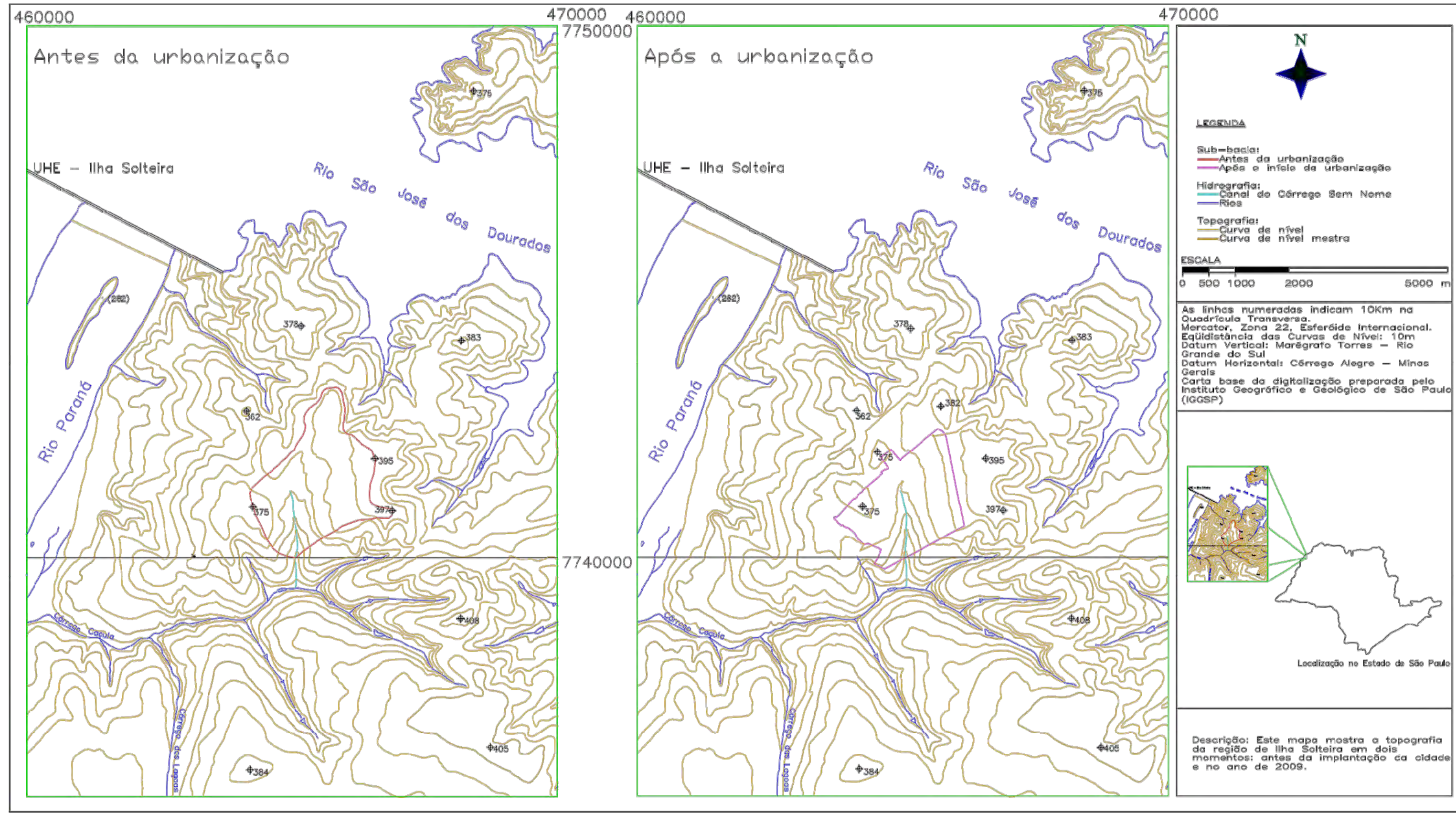


Figura 20 – Carta topográfica do município de Ilha Solteira – SP antes da ocupação urbana e em 2009. (Modificado de Porto, 2001)

3.2 HISTÓRIA DE ILHA SOLTEIRA – SP

As informações históricas foram sintetizadas de CESP (1969, 1970 e 1975), CESP e AEIS (1970 e 1974), Mange e Kato (1963) e Chávez (1988).

A história de Ilha Solteira inicia-se na crise financeira e energética do ano de 1951, quando tanto o estado de São Paulo como o país estavam sujeitos a frear o até então pujante processo de desenvolvimento industrial, o dínamo da economia daquela época.

A solução para os demais problemas do estado foi priorizar a questão energética, assim, o governador Lucas Nogueira Garcez acelerou o andamento das usinas hidrelétricas, cuja construção já se iniciara e providenciou a construção de outras, não se preocupando com o déficit orçamentário.

Ainda em 1951, com Getúlio Vargas na Presidência da República, foi organizada a CIBP – Comissão Interestadual da Bacia do Paraná, congregando os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso e Goiás.

Posteriormente o órgão passou a chamar-se CIBPU – Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguaí, devido ao ingresso do estado do Rio Grande do Sul.

Essa comissão tinha a finalidade de estudar o aproveitamento energético e sócio-econômico da grande região formada pelo sul, sudeste e centro-oeste.

Durante os anos seguintes estudos e planos sobre o aproveitamento hidrelétrico do alto Paraná foram executados e em 24 de abril de 1958 foi aprovado pelo Governo Federal o projeto sob o título “Aproveitamento Hidrelétrico do Rio Paraná – entre a ponte de Jupia e a cota 315”, elaborado pela *Società Edison* de Milão (Itália).

Constava neste projeto a construção de uma barragem em Jupia e outra na cota 315, que futuramente seria chamada de Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira.

Em 1960 com Carvalho Pinto no Governo do Estado de São Paulo e Juscelino Kubitschek na Presidência da República, a *Società Edison* apresentou o projeto final para a Usina de Jupia.

Nesse estudo eram reexaminadas as quatro variantes e escolhida aquela que previa Jupia na cota 279 m e Ilha Solteira na cota 315 m, aproveitando as quedas de Urubupungá.

Consta nos arquivos sobre a história de Ilha Solteira que este nome foi atribuído à cota 315 m em virtude de 2 ilhas no rio Paraná, em uma delas seria construída a barragem sobrando, portanto uma ilha sozinha sendo esta a responsável pelo nome do empreendimento

e da cidade-acampamento que seria construída para abrigar os responsáveis pela realização do empreendimento.

O complexo hidrelétrico seria construído em três etapas como descrito abaixo e receberia o nome de Complexo Hidrelétrico de Urubupungá:

1ª Etapa: Usina de Jupia, com 1.411.200 KW, no rio Paraná. Hoje esta usina é conhecida como U.H.E. Souza Dias;

2ª Etapa: Usina de Ilha Solteira, com 3.230.000 KW, no rio Paraná;

3ª Etapa: Usina de Três Irmãos, com 1.292.000 KW, no rio Tietê; e o Canal de Pereira Barreto ligando o rio Tietê ao Paraná pelo rio São José dos Dourados, afluente do rio Paraná.

No projeto inicial do Complexo Hidrelétrico de Urubupungá não se previa a instalação de unidades geradoras em Três Irmãos, sendo esta apenas uma barragem e eclusa com a finalidade de suprir as necessidades do lago de Ilha Solteira pelo Canal de Pereira Barreto para que a usina atendesse a demanda mesmo em tempos de seca.

Entretanto, em 1979 foram revistos os estudos, optando-se em 1982 pela instalação de 8 unidades geradoras na até então barragem de Três Irmãos.

Nesse período o Brasil tinha como presidente da república o General João Batista Figueiredo e no governo do estado de São Paulo, Paulo Salim Maluf.

A potência total das três usinas do complexo foi de 5.933.200 KW, colocando-o em 1988 no 4º lugar entre os maiores complexos geradores de energia do mundo.

Atualmente, mesmo tendo-se passado aproximadamente 50 anos desde a sua concepção, o Complexo Hidrelétrico Urubupungá ainda figura entre os 8 maiores do mundo, tanto em dimensões, quanto em capacidade de geração de energia.

A construção do complexo hidrelétrico ficou a cargo da CELUSA – Centrais Elétricas de Urubupungá SA e também sob a responsabilidade da firma Construções e Comércio Camargo Corrêa SA.

No dia 5 de dezembro de 1966 por ato do Mal. Castelo Branco, a CELUSA deixou de existir para dar lugar a outras 10 empresas concessionárias de energia elétrica do Estado de São Paulo, sendo uma delas a CESP SA – Centrais Elétricas de São Paulo SA.

A CESP em janeiro de 1967 assumiu toda a responsabilidade de dar continuidade aos trabalhos do Complexo Urubupungá.

A CESP atualmente denomina-se como Companhia Energética de São Paulo SA.

A primeira etapa do complexo a ser construída foi a Usina de Jupia que teve início em junho de 1961, com a construção da Vila Piloto, cuja finalidade principal era abrigar a mão-de-obra que construiria a barragem.

Em dezembro de 1962 o acampamento planejado para existir apenas enquanto durasse a obra já estava praticamente concluído com toda a infra-estrutura necessária ao seu bom funcionamento para dar o apoio indispensável à construção da usina, pronta em 1969, significando o fim da Vila Piloto.

A experiência deste acampamento provisório foi determinante no planejamento da segunda etapa do complexo: a Usina de Ilha Solteira.

Sempre a cargo da CELUSA e também sob a responsabilidade da firma Construções e Comércio Camargo Corrêa SA, teve início oficial no dia 3 de abril de 1966, com o Mal. Castelo Branco na Presidência da República e com Ademar Barros no Governo do Estado, a segunda etapa da obra: a construção da Usina de Ilha Solteira.

A inauguração da obra aconteceu no dia 16 de janeiro de 1974, com General Garrastazu Médici na Presidência da República e com Laudo Natel no Governo do Estado tendo o funcionamento de 3 dos 20 geradores programados para a Usina de Ilha Solteira.

Nesta segunda etapa também existiu o problema de alojamento. A experiência adquirida com a “Vila Piloto” foi empregada no planejamento do acampamento de Ilha Solteira, pois neste caso as dificuldades e as necessidades seriam maiores pelos seguintes motivos:

- i. A mão-de-obra empregada em Jupia no pico das obras foi de 5.000 trabalhadores que somados às famílias formaram uma população de 15.000 habitantes. Para Ilha Solteira previa-se que no pico das obras a usina empregaria 12.000 trabalhadores e, portanto uma população de aproximadamente 40.000 habitantes deveria ser alojada no acampamento;
- ii. O período de duração das obras de Jupia foi de aproximadamente 7 anos e para a Usina de Ilha Solteira estimava-se um período de 10 a 12 anos;
- iii. A justaposição parcial dos cronogramas das obras (fim da primeira etapa e início da segunda);
- iv. O alto custo que o transporte diário da mão-de-obra das cidades vizinhas ao canteiro de obras representaria para a empresa;

- v. O elevado investimento na construção de um “acampamento provisório” para uma obra dessa envergadura, sendo que a construção de um núcleo permanente não seria mais dispendiosa;
- vi. As características geoeconômicas e sociais da região pouco favoráveis à implantação das obras da usina (baixa densidade populacional), distante dos grandes centros e economicamente pouco desenvolvida, baseada na agropecuária extensiva. Os estabelecimentos agropecuários neste período cobriam cerca de 90% da região.

Todo este quadro, somado a uma série de outros fatores de ordem econômica, social e política, levaram a empresa a optar pela construção de um núcleo permanente ou que tivesse pelo menos condições de sobrevivência após o término das obras.

Atualmente esta decisão é traduzida em inúmeros recordes de produção ainda almejados pelas construtoras de grandes obras.

Impulsionados com o advento do crescimento de 50 anos em 5 anos proposto pelo então Presidente da República Juscelino Kubitschek e pelo idealismo do Brasil como um país grandioso, os projetistas do Escritório Técnico Carvalho Mange e Ariaki Kato elaboraram um planejamento urbano que inicialmente comportaria de 40.000 a 50.000 habitantes permitindo que no futuro a cidade expandisse e atingisse uma população de 200.000 habitantes.

Essa população seria abrigada em uma área urbana e suburbana de 50 km² definida por um anel viário que interligaria as entradas de Jupia, Pereira Barreto, Santa Fé e a travessia do Rio Paraná, no qual um zoneamento rigoroso do uso e ocupação da terra seria implantando para orientar o desenvolvido no núcleo urbano inicial.

Dessa maneira, em 1966 dava-se início a construção do núcleo urbano de Ilha Solteira com as obras de terraplenagem. Em 1967 iniciava-se a construção dos imóveis e no dia 15 de outubro de 1968 já se mudavam as primeiras famílias, a maioria vinda da Vila Piloto, acampamento da usina hidroelétrica de Jupia.

A data de 3 de abril de 1966 é tida como a data oficial do início das obras de construção da cidade e da usina, pois nesta data o então presidente Humberto de Alencar Castelo Branco havia ido até às obras para dar o início, mas as atividades preliminares já haviam se iniciado deste maio de 1965.

A data 15 de outubro de 1968 é considerada como a da fundação da cidade de Ilha Solteira, entretanto nesta data a cidade de Ilha Solteira ainda era distrito do município de Pereira Barreto – SP e assim foi até a emancipação em 1991.

Chávez (1988) destaca que a construção da cidade de Ilha Solteira tratava-se, no caso, de uma constatação de interesse fundamental, pois a construção de núcleos permanentes não é mais dispendiosa do que a construção de acampamentos provisórios.

Assim, em regiões onde as condições da rede urbana o justificam é mais conveniente a construção de uma cidade permanente mesmo em face ao elevado custo inicial de implantação, pois a obra principal recuperaria o investimento do acampamento permanente.

O acampamento permanente de Ilha Solteira teve um custo de implantação de aproximadamente 50 bilhões de cruzeiros que convertidos para reais resulta em aproximadamente 1,8 milhões de reais.

Chávez (1988) ainda acrescentou que ao construir o acampamento a CESP exercia controle sobre a mão-de-obra e assegurava o atendimento de suas responsabilidades de ordem social para com estes trabalhadores e a região envolvida.

Havia interesse da empresa em manter os empregados sob seu controle em virtude de que eles estivessem sempre em condições adequadas de produção.

Desta forma, com os trabalhadores alocados em uma cidade, a primeira unidade geradora entrou em operação no dia 18 de julho de 1973 e a última em 28 de dezembro de 1978.

No ano de 1976, com a proximidade do fim das obras de construção do Complexo Hidroelétrico Urubupungá, o Governo do Estado de São Paulo adotou várias medidas como forma de fixar o núcleo urbano de Ilha Solteira.

Uma das medidas adotadas em 1976 foi a instalação do primeiro campus da Universidade Estadual Paulista – UNESP e sua reitoria, aproveitando a infra-estrutura construída pela CESP.

Outra medida adotada foi a locação de residências para os trabalhadores responsáveis pela construção das usinas de Água Vermelha durante o período de 1973 a 1979 e Três Irmãos, obra iniciada em 1980.

Por fim, a última medida adotada pelo Governo do Estado de São Paulo, foi a implantação de laboratórios e do Centro de Treinamento Técnico da CESP em 1978.

Ilha Solteira foi distrito da cidade de Pereira Barreto até a emancipação no ano de 1991, a partir de então o mercado imobiliário passou a ser mais dinâmico interferindo no núcleo urbano original e modificando os espaços.

A cidade passou a ter identidade própria independentemente da CESP com mudanças significativas, assumindo sua autonomia, rompendo com as proposições do projeto inicial da

cidade. Em 2000, a cidade foi elevada à categoria de Estância Turística e mais recentemente, no ano de 2005, foi elevada à Comarca.

Atualmente a economia do município é baseada na atividade agropecuária e na prestação de serviços, sendo, portanto a participação da iniciativa privada de fundamental importância para a cidade.

Entretanto, os *royalties* recebidos pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, como forma de compensação financeira pela implantação das usinas hidrelétricas de Itaipú, Três Irmãos e Ilha Solteira, respondam por cerca de 6% do orçamento mensal do município, cuja receita mensal é de aproximadamente R\$ 5 milhões (ANA, 2009).

Dessa forma, os *royalties* ajudam a administração pública a pagar contas e investir na cidade, conforme relatado por Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007).

3.2.1 O Plano Diretor inicial

Segundo Chávez (1988), o planejamento de qualquer espaço urbano é desenvolvido em função de necessidades de caráter sócio-econômico, político, comercial, sócio-cultural e ambiental.

Tratando-se de uma cidade nova, a função que está determinando sua criação, influirá profundamente na organização do espaço físico. Ilha Solteira devia responder ao imperativo imediato de instalar a mão-de-obra necessária para a construção da usina hidrelétrica, mas poderia também ser planejada para se tornar cidade.

De acordo com Mange e Kato (1963), o planejamento deveria ser suficientemente flexível para dimensionar todos os equipamentos necessários ao funcionamento da cidade em sua primeira etapa de acampamento, atendendo às necessidades básicas de uma população de 40.000 até 50.000 habitantes e possibilitar sua expansão progressiva, de acordo com o desenvolvimento da cidade conforme ilustrado pela Figura 21.

Entretanto, as políticas de ocupação da terra urbana, aplicadas após a emancipação da cidade, não priorizaram por seguir os contornos da macha urbana tal como previsto pelo planejamento de Mange e Kato (1963).

A área em destaque na Figura 21 indica a sub-bacia do Córrego Sem Nome, porém se pode entender a área em destaque como a expansão da área urbana, pois a partir de 2006,

os limites da expansão urbana coincidem com os limites urbano da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

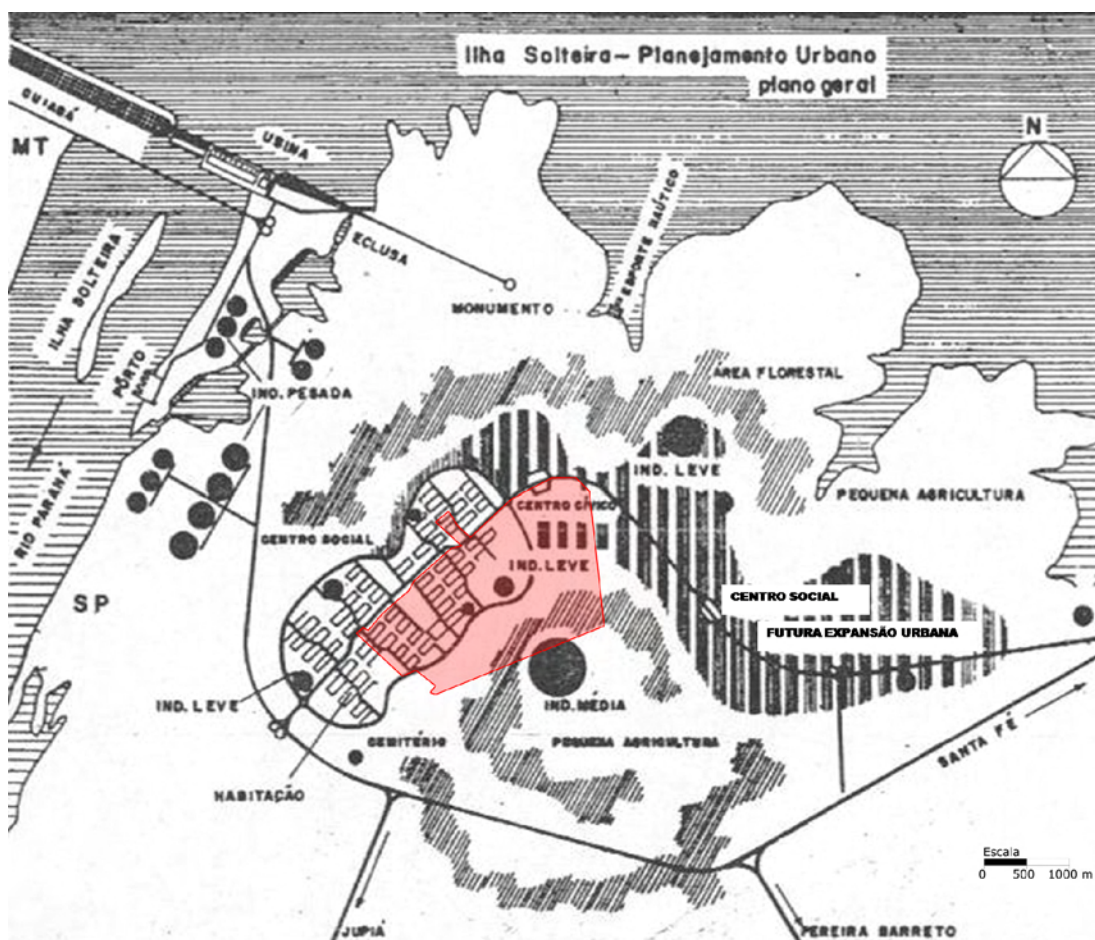


Figura 21 – Estudo preliminar para implantação de Ilha Solteira: Plano geral e limites. Em destaque a sub-bacia do Córrego Sem Nome em 2009.
(Modificado de Mange e Kato, 1963)

Conforme mostrado pela Figura 21, a expansão urbana preservava a área da sub-bacia do Córrego Sem Nome, sendo previsto para esta região a implantação de pequena agricultura e a cidade expandindo seguindo o eixo viário.

Conforme exposto por Mange e Kato (1963), desde a concepção do projeto do acampamento, optou-se por uma cidade permanente.

Ilha Solteira deveria ser dotada dos equipamentos necessários ao exercício em todas as funções administrativas de uma cidade comum e de uma série de estruturas indispensáveis para o desenvolvimento do ensino, do comércio, da saúde e da satisfação das necessidades de lazer de seus habitantes.

Tudo isso, entretanto, não seria suficiente para integrar realmente a cidade no contexto regional. A integração seria efetivada apenas com o estabelecimento de relações de produção por meio da implantação de pequenas e médias indústrias desvinculadas da

atividade base da CESP, bem com o estabelecimento de relações comerciais e de serviços com a região, dinamização da agricultura regional e o estabelecimento de uma rede rodoviária, facilitando as comunicações.

O Plano Diretor inicial da cidade foi, portanto, estabelecido, levando-se em conta esses fatores determinantes e assim seu zoneamento previu todas as funções que deveriam ser desempenhadas pela cidade, dimensionando desta forma seus equipamentos.

Obedecendo às características topográficas locais, a área urbana deveria se desenvolver linearmente com uma dimensão transversal variando de 1.000 a 1.400m ao longo de um eixo longitudinal que constituiria a avenida principal da cidade, conforme exposto pela Figura 22.

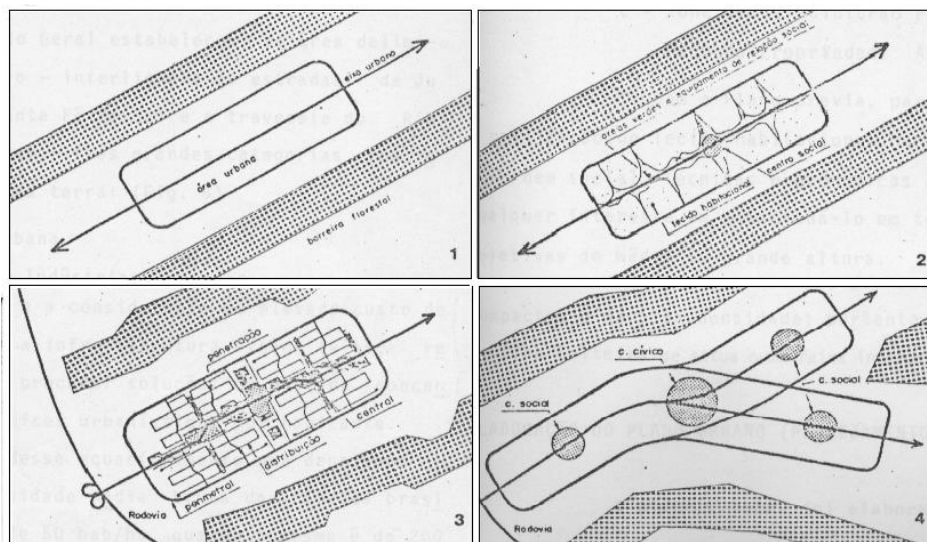


Figura 22 – Estrutura urbana de Ilha Solteira; (1) estrutura urbana linear; (2) zoneamento; (3) plano viário; (4) possibilidades de expansão. (Modificado de Mange e Kato, 1963)

A Figura 22 permite avaliar as possibilidades de expansão da área urbana em longo prazo com base nas condições topográficas, assegurando ao mesmo tempo a organização indispensável à primeira etapa do desenvolvimento de 1970 a 1980.

Para tanto, estudos preliminares com o objetivo de determinar o local de topografia favorável à implantação do núcleo urbano foram feitos conforme apresentado pela Figura 23.

Mesmo nos estudos ilustrados pela Figura 23 não se considerava expansão urbana seguindo o talvegue do Córrego Sem Nome. Todo plano de expansão da mancha urbana proposto por Mange e Kato (1963) seguia a idéia de seguir o eixo rodoviário, baseado no divisor de águas.

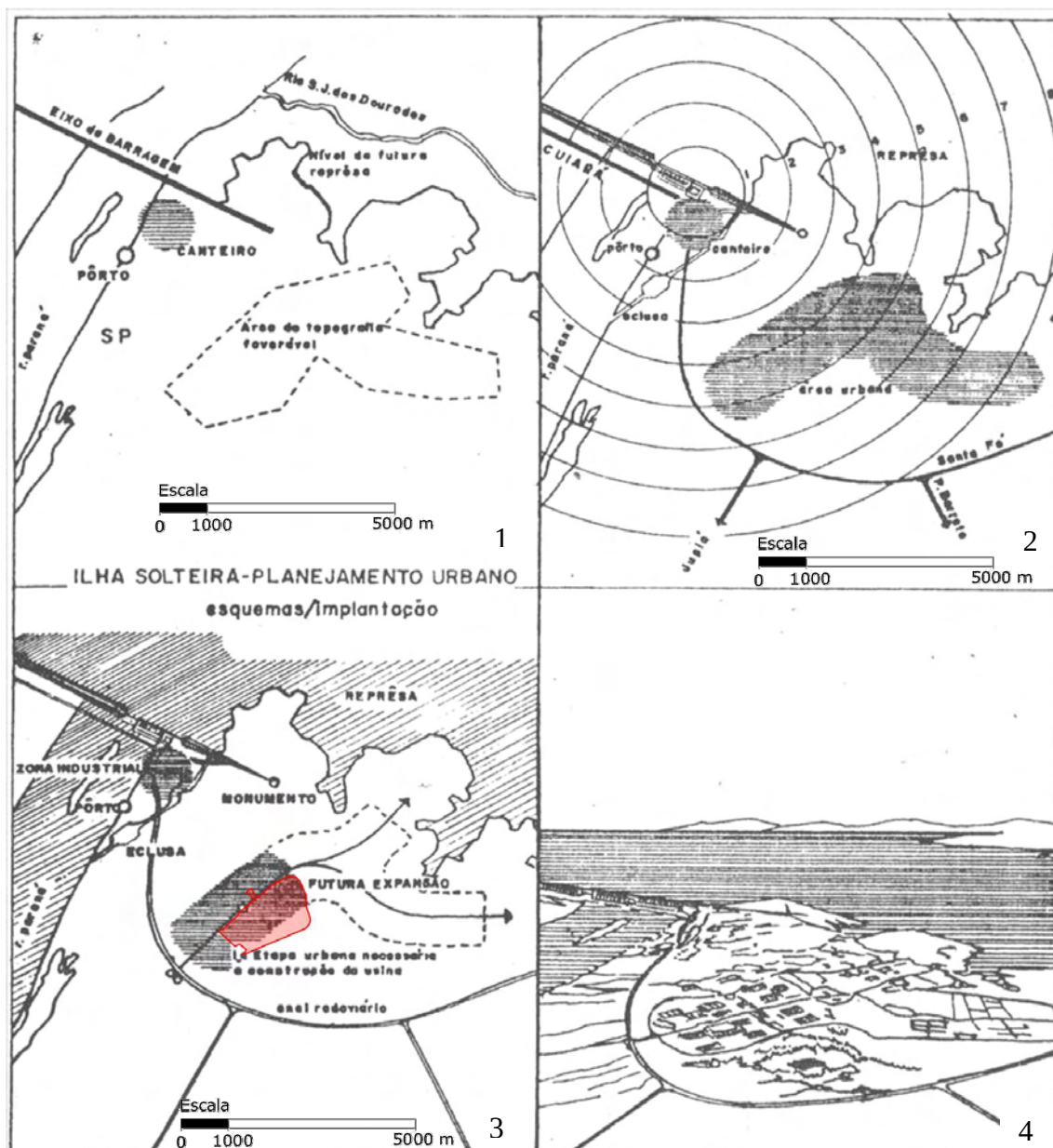


Figura 23 – Esquema de implantação do núcleo urbano de Ilha Solteira; (1) estudos topográficos; (2) determinação da área urbana; (3) destaque do núcleo urbano inicial, provável expansão e a sub-bacia do Córrego Sem Nome; (4) ilustração da cidade.
(Modificado de Mange e Kato 1963)

3.2.2 O plano viário

O plano viário inicial era extremamente simples e funcional, determinando a estrutura da cidade e delimitando as áreas de zoneamento.

Apesar de passados 43 anos desde o início das obras de implantação da cidade o sistema viário ainda mantém as características originais de projeto.

O projeto inicial previa a avenida central nascendo no anel rodoviário que ligava a estrada procedente de Jupiá com a barragem de Ilha Solteira e terminava em outro anel rodoviário, este que ligava as estradas de Jupiá com as de Pereira Barreto e de Santa Fé do Sul. Uma série de alamedas transversais estabelecia a ligação entre a avenida central e a perimetral.

Por fim, o sistema viário ficava completo com o conjunto de vias de distribuição de cada alameda, denominadas ruas.

Essas vias nasciam e morriam na alameda, constituindo uma série de *loops*.

Os conjuntos de alamedas/ruas eram separados por áreas verdes, garantindo o sistema de circulação adotado.

Toda essa concepção de projeto visava à diminuição do tráfego da avenida para a rua, ficando o trânsito das vielas reduzido somente aos veículos dos moradores, assegurando a tranquilidade.

3.2.3 O zoneamento da cidade

O esquema de vias de circulação delimitava as áreas de zoneamento da cidade, de acordo com suas funções.

A cidade fora dividida em duas alas, a norte e a sul separadas por uma extensa área destinada ao equipamento de funções não diretamente ligadas à habitação.

No centro geométrico deste eixo erguia-se uma grande caixa d'água que constituía um monumento da cidade.

Ainda nesta área localizava-se o centro administrativo da cidade que era constituído pelo prédio da administração da cidade, estação rodoviária, comércio especializado, cinemas, praça, ginásio, escolas técnicas, igreja, hotel, prédio de telefonia, correio e cartório, dentre outros.

Atualmente a rodoviária, os prédios de telefonia, correio e cartório estão em outras localizações.

Ao longo do eixo central, que atravessava a avenida principal, localizavam-se ainda os alojamentos da população solteira a fim de facilitar-lhes o acesso aos serviços comunitários, administrativos e comerciais.

O conjunto de alojamentos completava-se com instalações esportivas e refeitórios.

Segundo Mange e Kato (1963) a área destinada à moradia da mão-de-obra seria provisória e dentro do processo de desenvolvimento urbano da cidade estas áreas seriam demolidas e seus lotes destinados à construção de novas residências, bem como de equipamentos sociais na medida em que o núcleo fosse evoluindo como uma cidade normal.

Em uma das extremidades do eixo central fora projetado o conjunto hospitalar, composto em sua fundação por 200 leitos, sendo dotado ainda de ambulatorios, maternidade e pronto socorro.

Na outra extremidade fora prevista a continuidade do equipamento sócio-recreativo, constituído por clubes, centro esportivo, zoológico, área para parques de diversões, circos e feiras regionais.

Ao longo da avenida central e simetricamente na ala norte e na ala sul, localizava-se a zona destinada aos grupos escolares, ao comércio e às feiras livres.

Essa disposição permitia a toda população o acesso fácil a estes serviços sem necessidade de percorrer grandes distâncias.

Ainda mais próximas das residências, de maneira a facilitar seu acesso e seu uso, localizadas ao longo das alamedas, estavam as zonas destinadas aos equipamentos de primeira necessidade (pequeno comércio) e nas faixas que ocorrem entre as residências estavam as zonas de equipamentos comunitários.

Estas faixas tinham por finalidade serem verdadeiros pólos de recreação e de lazer, atendendo facilmente aos moradores das áreas circunvizinhas e constituindo lugares de atração para todas as idades.

No projeto inicial elas seriam equipadas com uma capela, um *playground* para crianças, uma pequena praça arborizada, um centro comunitário destinado a se tornar uma unidade social, cultural e recreativa, além de ser também uma pequena unidade sanitária e uma área esportiva, visto as limitações das moradias cujas áreas não permitem extravasamento das atividades sócio-recreativas (a falta de espaço livre pode ser vista pelas Figuras de A a J do Anexo A).

Outro objetivo destas faixas era o de promover pontos de reuniões entre vizinhos e membros da comunidade, de maneira a facilitar sua integração.

A zona destinada à instalação da indústria leve, dos equipamentos para o abastecimento e a manutenção de veículos, dos serviços públicos especializados seria localizada entre as áreas habitacionais e a avenida perimetral.

Segundo Mange e Kato (1963), as funções urbanas foram ordenadas de acordo com o seguinte esquema:

- i. Zona habitacional: área destinada à habitação e constituída pelas quadras definidas pelas ruas;
- ii. Zona de equipamentos I: área destinada à recreação (ativa e contemplativa) e equipamentos de primeiras necessidades (pequeno comércio) e constituída pelas faixas ou braços que ocorrem entre as áreas de habitação e ao longo das alamedas;
- iii. Zona de equipamentos II: área destinada a equipamentos no setor educação (grupos escolares), pequenos centros comerciais, conjuntos de administração privada, hotéis, etc., e constituída pelos espaços que se estendem ao longo da avenida central, entre as áreas de habitação;
- iv. Zona de equipamentos/centro social: área destinada a equipamentos de funções não diretamente ligadas à habitação – comércio especializado, cinemas, administração urbana, ginásios, etc., e constituída pelo espaço central que, interrompendo as áreas habitacionais. Esta zona central está organizada em sub-zonas para atendimento a diversas funções tais como: centro hospitalar, recreação contemplativa/parque, agrupamento de ensino médio, prédios para a administração do núcleo urbano e centro esportivo;
- v. Zona de equipamentos IV: áreas destinadas a diversas atividades urbanas não incluídas nos grupos anteriores, indústria leve, abastecimento e manutenção de veículos, pequenas oficinas e depósitos, serviços públicos especializados, etc., e constituídas pelos espaços restantes entre as áreas habitacionais e a avenida perimetral.

No projeto original o núcleo urbano ocupava uma área de 3,80 km² no período entre 1970 e 1980, atualmente no ano de 2009, conta com 9,37 km² e a sub-bacia alvo dos estudos responde por 3,47 km².

Os 3,80 km² da área urbana inicial projetada eram distribuídos da seguinte forma:

- Sistema viário: 0,45 km²;
- Zona habitacional: 1,80 km²;
- Zonas de equipamentos I, II, III: 0,88 km²;
- Zona de equipamentos IV: 0,67 km².

3.2.4 A zona habitacional

Na concepção inicial a zona habitacional era constituída por quadras definidas pelas ruas, sendo as habitações distribuídas em renques de casas geminadas, separadas por vielas.

As residências foram construídas com materiais permanentes, tendo sido escolhido como material base o bloco de concreto pré-moldado por possibilitar rapidez na construção e utilização de um número menor de operários do que a construção convencional de alvenaria com tijolos. Uma fábrica destes blocos fora instalada na área industrial da cidade.

Os empregados da CESP e das firmas empreiteiras que estavam engajados na obra foram divididos em 6 níveis de especialização, representando as categorias profissionais a que pertenciam.

A cada um destes níveis correspondia um tipo de casa, sendo as casas níveis 1, 2, 2M-2Q (casa tipo 2 de madeira com 2 quartos), 2M-3Q (casa tipo 2 de madeira com 3 quartos), 2R (casa tipo 1 reformada com o acréscimo de 3 quartos e garagem), 3 e 4 eram destinadas aos funcionários menos graduados denominados por população das categorias funcionais (no Anexo A as Figuras de A a F ilustram as plantas destes imóveis).

Já os hotéis e as casas de níveis 5 e 6 (ver no Anexo A as Figuras de G a J) foram destinadas às categorias mais graduadas.

De acordo com Chávez (1988) a idéia que dominava no planejamento habitacional era, portanto, a de agrupar a população por níveis de categoria profissional, distribuindo habitações segundo critérios racionais de melhor atendimento aos problemas da comunidade, tais como condições de vizinhança, abastecimento e transporte.

Segundo Mange e Kato (1963) para evitar o risco de uma segregação muito intensa entre as zonas residenciais a disposição dos diversos tipos de casa foi estudada de maneira a operar certa nivelção social: as quadras de casas de tipo 2 estão próximas às quadras de tipo 4, as de tipo 3 estão localizadas perto das de nível 5 e 6 e assim por diante.

As casas foram distribuídas pelas empresas aos funcionários, conforme seu nível, em troca de uma taxa proporcional ao nível.

Nas zonas próximas ao centro e aos grupos escolares, existiam áreas previstas para instalação de indústria leve e lotes para construções por iniciativa privada. A área total disponível para loteamento, bem como a ocupação do lote em si, obedeceria a uma série de normas codificadas com o intuito de garantir um crescimento orgânico e equilibrado da cidade.

3.3 Evolução do núcleo urbano

A evolução da ocupação da terra urbana de Ilha Solteira é mostrada pela Figura 24, a partir da qual é possível acompanhar as modificações ocorridas ao longo do tempo.

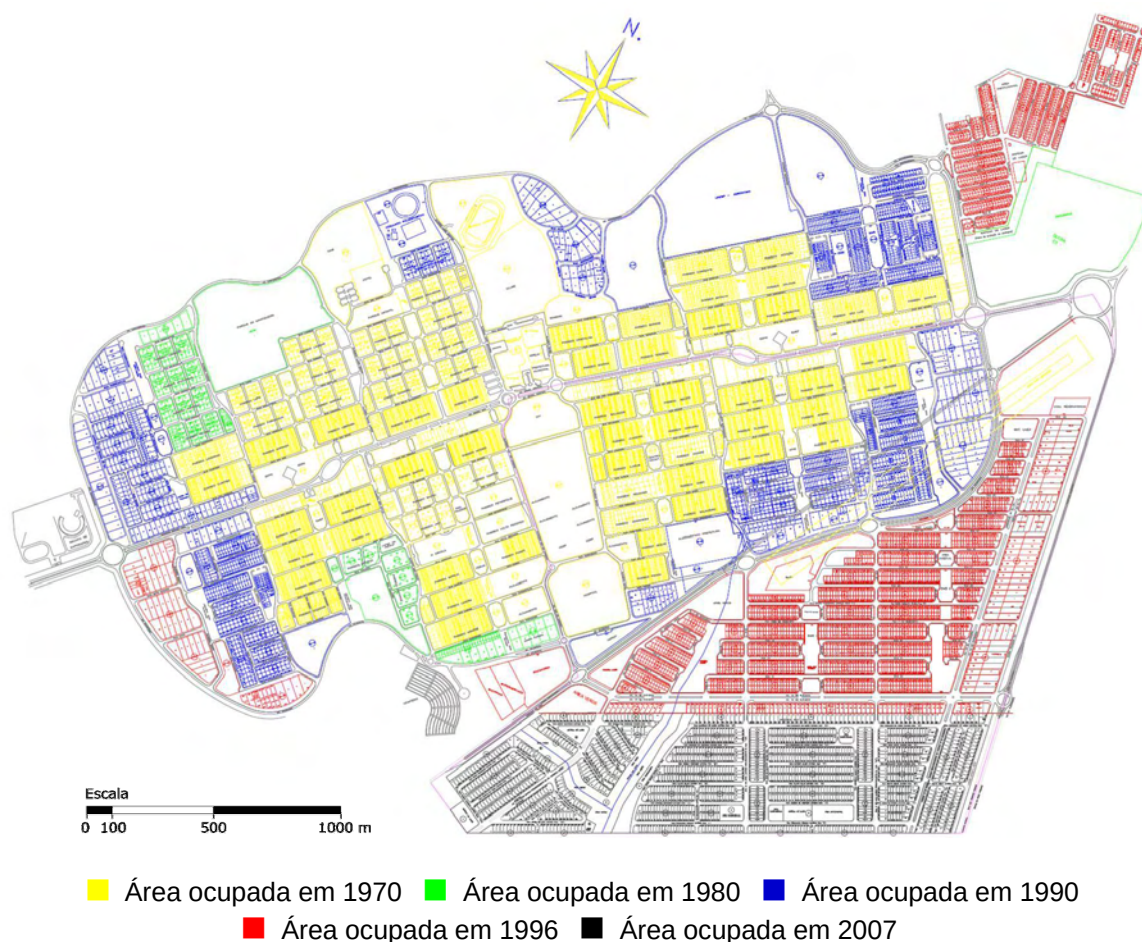


Figura 24 – Processo de desenvolvimento urbano do núcleo principal de Ilha Solteira.
(Modificado de Ilha Solteira, 2007)

Já as Figuras 25 e 26 possibilitam confrontar o *layout* inicial da cidade com o atual, sendo possível perceber o considerável processo de ocupação da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

Segundo o parcelamento de solo e projeções de expansão propostos por Mange e Kato (1963), conforme visto anteriormente, a área da nascente do Córrego Sem Nome era preservada de construções.

As modificações temporais no uso e ocupação da terra da cidade de Ilha Solteira podem ser descritas segundo os anos de 1970, 1980, 1990, 1996 e 2006.

Nestes anos ocorreram as mudanças significativas da estrutura física do meio urbano.



Figura 25 – Ilha Solteira em 1970. (CESP, 1975)



Figura 26 – Ilha Solteira em 2006. (GOOGLE EARTH, 2006)

O início da construção de Ilha Solteira foi no ano de 1966 e no ano de 1970 a primeira etapa do projeto com apenas residências do tipo 1, 2, 2M-2Q, 2M-3Q, 2R, 3, 4, 5 e 6 estava concluída.

A Figura 27 mostra como era a distribuição das residências de acordo com o seu tipo em 1970. No ano de 1980 o núcleo principal urbano continuava a receber apenas a construção de residências pré-estabelecidas no projeto da cidade, conforme ilustra a Figura 28.

Neste intervalo de 10 anos as mudanças expressivas na ocupação da terra ocorreram nos lote, dentro do limite urbano estabelecido pelo projeto original.

Destaca-se a expansão das áreas cobertas por telhados pelos moradores das residências tipo 1, 2, 3 e 4 em virtude da insatisfação devido à falta de conforto das moradias projetadas, a Figura 29 ilustra esta modificação feita pelos moradores.

No ano de 1990 as residências de madeira timidamente começaram a ser removidas. Neste ano inicia-se a ocupação do bairro Santa Catarina e a continuação da urbanização do Morumbi, ambos os bairros constavam no projeto original como áreas de futura expansão, portanto até o ano de 1994 a cidade de Ilha Solteira manteve-se dentro do limite urbano delineado pelo planejamento original.

Entretanto em 1994 e 1995, com a criação do Jardim Aeroporto e Jardim Novo Horizonte respectivamente, Ilha Solteira rompeu pela primeira vez com o limite urbano do projeto inicial.

Com a criação destes dois novos bairros, ambos de casas populares, as residências de madeira foram removidas do núcleo urbano principal no ano de 1996 quando a infra-estrutura dos dois loteamentos populares já estava concluída.

Os lotes pertencentes ao Jardim Novo Horizonte possuem área de 200m², com área mínima construída de 60m². Já os lotes do Jardim Aeroporto possuem área de 250m² e área mínima construída de 60m².

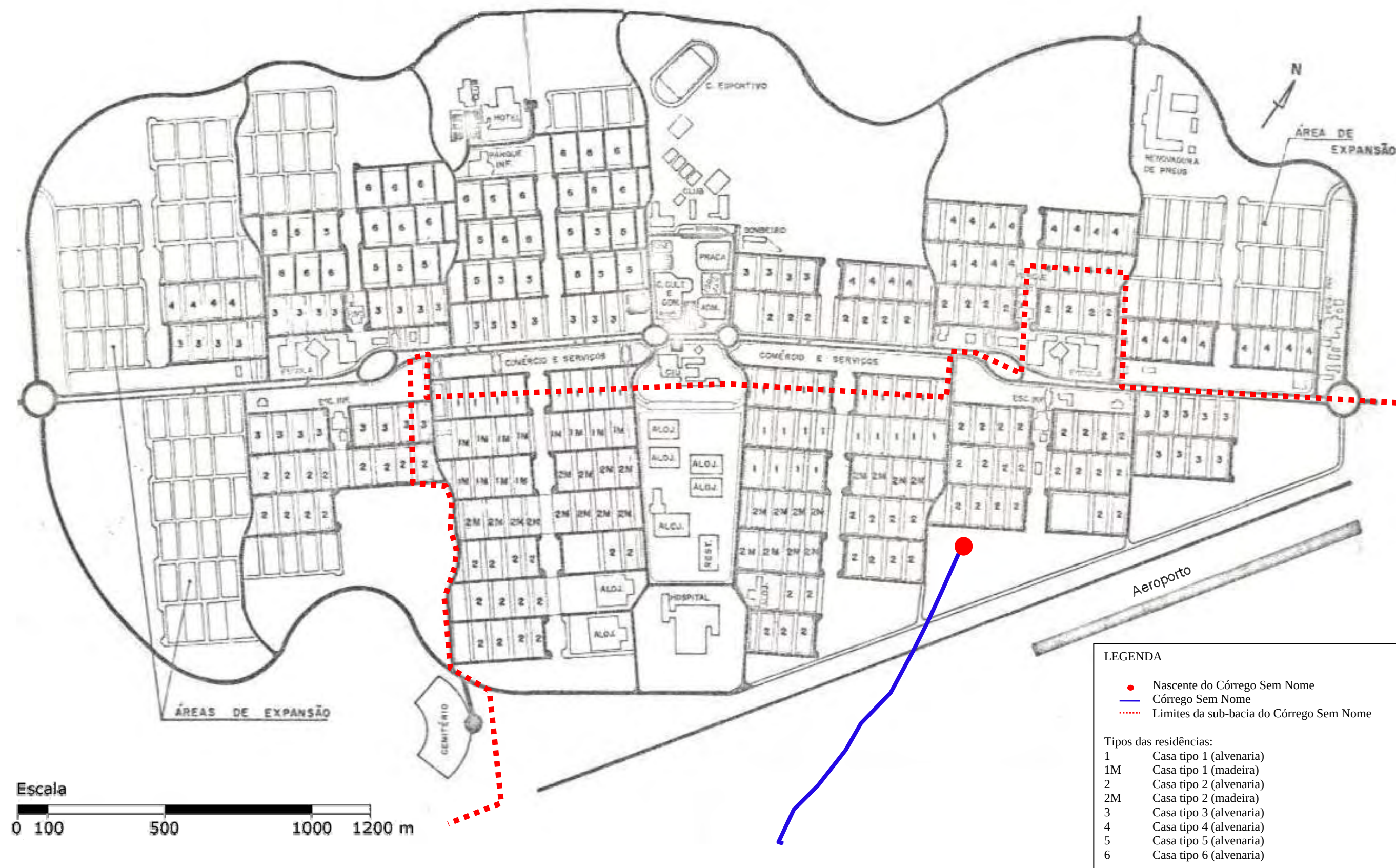


Figura 27 – Mapa da situação inicial (1970) e distribuição das residências por tipo. (Modificado de Cháve, 1988)

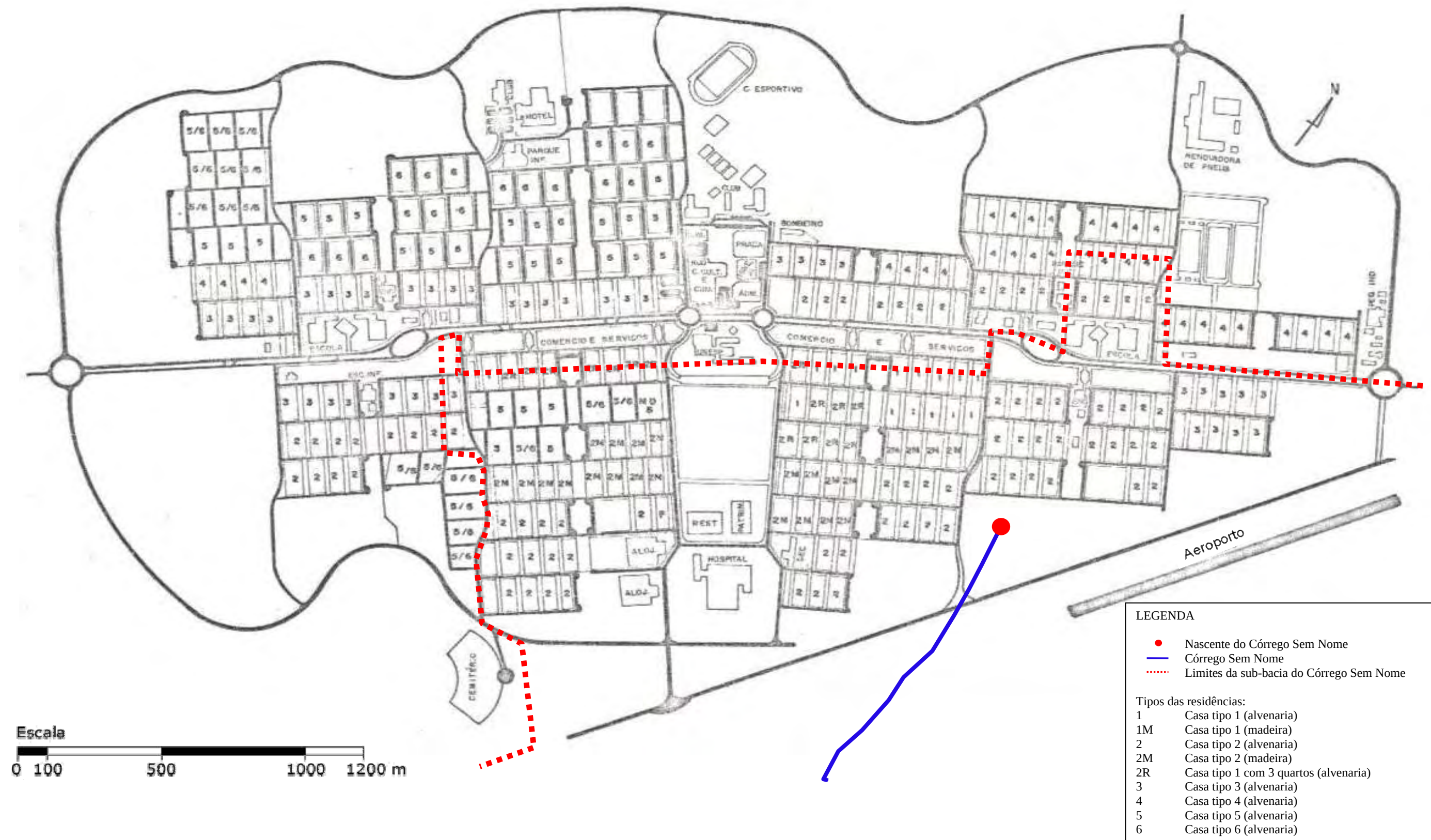


Figura 28 – Mapa da situação de 1980 e distribuição das residências por tipo (Fonte: Modificado de Chávez, 1988)



Figura 29 – Casas nível 3; no centro residência com a fachada e telhado originais; à direita residência com o telhado expandido e à esquerda residência com a fachada totalmente modificada. (Foto: Arquivo pessoal de Thiago G. S. Santim, 14/06/2007)

A Figura 30 é um exemplo de residência tipo 2M-3Q (tipo 2 de madeira e 3 quartos), esta que é a última casa do tipo de madeira que era prevista no projeto inicial.



Figura 30 – Residência tipo 2 de madeira com 3 quartos (2M-3Q). (Foto: Arquivo pessoal de Thiago G. S. Santim, 14/06/2007)

As alterações como substituições das casas de madeira por outras não abrangidas no projeto inicial de Ilha Solteira ocorreram no período entre 1980 e 1990. Sendo assim, a sub-bacia do Córrego Sem Nome tem seu histórico de ocupação dividido em 5 etapas descritas a seguir. A Figura 31 tem o objetivo de fornecer o contexto espacial dos loteamentos que constituem a cidade de Ilha Solteira e mostrar os pontos de colapso de obras viárias (Figura 31A) e processos erosivos (Figura 31B).

1ª. Etapa: De 1966 a 1970, período de implantação do núcleo urbano sobre uma área ocupa apenas por pastagens do tipo *Brachiaria brizantha*. A sub-bacia até 1966 possuía uma área de 4,37km² com perímetro de 9,49km e talvegue de 1,283km. Com a implantação da infra-estrutura urbana a sub-bacia passou a ter área de 3,23km², perímetro de 8,09km e talvegue de 1,282km, sendo que a intervenção urbana ocupava uma área de 1,21km², ou seja, 37,46% da área total da sub-bacia;

2ª. Etapa: De 1970 a 1980, não ocorreram expansões exógenas, ou seja, não houve mudanças nos limites da sub-bacia. Foi durante este período que a cidade respeitou o projeto inicial e o corpo hídrico não sofreu com vazões acima das de projeto, pois o sistema de drenagem, incluindo as obras de dissipação de energia, previa uma urbanização consolidada dentro do perímetro urbano, tal como estava existindo. Em relação à área de drenagem, perímetro e comprimento de talvegue, a sub-bacia não apresentou modificações, mas uma pequena expansão urbana foi consolidada, aumentando a área urbana em 3,30%, assim a área sob a intervenção humana passou a ocupar 38,70% da bacia;

3ª. Etapa: De 1980 a 1990, até então as mudanças ocorridas foram internas, ou seja, endógenas, não indo além dos limites estabelecidos pelo Plano Diretor inicial. Estas mudanças consistiram na ocupação de áreas subaproveitadas dentro do núcleo principal urbano, chamado de violão, e na impermeabilização dos espaços e aumento da área coberta por telhados, estas últimas mudanças na estrutura dos imóveis foram associadas a ganhos em qualidade de vida, pois reduziam a poeira, protegiam as portas e janelas da insolação ao longo do dia.

Assim, o acréscimo de área urbana em relação à 2ª. Etapa foi de 29,60%, fazendo com que a sub-bacia já tomasse uma característica mais urbana, pois mais de 50% de sua área já era considerada área urbana.

Apesar dos limites da sub-bacia não terem sido afetados, as mudanças nos imóveis aumentaram o volume de escoamento superficial que chegava até o corpo hídrico, fazendo com que ele apresentasse os primeiros indícios de erosão;

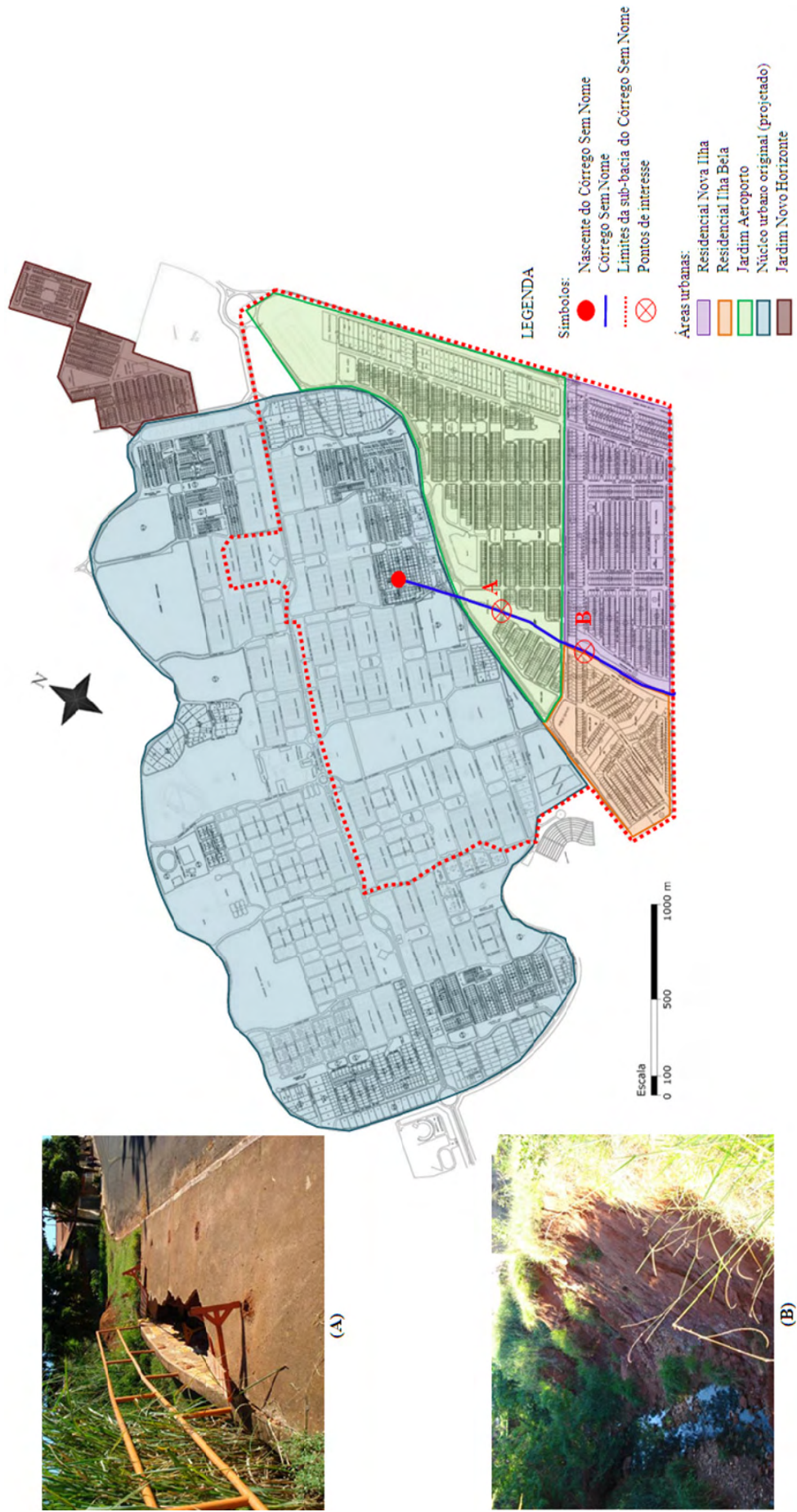


Figura 31 – Loteamentos urbanos da cidade de Ilha Solteira e pontos de erosão (A) na travessia da Av. 7 de Setembro e (B) a jusante da travessia da Av. 15 de Outubro
(Fotos do arquivo pessoal de Thiago Garcia da Silva Santim, 29/04/2008 e imagem modificada)

4ª. Etapa: De 1990 a 1996, neste período houve a extinção das residências provisórias e não houve uma nova ocupação destas áreas por novos imóveis, pois os moradores foram realocados para os dois novos loteamentos populares: Jardim Novo Horizonte e Jardim Aeroporto, sendo este último pertencente à sub-bacia do Córrego Sem Nome. Esta expansão não seguiu as diretrizes de expansão propostas por Mange e Kato (1963), mostradas neste trabalho pelas Figuras de 21 a 23.

Se por um lado nesta etapa houve as remoções de residências no centro, disponibilizando espaços permeáveis, por outro lado ocorreram as expansões além dos limites previstos no projeto inicial. A área urbana da sub-bacia do Córrego Sem Nome saltou de 1,62km² para 2,74km², ocupando 84,83% da área da sub-bacia.

Em função da ocupação de uma área rural, o relevo foi modificado por serviços de terraplanagem, adequando o terreno para os equipamentos urbanos, alterando desta forma os limites da sub-bacia do Córrego Sem Nome e assim ela passou a ter área de 3,26km² e perímetro de 7,94km. Nesta etapa o processo erosivo iniciado da Etapa 3 atingiu grandes proporções, como ilustrado anteriormente pela Figura 31B.

5ª. Etapa: De 1996 até 2009, em 2004 novas construções como prédios de poucos andares, no máximo 5, começaram a ser construídos nas áreas dantes ocupadas pelos imóveis de madeira. O processo tímido de reurbanização das áreas subutilizadas do núcleo principal torna-se intenso entre 2007 e 2008

Em 2006, após a consolidação dos loteamentos populares, outros dois empreendimentos foram criados às margens do Córrego Sem Nome dando novos contornos aos limites da sub-bacia, fazendo com que a área da sub-bacia passasse de 3,23km² para 3,47km² com perímetro de 8,48km. Entretanto, mesmo havendo o ganho de área, não houve uma redução na taxa de ocupação urbana da sub-bacia, pois a área anexada à sub-bacia já tinha ocupação definida: as residências dos novos loteamentos.

Desta forma, o Córrego Sem Nome em 45 anos teve sua sub-bacia alterada em termos de área e perímetro e devido às modificações no uso e ocupação da terra, atingiu 100% de sua área destinada à urbanização.

A Figura 32 ilustra a evolução da mancha urbana ao longo dos 45 anos de urbanização da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

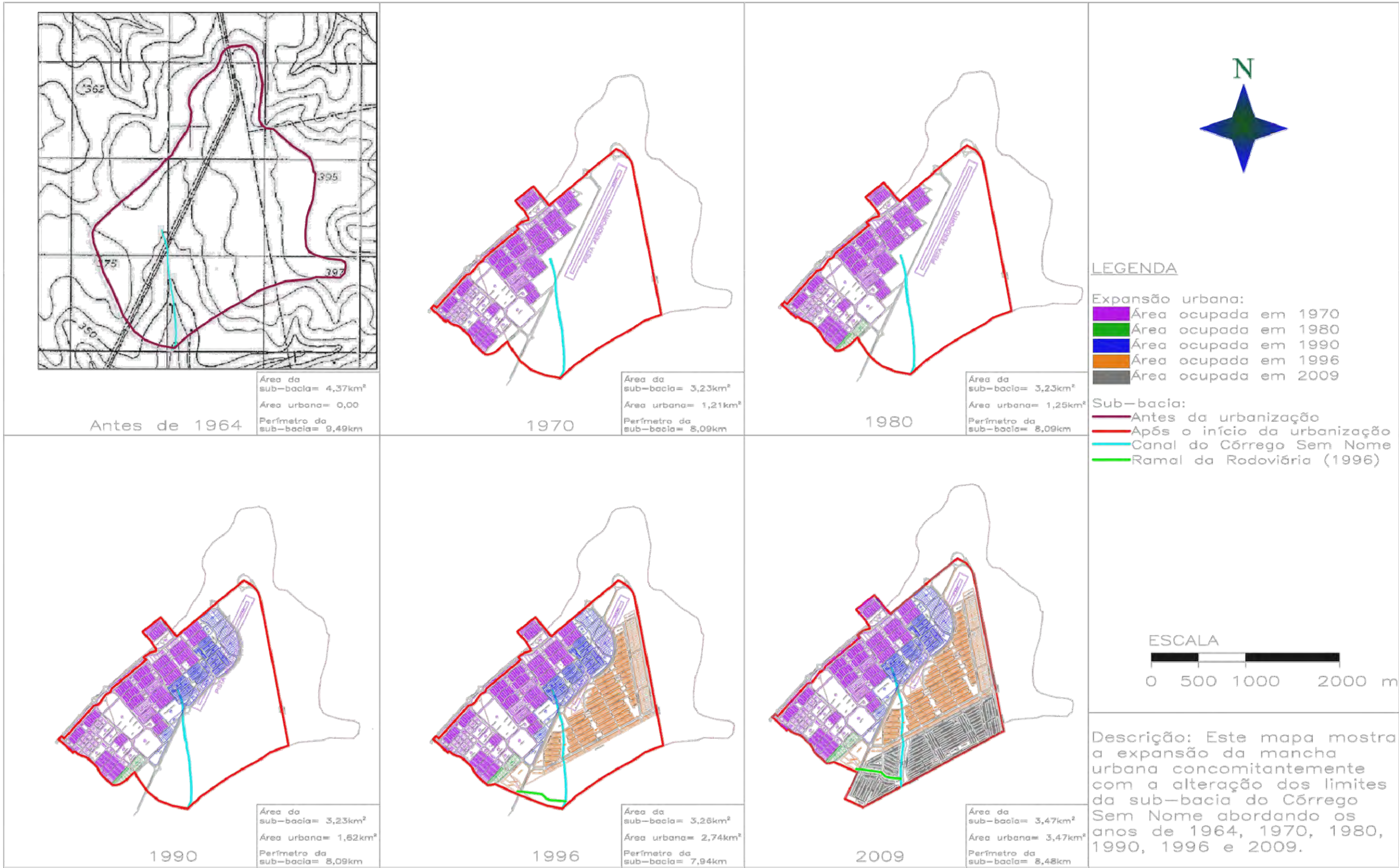


Figura 32 – Histórico da ocupação e crescimento da mancha urbana na sub-bacia do Córrego Sem Nome

3.4 Hidrografia e hidrologia da sub-bacia do Córrego Sem Nome

Este trabalho tem como seção de estudos o ponto localizado a 7.739.992,92 m norte e 465.064,86m leste na cota 329,00m.

O Córrego Sem Nome, de acordo com a classificação de Villela e Mattos (1975), é um rio de ordem 1, afluente do Córrego Caçula que deságua no rio Paraná. Antes das obras para construção de Ilha Solteira o Córrego Sem Nome contava com uma sub-bacia para a seção de interesse de 4,37km² com perímetro de 9,49km e talvegue de 1.283,45m, portanto, coeficiente de compacidade Kc de 1,27, fator forma Kf de 0,85 e índice de conformidade de 2,75 (os cálculos destes coeficientes são apresentados no Anexo B).

Entretanto, após 43 anos sujeita às atividades humanas, merecendo destaque os serviços de terraplenagem e implantação de infra-estrutura urbana como a rede de drenagem, a topografia da bacia do córrego foi alterada.

Devido a isso a área da sub-bacia objeto dos estudos foi reduzida para 3,47km², circundada por um perímetro de 8,48km e talvegue de 1.281,90 m, redefinido deste modo os coeficientes de forma Kc para 1,27, Kf para 0,86 e o novo Fc para 2,18 (os cálculos destes coeficientes estão apresentados no Anexo B).

Com base nos coeficientes de forma, pode-se concluir que a sub-bacia alvo dos estudos não se tornou mais propensa a enchentes devido às alterações nos seus limites.

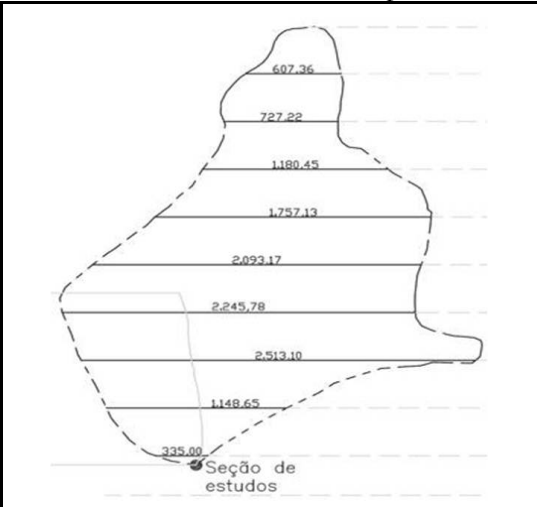
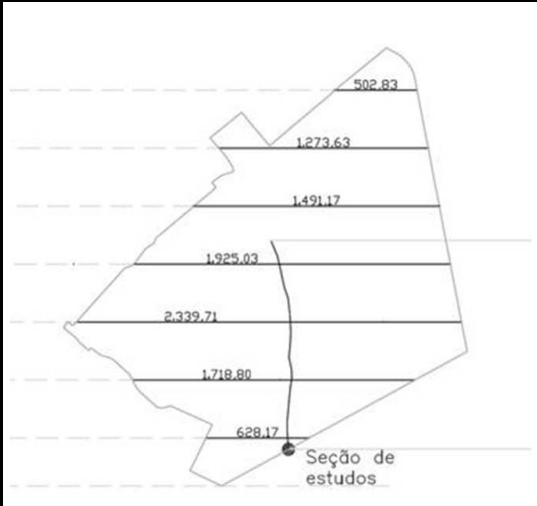
Mesmo que as alterações nos coeficientes de forma indicassem que a sub-bacia havia se tornado mais susceptível a enchentes, eles por si só não podem ser responsabilizadas pelo aumento da energia e do volume do escoamento superficial e também pelo aparecimento de processos erosivos no leito do córrego, pois o fator principal foi a alteração do tipo de ocupação da terra da sub-bacia.

A Tabela 6 confronta os coeficientes de forma nos dois momentos analisados: antes de 1966 e após 2006.

A sub-bacia, antes de receber a infra-estrutura para os imóveis, vias, redes de água, esgoto, iluminação e transmissão de energia elétrica era coberta por pastagens, sendo que atualmente a área urbanizada é cerca de 190% maior do que a inicial existente em 1970.

A Prefeitura Municipal de Ilha Solteira para conter os impactos negativos da urbanização iniciou ações mitigadoras nos residenciais Ilha Bela e Nova Ilha com o objetivo de amortecer a vazão a ser lançada no córrego. Estas ações podem ser vistas na Figura 33.

Tabela 6 – Coeficientes de forma para a sub-bacia do Córrego Sem Nome

	Área (km ²)	4,37
	Perímetro (km)	9,49
	Comprimento (km)	1,283
	Comprimento sem meandros (km)	1,261
	Largura média (km)	1,402
	Kc	1,27
	Kf	0,85
Antes da urbanização	Fc	2,75
	Área (km ²)	3,47
	Perímetro (km)	8,48
	Comprimento (km)	1,281
	Comprimento sem meandros (km)	1,261
	Largura média (km)	1,411
	Kc	1,27
	Kf	0,86
Depois da urbanização	Fc	2,18

As ações visavam conduzir o escoamento gerado nos dois novos loteamentos para um conjunto de 6 reservatórios, sendo 3 do lado do residencial Nova Ilha e 3 do lado do residencial Ilha Bela.

Cada conjunto de 3 reservatórios é interligado por meio de tubulações, fazendo com que o lançamento seja concentrado em um ponto 30m a montante da seção de estudos deste trabalho.

O objetivo desses reservatórios era de amortecer o escoamento superficial advindo da área recém urbanizada, pois é dentro da área destes 2 loteamentos que o Córrego Sem Nome tem seu trecho crítico, onde se localizam as erosões com mais de 5m de profundidade, situação que se agravaria com a implantação novos lançamentos de escoamento devido aos 2 novos loteamentos destinados à construção de casas.

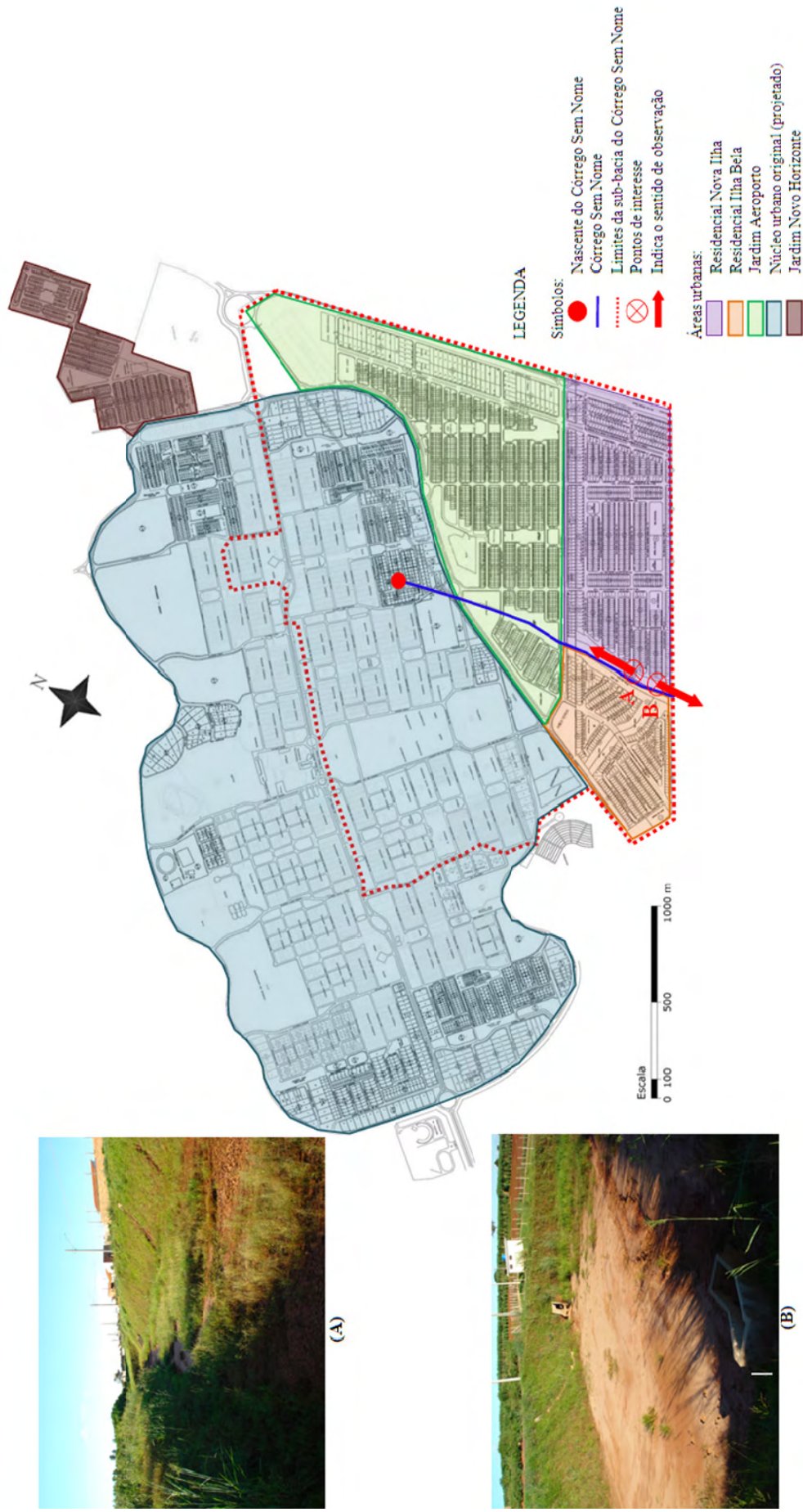


Figura 33 – Reservatório para amortecimento da vazão de pico a ser lançada no Córrego Sem Nome em virtude do incremento da contribuição devido ao residencial Nova Ilha (Fotos do arquivo pessoal de Thiago Garcia da Silva Santim, 29/04/2008, e imagem modificada de Ilha Solteira, 2007)

Quanto a declividade, o leito original do córrego possuía declividade de 0,026m/m e atualmente é de 0,006m/m. Esta mudança ocorreu nos trechos onde houve a canalização, pois apesar da região estar localizada nas proximidades do talvegue do rio Paraná, a declividade de 2,6% aumentava a energia do escoamento causando processos erosivos ao longo de todo o córrego devido ao aumento do volume do escoamento pela urbanização.

Para atingir a declividade de 0,6% conforme proposto no projeto de canalização, lançou-se mão de soleiras ou estruturas transversais com bacias de dissipação de energia, para que assim a velocidade do escoamento fosse a menor possível (ILHA SOLTEIRA, 2007).

Ainda segundo Ilha Solteira (2007) logo após o trecho canalizado, no seu lançamento à jusante, a situação do corpo d'água é impactante, apresentando processo erosivo em estágio bastante avançado, podendo inclusive ser classificado como fator de risco quanto à estabilidade da infra-estrutura existente no local, além do solapamento das margens e assoreamento a jusante do corpo d'água.

A Figura 34 identifica o ponto de lançamento do trecho canalizado. Os detalhes do canal do córrego serão apresentados a seguir onde será estudada a disposição da rede de drenagem que definiu o traçado atual da sub-bacia, bem como os pontos de lançamento que definem as áreas de contribuição que compõe a sub-bacia do Córrego Sem Nome.

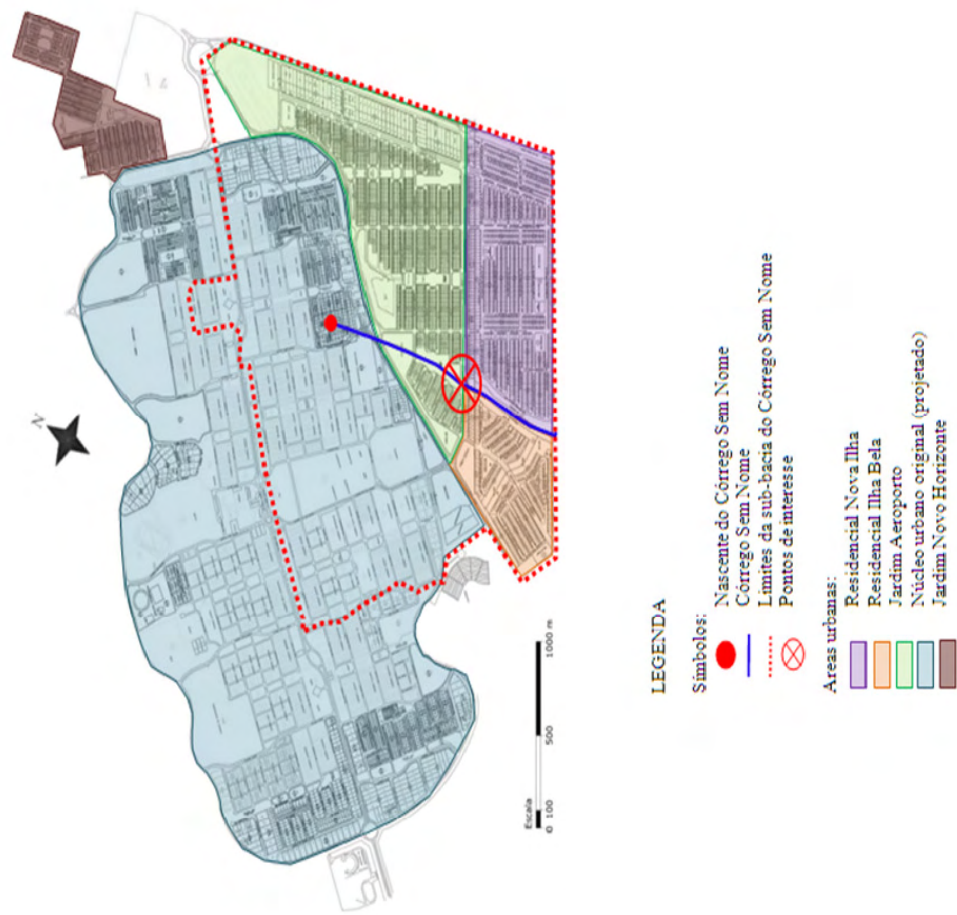
Quanto às vazões, não há rede hidrométrica na região e mesmo sua aplicabilidade torna-se de difícil viabilidade visto o regime irregular do córrego que nos períodos de estiagem apresenta características de um corpo hídrico efêmero, pois sua vazão é muito pequena e a maior parte do fio de água existente (ver Figura 34A) é o resultado de lançamentos clandestinos de esgoto ou da lavagem de ruas e calçadas. Porém, segundo a metodologia de regionalização hidrológica disponibilizada por DAEE (1994) e utilizada por meio de <http://www.sigrh.sp.gov.br>, acessado em 30/11/2008, a vazão média plurianual ($Q_{\text{plurianual}}$) é de cerca de 0,020m³/s e a vazão mínima anual de 7 dias para 10 anos de retorno ($Q_{7,10}$) é de 0,005m³/s. A regionalização hidrológica foi aplicada a seção de estudos localizada a 7.739.992,92m norte e 465.064,86m leste, para uma bacia hidrográfica de 3,47km².

Entretanto nos eventos pluviométricos de grande intensidade a vazão do córrego atinge picos de vazão maiores, tal como ilustrado pela Figura 34B.

Na Figura 34A é possível visualizar as marcas nas paredes da galeria dos picos de vazões superiores ao deflúvio apresentado pela Figura 32B, justificando o avançado processo erosivo encontrado a cerca de 50 m a jusante conforme mostrado pela Figura 31B.



(A)



(B)

Figura 34 – Seção a jusante do Jardim Aeroporto em dois momentos (A) vazão média sem a interferência da contribuição das áreas impermeabilizadas e (B) vazão durante evento chuvoso.

(Fotos do arquivo Pessoal de Thiago Garcia da Silva Santim, 16/05/2008, e imagem modificado de Ilha Solteira, 2007)

O regime de chuvas da área de estudos, conforme mostrado anteriormente pelo pluviograma da Figura 19, é caracterizado por chuvas no verão e estiagens no inverno.

A Tabela 7 mostra as alturas precipitadas durante o ano de 2008, disponibilizadas pela Estação Agrometeorológica - AHI UNESP, localizada em Ilha Solteira na latitude: 20°25'24,48"S e longitude 51°21'13,13"O.

Tabela 7 – Precipitações diárias para a região de Ilha Solteira-SP em 2008

MES	JAN											
DIA	3	5	6	7	11	12	13	14	15	16	17	18
CHUVA (mm)	25,2	14,5	2	0,3	3,3	0,3	119,6	4,1	41,2	17,3	10,2	3,6
MES	JAN											
DIA	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
CHUVA (mm)	9,9	4	2,3	0,3	48,8	52,3	7,9	27,2	92,5	46,2	33,5	30
MES	FEV											
DIA	1	2	3	4	7	8	9	11	12	13	14	15
CHUVA (mm)	0,3	0,8	0,8	3,8	9,7	2,3	1,5	25,9	5,3	0,3	1	0,3
MES	FEV										MAR	
DIA	17	20	21	22	23	24	27	28	29	1	6	8
CHUVA (mm)	1	2,5	32,3	3,6	32	16,8	2,8	20,6	8,4	0,3	0,3	0,8
MES	MAR											ABR
DIA	9	10	11	12	13	14	18	19	20	21	22	1
CHUVA (mm)	18	9,9	11,7	14	65,8	4,8	6,4	26,4	93,5	0,8	24,9	2,5
MES	ABR											
DIA	2	3	4	8	10	11	12	13	14	19	20	28
CHUVA (mm)	1	2	3,1	1,5	14,2	0,3	15	4,8	18	43,7	1,5	7,4
MES	ABR			MAI					JUN			
DIA	29	30	1	2	16	17	29	30	3	10	15	16
CHUVA (mm)	18,5	14,2	5,8	13,7	22,6	0,3	35,8	0,8	0,3	0,5	2,8	0,3
MES	JUL		AGO				SET					
DIA	S/ CHUVAS	3	5	9	30	7	13	14	20	21	26	27
CHUVA (mm)	S/ CHUVAS	5,6	4,3	0,5	3,3	0,5	2,3	1,3	2	0,3	1,3	0,5
MES	OUT											
DIA	1	2	4	5	6	7	10	11	17	18	19	20
CHUVA (mm)	9,7	38,9	4,3	0,8	0,8	0,8	7,4	2,3	0,3	8,9	0,3	0,3
MES	OUT			NOV								
DIA	21	29	30	1	2	3	4	6	7	8	9	11
CHUVA (mm)	19,3	1,8	8,9	3,6	18,3	0,3	10,4	10,2	11,2	0,3	11,2	24,1
MES	NOV					DEZ						
DIA	12	13	14	28	29	2	10	11	12	13	15	16
CHUVA (mm)	5,3	1,3	0,3	6,9	0,3	12,7	18	7,1	19,1	0,5	17,5	0,3
MES	DEZ					RESUMO 2008						
DIA	21	22	25	26	31	DIAS COM CHUVA =		136				
CHUVA (mm)	10,7	93,5	0,5	16,5	24,1	TOTAL PRECIPITADO (mm) =		1727,6				

Fonte: UNESP (2009).

Com relação aos eventos chuvosos extremos, as Tabelas 8 e 9 mostram a altura máxima precipitada em um dia e a intensidade máxima dos eventos de chuva em função do tempo de duração da precipitação.

Tabela 8 – Precipitação máxima diária para a região de Ilha Solteira-SP

Ano	2005	2006	2007	2008	2009
Chuva máx (mm/dia)	73,2	63,5	67,31	119,6	61,98
Data	4/1/2005	28/1/2006	21/12/2007	13/1/2008	26/2/2009

Fonte: UNESP (2009).

Tabela 9 – Intensidades máximas anuais das precipitações para a região de Ilha Solteira - SP

Ano	Tempo de duração									
	10'	20'	30'	60'	120'	180'	360'	720'	1080'	1440'
1970	91,00	80,00	68,30	38,10	25,20	18,70	5,50	3,10	2,70	2,00
1971	100,00	95,00	90,30	54,30	30,50	22,10	11,30	8,20	3,20	2,40
1972	142,00	91,50	64,30	41,60	31,40	29,00	19,80	11,00	5,50	5,00
1973	201,00	165,00	126,60	78,50	47,80	35,50	20,10	15,80	12,80	11,40
1974	177,00	149,00	118,60	69,10	53,00	41,30	21,50	14,50	5,30	4,30
1975	127,00	119,50	106,60	63,30	40,80	29,50	16,40	10,10	7,00	7,10
1976	192,00	155,00	126,00	70,10	40,50	27,40	14,60	8,50	5,90	3,50
1977	149,00	118,50	108,30	83,50	47,00	36,50	28,40	16,10	11,50	8,70
1978	178,00	138,50	141,30	124,60	71,20	50,80	26,50	13,50	9,20	9,30
1979	204,00	180,00	142,00	85,10	45,20	39,80	8,30	4,70	3,30	3,60
1980	125,00	89,00	79,00	50,50	36,90	25,50	15,20	7,60	5,70	2,90
1981	152,00	125,00	95,30	50,30	35,10	27,50	24,90	15,40	13,60	10,20
1982	222,00	197,50	170,00	104,60	58,40	40,30	20,20	12,80	4,40	3,50
1983	181,00	150,50	132,00	79,10	41,50	29,20	16,10	9,40	8,10	5,00
1984	129,00	93,00	84,30	49,80	32,50	22,80	11,80	5,90	3,90	2,60
1985	167,00	139,50	128,60	88,50	53,60	45,50	27,80	14,20		
1986	204,00	128,00	119,60	80,30	46,10	33,00				
1987	193,00	162,00	126,60	69,50	37,70					
1988	121,00	101,00	90,30	79,80	37,20	17,80	10,00	5,40	5,00	4,70
1989	182,00	130,00	105,30	69,60	39,00	27,50	15,50			
1990	175,00	143,50	121,60	82,80	28,70	0,00	0,00			
1991	147,00	133,50	91,00	49,60	22,00	21,10	14,40	9,70		
1992	226,00	186,00	142,30	74,60	37,30	25,00	11,80	9,60		
1993	128,00	123,50	110,00	73,60	41,80	29,20				
1994	133,00	113,50	102,30	74,80	49,60	35,90	23,10	10,20	4,10	
1995	130,00	113,00	90,00	70,10	47,80	33,50	13,70	5,30	3,50	3,00
1996	185,00	183,50	144,00	85,60	44,80	31,00	17,10	9,00	7,00	5,20
1997	102,00	102,00	92,00	59,30	42,70	33,00	16,80	8,60	5,70	4,60
1998	173,00	157,50	137,60	125,30	74,00	33,90	13,20	5,70		
Média =	159,86	133,22	112,21	73,31	42,73	30,08	16,31	9,76	6,37	5,21

Fonte: SIGRH (2009)

Em vista da Estação Agrometeorológica - AHI UNESP não possuir pluviógrafo, os dados da Tabela 9 foram obtidos por meio do posto do DAEE localizado na cidade de Andradina – SP que dista 77 km de Ilha Solteira.

Ainda com uso dos dados deste posto hidrometeorológico foi definida a curva IDF para a região de Ilha Solteira.

O posto pode ser acessado por meio do site <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhtm.exe/plug?qwe=qwe> pelo prefixo B8-004.

De acordo com o Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos - SIGRH este posto é administrado pelo DAEE e está localizado na altitude 370,00m, latitude 20°55'00" e longitude 51°22'00", sendo que os dados apresentados dizem respeito ao período de 01/09/1970 a 28/09/1998. Os dados da curva IDF estão apresentados pela Tabela 10.

Tabela 10 – Dados de intensidade, duração e frequência para a cidade de Andradina em mm/h

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	100,5	122,6	137,3	145,6	151,4	155,9	169,7	183,3	196,9
20	78,0	94,9	106,1	112,5	116,9	120,3	130,8	141,2	151,6
30	64,1	78,0	87,3	92,5	96,2	99,0	107,6	116,2	124,8
60	42,3	51,9	58,3	61,9	64,4	66,3	72,3	78,2	84,1
120	25,8	32,1	36,3	38,7	40,4	41,6	45,6	49,5	53,4
180	18,8	23,7	27,0	28,8	30,1	31,1	34,1	37,2	40,2
360	10,6	13,8	15,9	17,0	17,9	18,5	20,5	22,4	24,3
720	5,9	7,9	9,2	9,9	10,5	10,9	12,1	13,4	14,6
1080	4,1	5,7	6,7	7,2	7,6	8,0	8,9	9,8	10,8
1440	3,2	4,5	5,3	5,8	6,1	6,4	7,2	7,9	8,7

Fonte: DAEE, 1999.

3.5 HIDRÁULICA DO CÓRREGO SEM NOME

Neste capítulo serão descritas as principais características de revestimento dos canais de drenagem natural e artificiais e de como ocorreram as mudanças destes revestimentos durante o processo de urbanização.

A Figura 35 apresentada a seguir mostra a cidade de Ilha Solteira divida em áreas de contribuição conforme adotado pelo Plano Diretor de Ilha Solteira.

Entretanto o Plano Diretor não levou em consideração a rede de drenagem urbana existente, fazendo com que algumas das áreas de contribuição adotadas na teoria não refletissem a condição de drenagem real existente na hidrografia da área urbana.

De acordo com o Plano Diretor seriam 5 as áreas de contribuição que drenam seus escoamentos para o leito do Córrego Sem Nome, sendo elas as áreas de número 7, 8, 9, 10 e 12 da Figura 35.

Porém, ao adotar a rede de drenagem urbana implantada na sub-bacia até o ano de 2009 como critério para definir os limites da sub-bacia do Córrego Sem nome, conforme

ilustrado pela Figura 36, nota-se que o traçado da sub-bacia inclui uma parcela da área 4 e a área de contribuição 7 passa a ter $\frac{1}{3}$ de sua área drenando para o lançamento chamado de L.

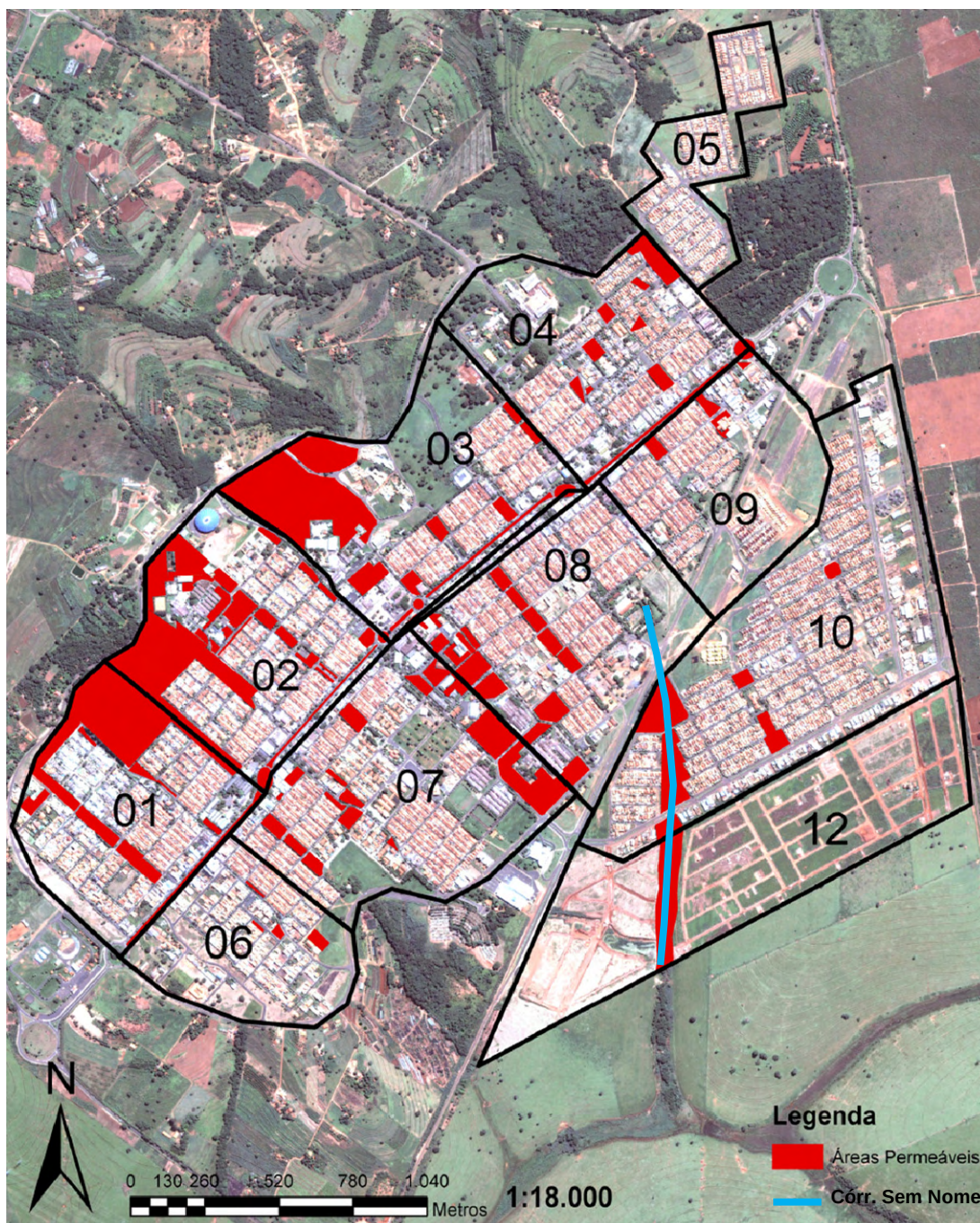


Figura 35 – Áreas de contribuição de Ilha Solteira – SP de acordo com o Plano Diretor.
(Modificado de Ilha Solteira, 2007)

Com base na rede de drenagem, pode-se identificar 11 lançamentos da micro na macrodrenagem e passando a considerar esses lançamentos da drenagem urbana no Córrego

Sem Nome foi possível traçar os limites de 11 áreas de contribuição. Para diferir estas 11 áreas de contribuição das 12 do Plano Diretor, elas serão nomeadas com letras de A até K.

A Figura 37 apresenta uma linha do tempo na qual é possível observar como variaram os limites da sub-bacia do Córrego Sem Nome e conseqüentemente como variaram os limites das 11 áreas de contribuição.

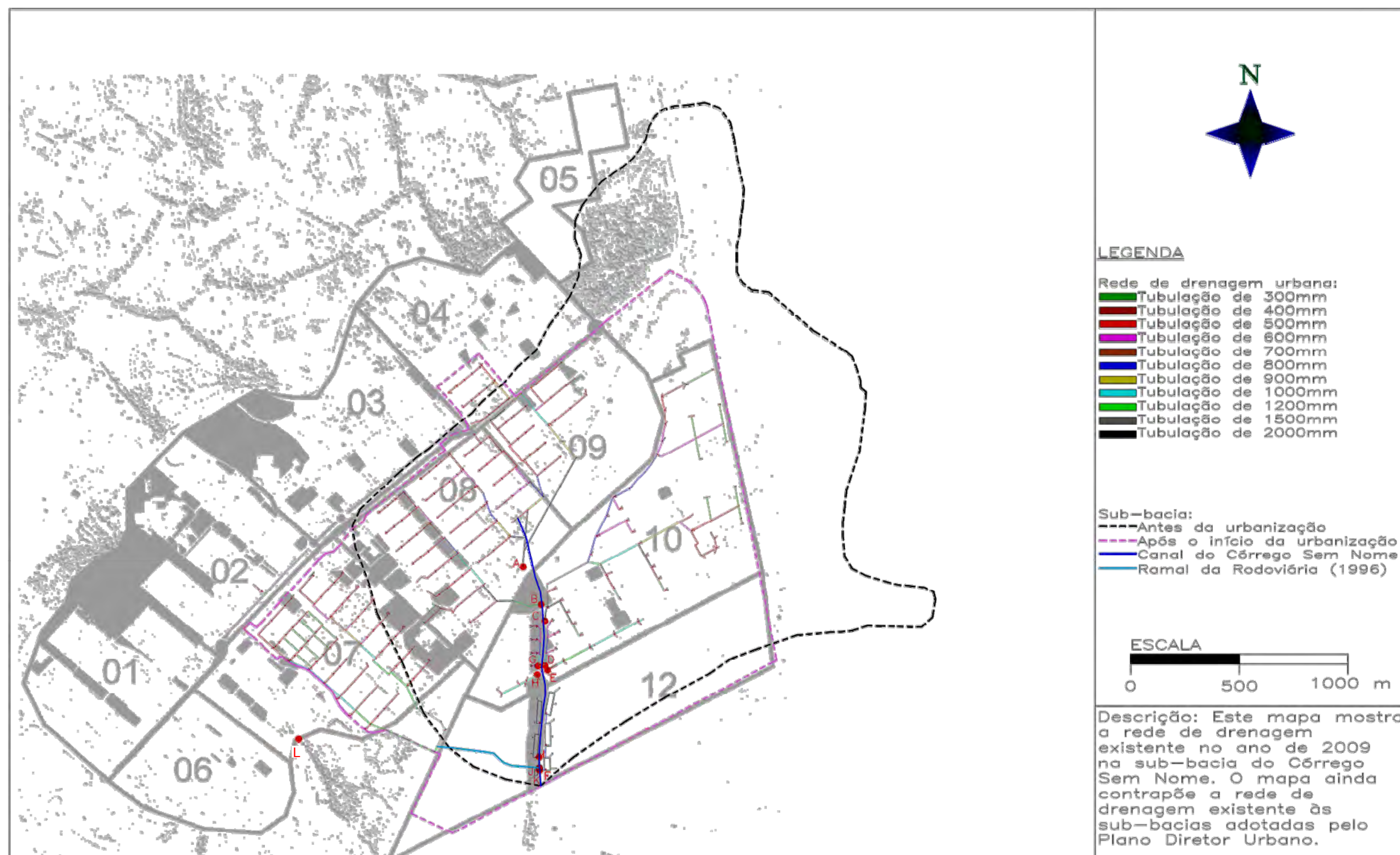


Figura 36 – Rede de drenagem urbana com pontos de lançamento da microdrenagem na macrodrenagem sobreposta às áreas de contribuição de 1 a 12 definidas pelo Plano Diretor de Ilha Solteira – SP.
(Modificado de Ilha Solteira, 2007)

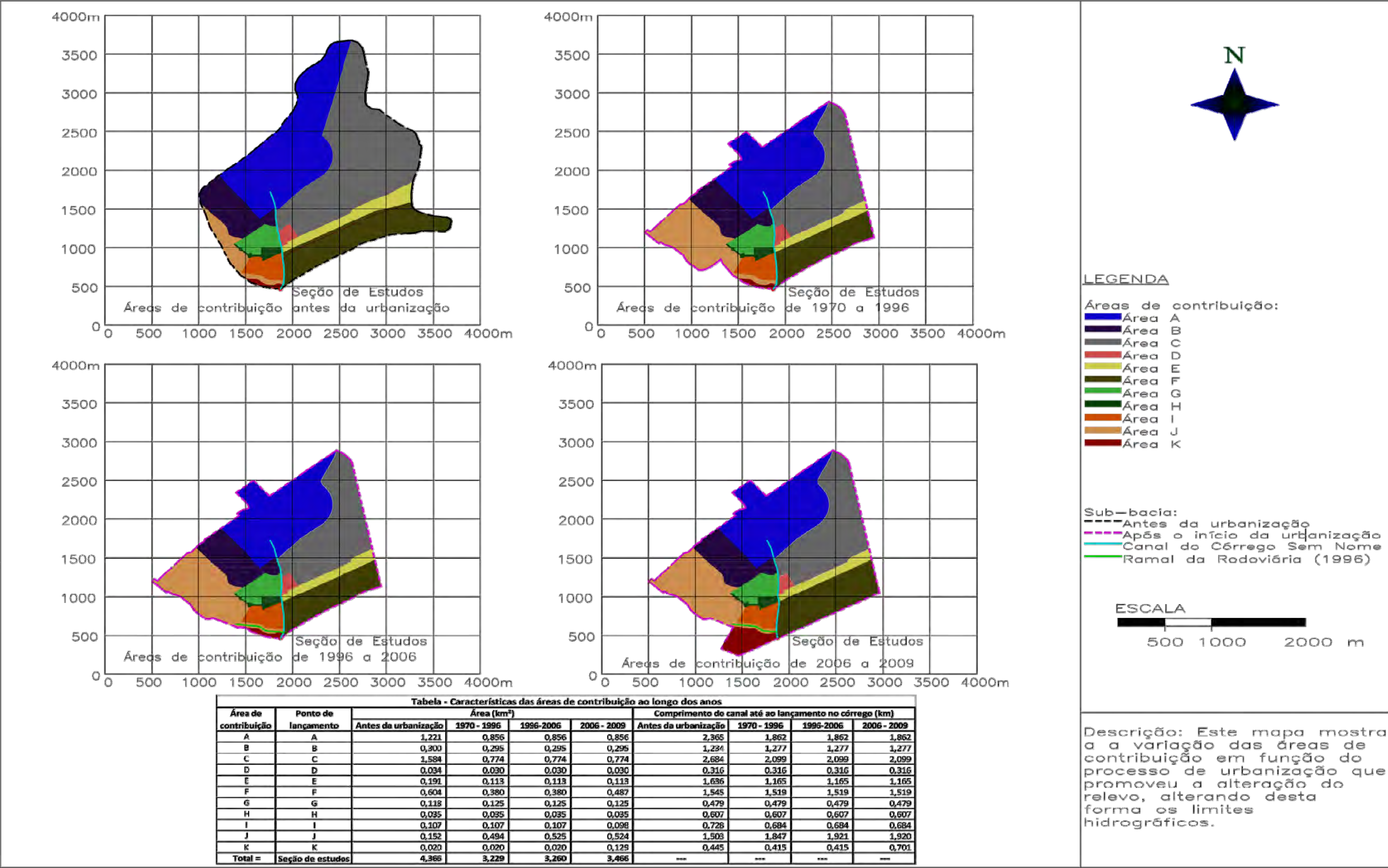


Figura 37 – Alterações promovidas pela urbanização nos limites das 11 áreas de contribuição definidas pela rede de drenagem ao longo dos anos.

Para orientar a caracterização hidráulica do canal principal da sub-bacia do Córrego Sem Nome será utilizada a Figura 38, na qual o canal é dividido em 4 trechos.



Figura 38 – Trechos do Córrego Sem Nome. (GOOGLE EARTH, 2006)

O esquema geral dos canais de drenagem das áreas de contribuição com as características hidráulicas e capacidade de vazão é apresentado pela Figura 39.

Trecho 1: Este trecho possui como ponto inicial a nascente do córrego e como ponto final a seção inicial do canal aberto do córrego, logo após o cruzamento com a Avenida Continental, totalizando 270,29m. O trecho inicialmente era um grande brejo revestido por gramíneas e permaneceu com esta cobertura até 1990 quando edificações foram construídas e o trecho passou a ser canalizado com tubos de diâmetro de 100 mm. Este trecho conduz apenas a vazão do olho d'água que forma o corpo hídrico. A declividade de 2,6% do terreno natural foi mantida durante a canalização;

Trecho 2: Este trecho inicia-se imediatamente após o Trecho 1 e tem como seção final a estrangulação que ocorre na Rua 7 de Setembro, totalizando 179,81m. As Figuras 40A e 40B ilustram em planta e o perfil longitudinal do trecho, discriminando as dimensões das seções iniciais e finais do trecho. Nas Figuras 40A e 40B é possível notar a estrangulação que ocorre na Rua 7 de Setembro, um ponto crítico do canal, pois faz com que a travessia da rua funcione como um barramento para o escoamento, fazendo com que ocorra o remanso quando a capacidade da canalização é superada. Ao longo da história, este trecho teve a cobertura de gramíneas substituída no ano de 2001 pelo canal ilustrado pela Figura 40C.

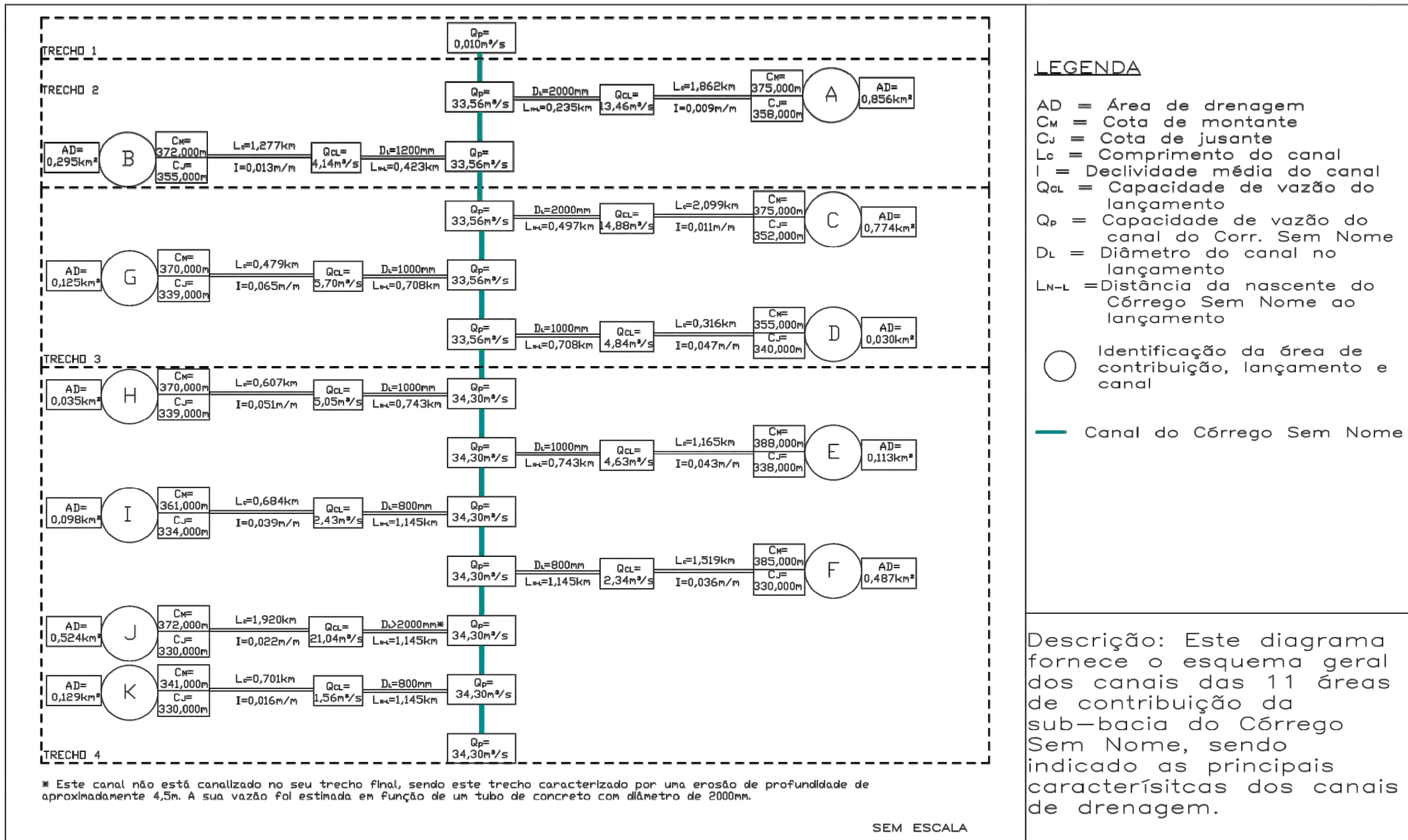


Figura 39 – Esquema geral dos canais das áreas de contribuição, características hidráulicas e capacidade de vazão.

A capacidade de vazão do trecho, de acordo com o projeto de canalização implantado pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, é de 33,56 m³/s para tempo de retorno de 50 anos, tempo de duração da chuva de 30 minutos e intensidade de 129 mm/min. Os lançamentos que ocorrem neste trecho são o A e o B;

Trecho 3: A jusante do Trecho 2 inicia-se o Trecho 3. Este trecho perfaz um comprimento de 295,13m, terminando na seção localizada no cruzamento com a Avenida 15 de Outubro. Este é o trecho menos problemático do Córrego em função de apresentar uma área de várzea bastante vasta e com cobertura vegetal bem densa. Essa área durante os eventos chuvoso recebe o escoamento excedente que não é golfado pelas bocas de lobo das áreas de contribuição do entorno que lançam seus escoamentos no ponto final do Trecho 3, pouco antes da travessia da Av. 15 de Outubro. O escoamento excedente lançado na várzea percorre até um vertedor localizado pouco antes da Avenida 15 de Outubro (ponto no qual estão localizados os lançamentos G e D). A Figura 41A mostra o deflúvio excedente escoando paralelamente ao canal principal do córrego. O Trecho 3 ainda recebe o lançamento C que fica a 50 metros após a travessia da rua 7 de Setembro. O histórico da modificação das superfícies que revestiam o Trecho 3 é semelhante ao do Trecho 2, ou seja, até 2001 era coberto por gramíneas e sendo a partir de 2001 que o trecho recebeu a infra-estrutura mostrada pelas Figuras 41A, 41B e 41C. A capacidade de vazão do trecho é a mesma do Trecho 2, ou seja, capacidade de 33,56 m³/s, tempo de retorno de 50 anos, tempo de duração da chuva de 30 minutos e intensidade de 129 mm/min. Os lançamentos que ocorrem no Trecho 3 e que poderiam implicar em um aumento na capacidade de vazão do canal ocorrem apenas no ponto final deste trecho, ou seja, no início do Trecho 4;

Trecho 4: Este é o trecho crítico do Córrego Sem Nome, pois não apresenta canal definido devido às erosões que existem ao longo dos seus 536,45m (ver Figura 42A). O Trecho 4 inicia-se na seção da Avenida 15 de Outubro, terminando na seção definida pela linha limítrofe da mancha urbana. Inicialmente este trecho era coberto por gramíneas, entretanto, desde 1996 os processos erosivos têm sido a principal característica.

O Trecho 4 também seria canalizado, mas o projeto não foi implantado. A seção proposta está apresentada pela Figura 42B. A capacidade de vazão desta seção é de 34,40 m³/s para tempo de retorno de 50 anos, tempo de duração da chuva de 30 minutos e intensidade de 129 mm/min.

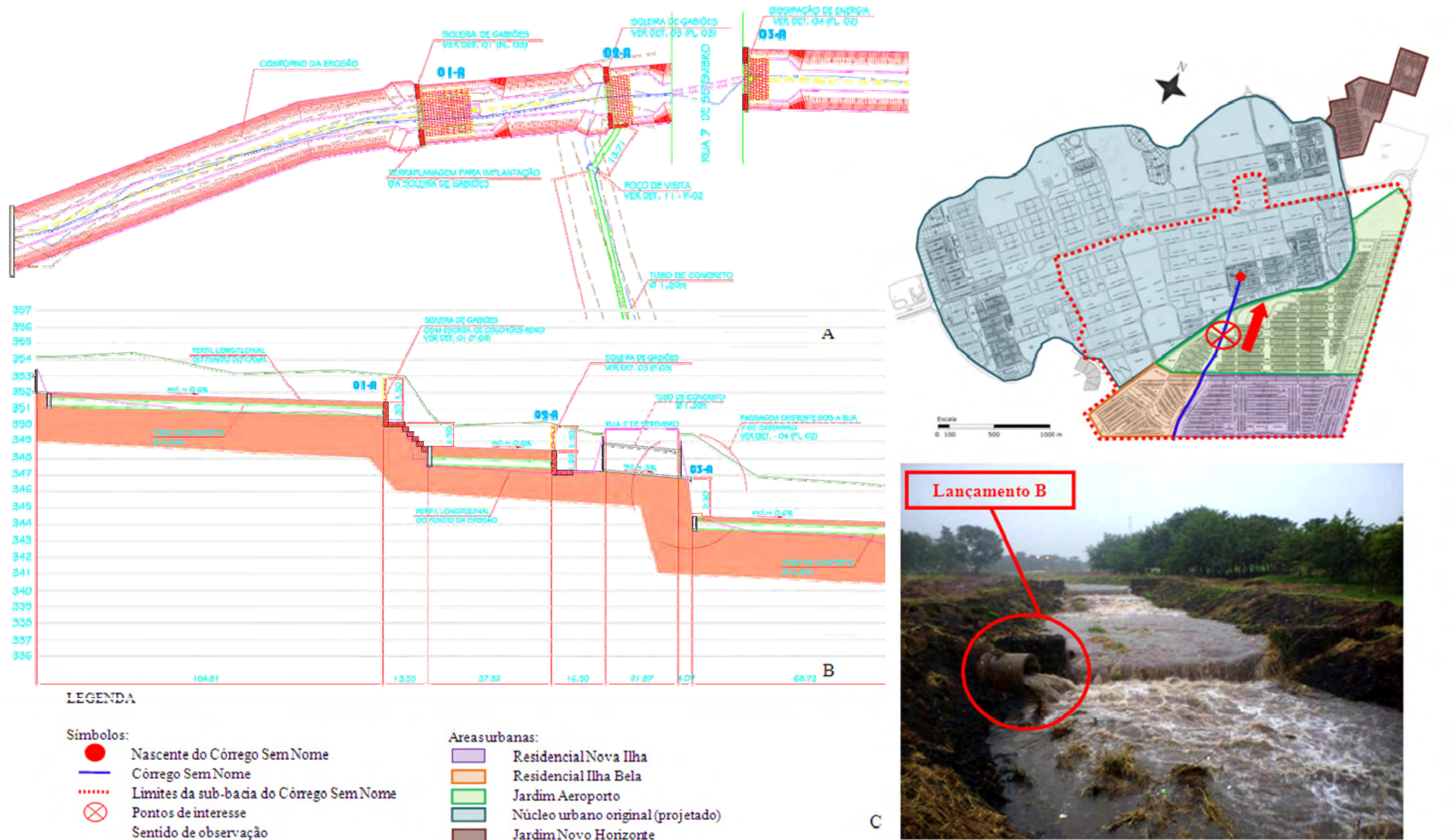


Figura 40 – Trecho 2 em planta (A), em perfil (B) e foto (C) (Fonte: (A) e (B) Ilha Solteira (2007) e (C) arquivo pessoal Thiago Santim, 16/05/2008)

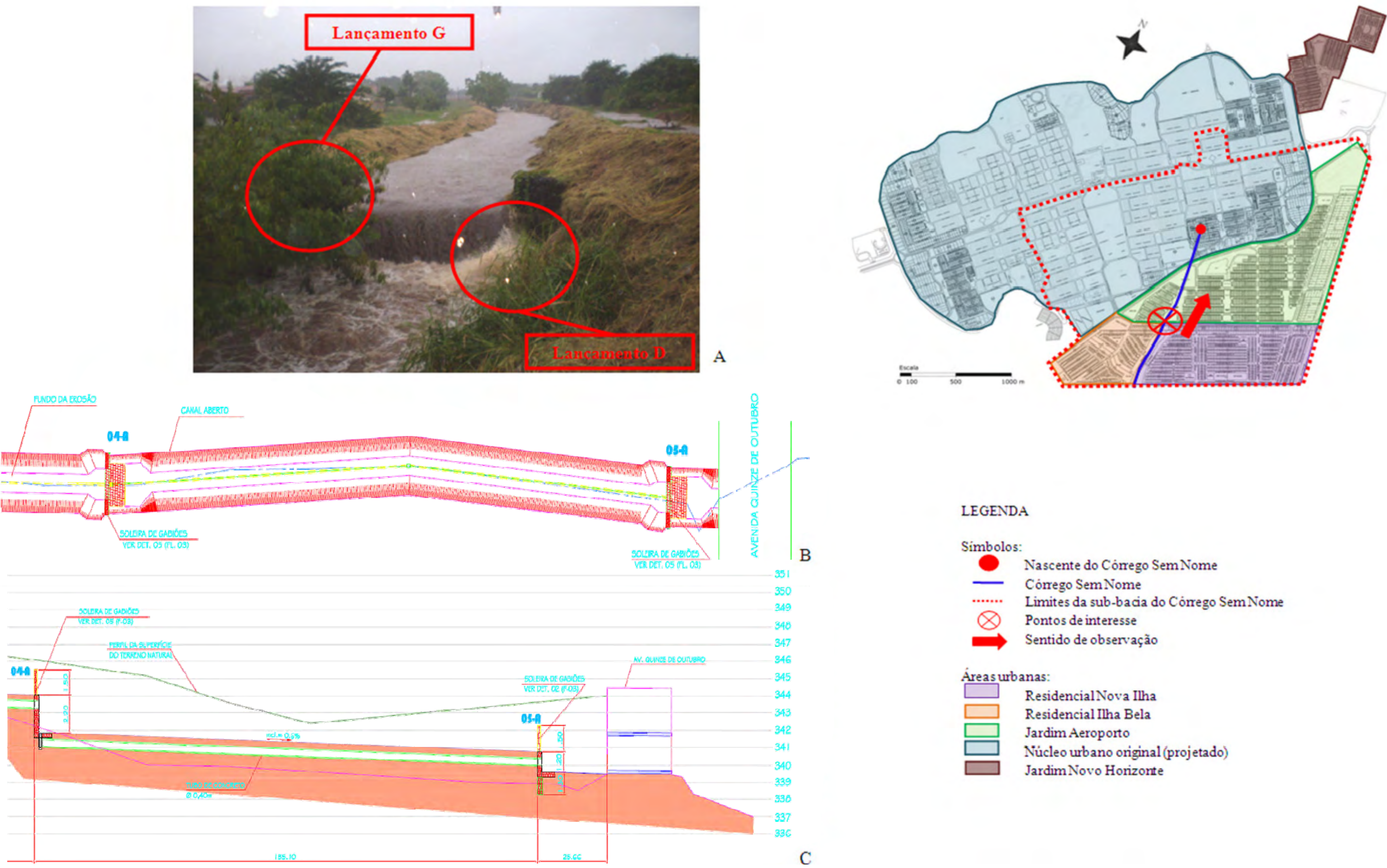


Figura 41 – Foto do Trecho 3(A), perfil do Trecho 3 (B) e planta (C) (Fonte: (A) arquivo pessoal Thiago Santim, 16/05/2008; (B) e (C) Ilha Solteira, 2007)

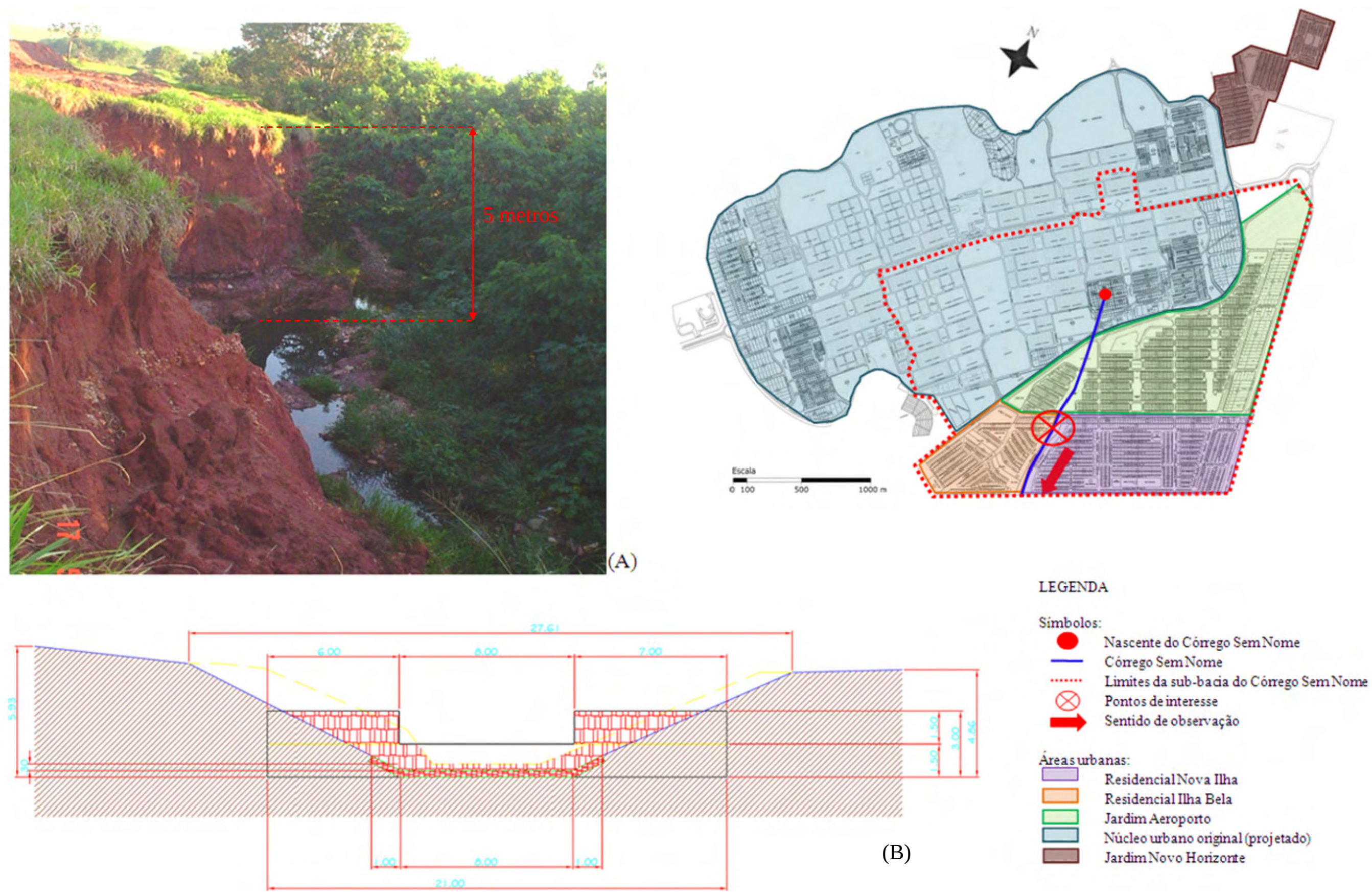


Figura 42 – Trecho 4 detalhe da erosão (A) e seção proposta no projeto de canalização não implantado (B) (Fonte: (A) arquivo pessoal Thiago Santim, 16/05/2008 e (B) Ilha Solteira, 2007)

Os lançamentos que ocorrem ao longo do Trecho 4 são: E, F, H, I, J e K. Os lançamentos E e F dizem respeito à áreas do Jd. Aeroporto enquanto que os lançamentos H, I, J e K, que são feitos no ponto final do Trecho 4, são responsáveis pelo escoamento dos novos loteamentos: residencial Nova Ilha e residencial Ilha Bela.

4 MATERIAIS E MÉTODO

A seguir, serão listados e descritos os materiais e programas de computador utilizados para a aplicação do método proposto neste trabalho.

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho tiveram por objetivo a determinação dos coeficientes, variáveis e parâmetros utilizados pelo método de Horton, balanço de massas (método racional) e de dimensionamento hidráulico para determinar a infiltração, a vazão e as dimensões dos condutos, bem como das obras de dissipação de energia, respectivamente. Assim fez-se uso dos seguintes documentos cartográficos:

- Plano Diretor Municipal de Ilha Solteira – SP aprovado pela Lei nº 151, de 01 de julho de 2008: para obter informações sobre as características urbanas atuais, tendências de expansão, ações para conter processos erosivos e características do sistema de drenagem atual, que pouco difere do construído em 1970, também foram utilizadas do Plano diretor de Ilha Solteira as cartas temáticas sobre tipo de solo, geologia e relevo: para a obtenção da porosidade do solo e vertentes da área urbana;
- Projeto da rede de drenagem urbana de Ilha Solteira, fornecido pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira – SP;
- Projeto inicial do núcleo habitacional de Mange e Kato (1963): para conhecimento do cenário urbano inicial;
- Relatórios de atividades da administração de Ilha Solteira da CESP e da AEIS dos anos de 1969, 1970, 1974 e 1975;
- Planilhas cadastrais de uso e ocupação da terra de Santim (2007) e Santim e Oliveira (2007);
- Cartas temáticas sobre tipo de solo, geologia e relevo: para a obtenção da porosidade do solo e vertentes da área urbana, cartas extraídas de Porto (2001);

- Para o relevo original da sub-bacia, até o ano de 1966, foi utilizada a carta topográfica do Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, datada de 1965 na escala de 1:50.000, Folha SF.22-C-II-3;
- Plantas das residências: para conhecimento das áreas ocupadas por telhados, concreto e jardins obtidas por meio dos planos de Mange e Kato (1963) e do Plano Diretor de Ilha Solteira do ano de 2007;
- Projeto de canalização do Córrego Sem Nome do ano de 2001, fornecido pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira – SP, por meio do Departamento de Habitação, Saneamento e Urbanismo.
- Imagens de satélite do *Google Earth* utilizadas no *ArcMap 9.2*: com o intuito de se obter informações de áreas não abrangidas por Santim (2007) e Santim e Oliveira (2007) e das residências cujas plantas não estava acessíveis;
- Manual do DAEE com as equações de chuvas intensas para o Estado de São Paulo;
- Manual de cálculos das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo para determinar as vazões do Córrego Sem Nome antes e após a urbanização;
- Manual do DNIT para projetos e execução de obras de dissipação de energia para drenagem urbana superficial;
- Dados da rede hidrometeorológicos da UNESP para a região de Ilha Solteira – SP (UNESP, 2009) e do Sistema de Informações para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2009): para obter as características da hidrologia da região do Córrego Sem Nome.

Assim, para a análise destes materiais e processamento das informações como pretendidas foi feito uso dos *softwares AutoCAD 2004, ArcMap 9.2, planilhas do Excel 2003* e algoritmos em *VBA*.

4.2 MÉTODO

O método utilizado neste trabalho consiste na integração das informações disponibilizadas pelo Plano Diretor Urbano de Ilha Solteira – SP com as planilhas de cadastro técnico do uso e ocupação da terra urbana disponibilizadas por Santim (2007), que neste trabalho foram organizadas em forma de plantas agrupadas no ArcMap em períodos, configurando um banco de dados sobre o uso e ocupação da terra ao longo dos anos.

Esse banco de dados descritivo dos parâmetros urbanos ao longo dos anos possibilitou a realização das simulações sobre a influência da urbanização no escoamento superficial.

A Figura 43 esquematiza as atividades desenvolvidas e informa qual a sucessão adotada para a construção do banco de dados no SIG e configurações das planilhas.

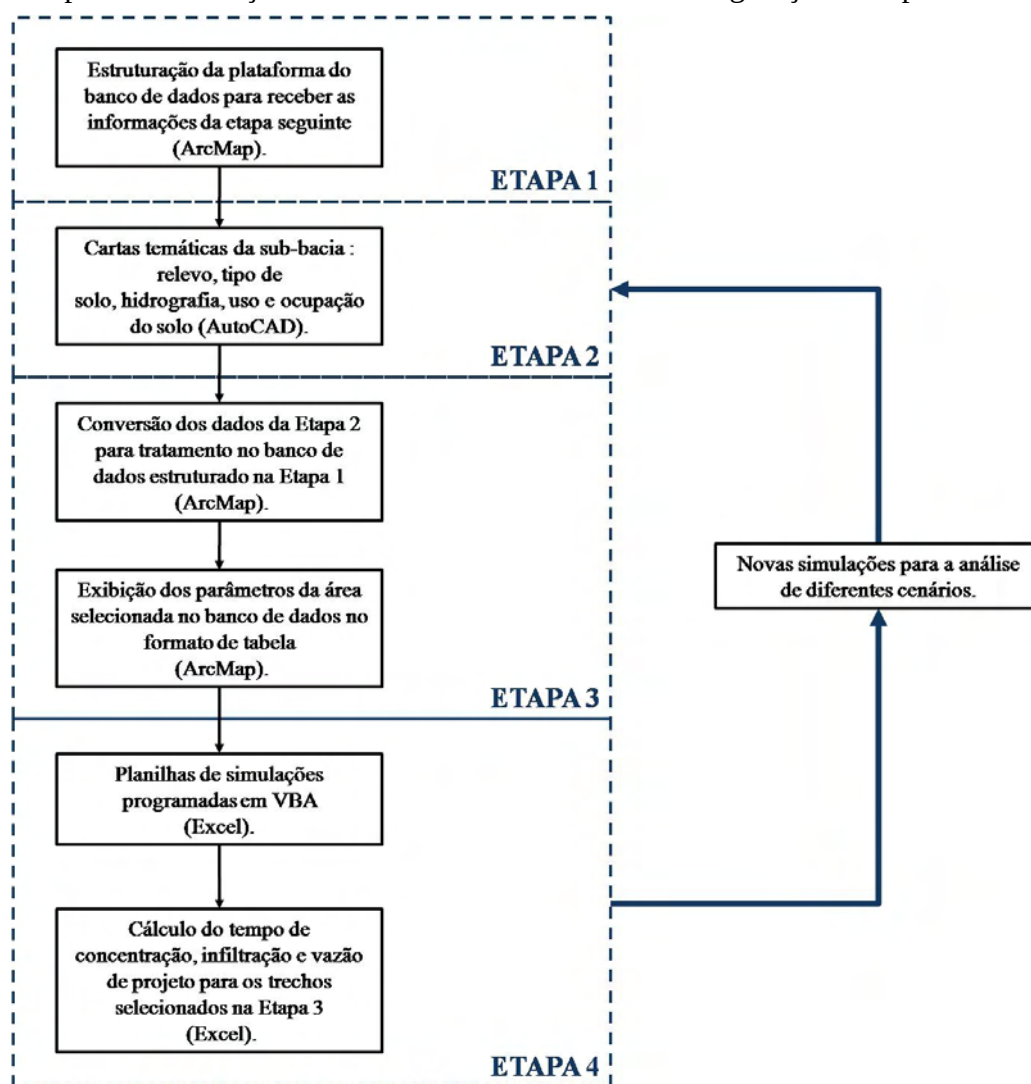


Figura 43 – Fluxograma do método

Etapa 1

A primeira etapa consistiu na definição da organização dos *layers* para agrupar as informações em função dos cenários e dos períodos a serem analisados. Assim, foram criados 6 *layers* para representar a sub-bacia antes do início do processo de urbanização e nos anos de 1970, 1980, 1990, 1996 e 2006.

A divisão dos tipos de ocupação da terra em função dos anos de análise, também foi motivada em vista de haverem variações de um ano para outro em parâmetros da sub-bacia, como por exemplo: o relevo.

Os parâmetros de uso e ocupação da terra foram divididos em dois grandes grupos, sendo o primeiro chamado de sistema viário, no qual foram tratadas as áreas ocupadas por calçadas, guias, praças, calçadas, ruas, vielas, alamedas, avenidas, rodovias e o aeroporto.

O segundo grupo é chamado de lotes e pertencem a ele as áreas não destinadas ao tráfego de pessoas e/ou veículos, ou seja, neste grupo estão as áreas destinadas ao uso habitacional, comercial, industrial, educacional, recreação/lazer e as áreas verdes.

Cada um dos dois grandes grupos é subdividido conforme a ocupação da terra.

Na etapa seguinte serão elencadas as cartas temáticas utilizadas para parametrizar a sub-bacia e sua variação ao longo dos anos de análise.

Etapa 2

Trata-se da etapa do método que mais demandou tempo devido à análise das informações disponíveis, definição das áreas de contribuição que compõe a sub-bacia do Córrego Sem Nome, bem como das áreas das áreas de contribuição que a compõe.

A divisão da sub-bacia do Córrego Sem Nome em áreas de contribuição tomou como base o ano de 2006, pois foi neste ano em que toda a sub-bacia estava com a rede de drenagem urbana implantada.

Nesta etapa, basicamente, efetuou-se a organização das informações, para que elas pudessem ser convertidas na Etapa 3 em arquivos do *ArcMap* e então agrupadas nos *layers* definidos na Etapa 1.

No final desta etapa, as cartas elaboradas para serem convertidas na Etapa 3 estão listadas na Tabela 11, onde também é citada a fonte de cada uma das informações utilizadas:

Tabela 11 – Cartas confeccionadas no AutoCAD

Carta confeccionada	Fonte do arquivo original
Relevo da condição rural até 1970	Instituto Geográfico de São Paulo (1965)
Relevo de 1970 até 1996	Estudos do projeto inicial de Ilha Solteira (1963)
Relevo de 1996 até 2006	Porto (2001)
Relevo de 2006 até 2009	Plano Diretor de Ilha Solteira (2008)
Uso e ocupação da terra da condição rural até 1970	Estudos do projeto inicial de Ilha Solteira (1963) e relatório de atividades da administração de Ilha Solteira de 1969
Uso e ocupação da terra de 1970 até 1980	Especificações do projeto de Ilha Solteira (1963) e relatório de atividades da administração de Ilha Solteira de 1970 da CESP
Uso e ocupação da terra de 1980 até 1990	Especificações do projeto de Ilha Solteira (1963) e relatórios de atividades da administração de Ilha Solteira de 1974 e 1975 da CESP
Uso e ocupação da terra de 1990 até 1996	Plano Diretor de Ilha Solteira (2008) e planilhas de cadastro técnico de Santim (2007)
Uso e ocupação da terra de 1996 até 2006	
Uso e ocupação da terra de 2006 até 2009	Plano Diretor de Ilha Solteira (2007), planilhas de cadastro técnico de Santim (2007) e imagens de satélite do <i>Google Earth</i>
Tipo de solo da condição rural até 2009	Plano Diretor de Ilha Solteira (2007) e Porto (2001)
Hidrografia da condição rural até 1970	Plano Diretor de Ilha Solteira (2007) e Porto (2001)
Hidrografia de 1970 até 1996	
Hidrografia de 1996 até 2006	
Hidrografia de 2006 até 2009	
Rede de drenagem da condição rural até 1970	Projeto fornecido pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007)
Rede de drenagem de 1970 até 1980	
Rede de drenagem de 1980 até 1990	
Rede de drenagem de 1990 até 1996	
Rede de drenagem de 1996 até 2006	
Rede de drenagem de 2006 até 2009	

Devido às modificações ao longo dos anos nos parâmetros da sub-bacia, foram utilizadas 3 cartas de relevo para caracterização da topografia: uma para o período até 1970, outra para o período entre 1970 e 1996 e a terceira para o período entre 1996 e 2009.

Quanto ao uso e ocupação da terra foram utilizadas 6 cartas, sendo uma para a sub-bacia antes da urbanização e outras 5 para sub-bacia já ocupada pela cidade no anos de 1970, 1980, 1990, 1996 e 2009.

Os talwegues das áreas de contribuição foram traçados nas cartas de uso e ocupação da terra devido à importância da cobertura para o uso do método da onda cinemática.

Ainda foram utilizadas as cartas do tipo de solo, rede de drenagem urbana e hidrografia, sendo utilizada apenas uma carta com o tipo de solo.

Foram utilizadas 4 cartas com a hidrografia em função das alterações no traçado do Córrego Sem Nome ocasionadas pelas modificações no relevo da sub-bacia, quanto a rede de drenagem, foram utilizadas 6 cartas, sendo cada uma correspondente a uma carta de uso e ocupação da terra.

Etapa 3

Nesta etapa as atividades que mais demandaram tempo estiveram vinculadas à adequação das plantas do núcleo urbano, visto que originalmente estavam em arquivos para o *AutoCAD* (*.dwg) e, portanto tiveram que ser adequadas para serem convertidas para arquivos do *ArcMap* (*.shp).

As adequações consistiram no fechamento de polígonos, transformações em entidades que eram do tipo *line* para *polylines* e no georreferenciamento das cartas, pois devido à multiplicidade das origens cada conjunto de informações estava referenciado a um ponto diferente.

Weng (2001) ressaltou a elevada demanda de tempo para adequar mapas da plataforma *AutoCAD* para a do *software* de processamento das informações.

Entretanto, o mesmo autor ainda justificou o esforço como a abertura de uma gama muito grande de potencialidades de trabalhos com as informações inseridas no banco de dados.

A conversão das informações foi feita por meio do módulo funcional *ArcCatalog*, neste módulo, ainda foi possível programar a forma de exibição dos dados de uso e ocupação da terra no formato de tabela indicando as áreas ocupadas pelos diferentes tipos de coberturas da terra para as áreas de contribuição selecionadas no período escolhido.

A tabela resultante caracteriza a área de contribuição selecionada conforme as necessidades de cálculo da infiltração, tempo de concentração e do volume escoado superficialmente.

Portanto a tabela exibida pelo *ArcMap* fornece: a área de drenagem de cada tipo de ocupação, o comprimento do talvegue da área de contribuição dividido conforme o tipo de cobertura e a sua cota de montante e cota de jusante. Também é fornecido o tipo de solo para definição do parâmetro para a aplicação de Horton relativo às áreas permeáveis.

Todas estas informações no formato de tabela foram copiadas e inseridas em uma planilha do *Excel 2003* que foi programada e estruturada previamente para receber os dados e aplicar os valores dos coeficientes de Manning, coeficientes de *runoff*, ambos atribuídos devido ao uso e ocupação da terra.

E assim, tornar possível calcular as vazões de pico sintéticas, com base nos dados de uso e ocupação da terra e parâmetros fisiográficos da área de estudos ao longo dos anos.

A Etapa 4 descreve como se deu a concepção das planilhas de cálculo programadas.

Etapa 4

Nesta última etapa, as planilhas de simulações foram estruturadas no *Excel 2003* com o intuito de tratar dos dados extraídos do banco de dados do *ArcMap 9.2*. O conjunto das planilhas de simulações é formado por 6 planilhas conforme explicado a seguir:

- Planilha das características das áreas de contribuição: nesta planilha estão tabulados os dados gerais de cada uma das 11 áreas de contribuição que compõem a sub-bacia do Córrego Sem Nome. As informações desta planilha dizem respeito às áreas e aos comprimentos dos talvegues em cada um dos anos analisados;
- Planilha de uso e ocupação da terra: trata-se da planilha tida como o resultado do banco de dados estruturado no *ArcMap 9.2*, demonstrando como variou o uso e a ocupação da terra nas áreas de contribuição ao longo dos anos analisados;
- Planilhas de parâmetros da sub-bacia: planilha na qual constam as entradas gerais, como os coeficientes de escoamento superficial, coeficientes para a fórmula de Horton, coeficientes de rugosidade para o cálculo dos tempos de concentração e período de retorno adotado para a determinação da intensidade da chuva de projeto;
- Planilha de fórmulas: trata-se do formulário, onde estão indicadas todas as fórmulas utilizadas, unidades de medidas e explicação de cada uma das variáveis;
- Planilha de resultados: Planilha onde são tabulados os resultados em forma de tabela que irão fornecer as informações necessárias para a construção dos hidrogramas de cheia, curvas de infiltração e tempos de concentração de cada uma das áreas de contribuição em cada um dos anos analisados. O produto final desta planilha é o hidrograma total da sub-bacia do Córrego Sem Nome;
- Planilha de gráficos: Planilha na qual constam os hidrogramas de cheias construídos com base nos valores tabulados na planilha de resultados. Nesta planilha encontram-se tanto os gráficos por área de contribuição em cada ano da análise quanto o gráfico da sub-bacia total do Córrego Sem Nome, também para cada ano de análise.

4.2.1 Arcabouço Computacional

Neste capítulo serão descritos os métodos programados nas planilhas para o cálculo das vazões.

Todo o método desenvolvido ateve-se à premissa de que até 2009 os dados de vazão provenientes da sub-bacia do Córrego Sem Nome eram inexistentes, assim, a vazão foi obtida por meio da integração entre o método de Horton e o Método do Balanço de Massas (método racional) em simulações.

A fundamentação do método foi embasada em Weng (2001) que priorizou em seus estudos o uso de sensoriamento remoto e georreferenciamento para quantificar os parâmetros das bacias analisadas e no estudo de Walesh (1989) que avaliou a influência da urbanização ao longo dos anos por meio das vazões de pico observadas.

Assim sendo, este trabalho foi motivado por um estudo empírico, mas que por falta de redes de monitoramento buscou na confecção de um banco de dados uma forma de contornar a inexistência de informações históricas sobre vazões de pico do Córrego Sem Nome, tal como ocorre na maioria dos projetos para redes de drenagem (DAEE, 1994).

O uso de mapas dentro do ambiente do *ArcMap* permitiu uma melhor discretização do coeficiente de escoamento superficial e dos coeficientes da equação de Horton para as áreas permeáveis em decorrência da sua importância no amortecimento dos picos de cheias.

A Figura 44 elucida a concepção do banco de dados estruturado para este trabalho de uma forma simplificada.

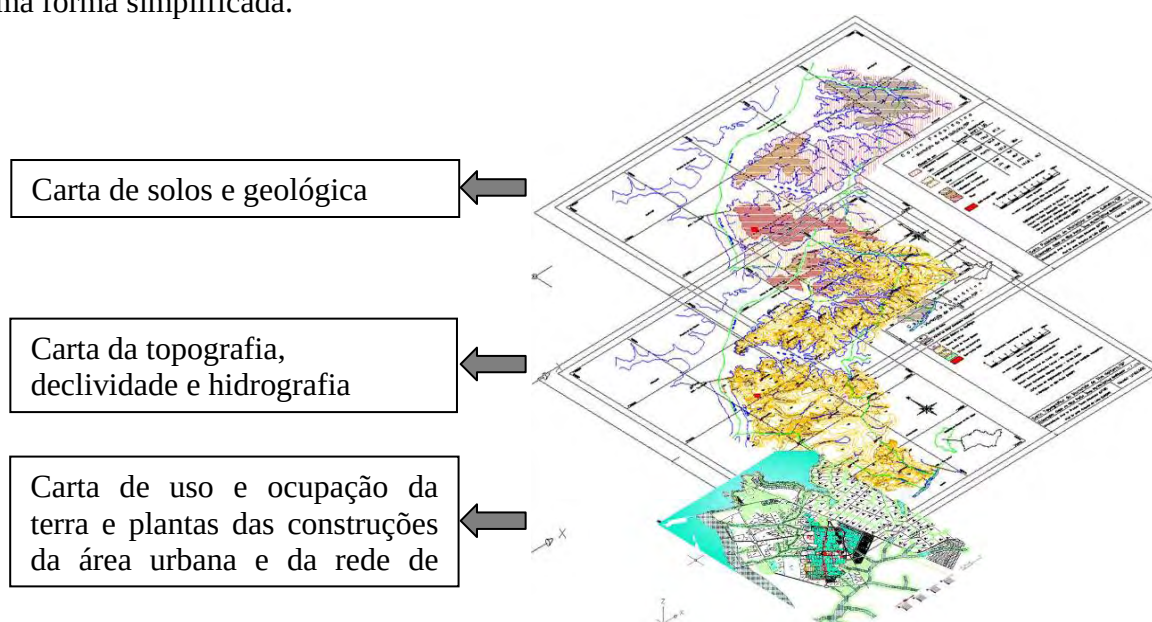


Figura 44 – Informações tratadas no SIG

Para o tratamento desse conjunto de mapas, cartas temáticas e plantas de residências agrupadas em um mesmo plano foram atribuídos *layers* para cada cenário a ser abordado pelo estudo.

Dentro do SIG estruturou-se a forma de como seriam obtidas as informações das características fisiográficas da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

Essa estruturação foi tomada como base para a programação das planilhas do *Excel*, visto que depois de obtidas pelo SIG as informações seriam inseridas nas planilhas do *Excel* que atribuiria para cada parâmetro obtido no SIG os coeficientes sugeridos pelas metodologias com base na literatura para o cálculo de vazões sintéticas.

Esse estudo mais acurado para a determinação do coeficiente de escoamento superficial e das variáveis para a equação de Horton para as áreas permeáveis visou o estabelecimento do comportamento das áreas que possibilitam a infiltração durante o evento de chuva.

O objetivo do tratamento destas informações no ambiente SIG foi para a estruturação de uma base de dados que descrevesse detalhadamente o uso e ocupação da terra, bem como as características físicas e geológicas da sub-bacia para então proceder-se o cálculo dos hidrogramas em planilhas pré-programadas para efetuar as operações matemáticas.

O método consistiu no cálculo do escoamento superficial nos pontos de lançamentos da microdrenagem com a macrodrenagem, ou seja, da rede de drenagem superficial no Canal do Córrego Sem Nome.

Este trabalho seguiu a articulação entre SIG, planilha de dados e modelo proposta por Shamsi (2005) e mostrada neste trabalho pela Figura 45.

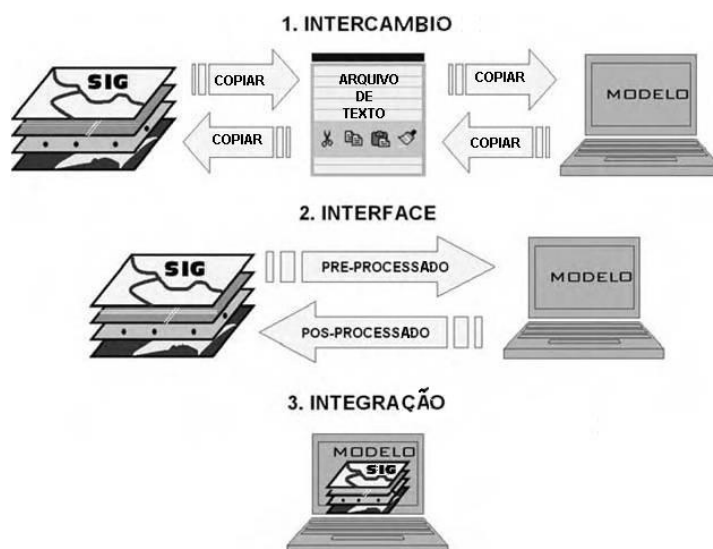


Figura 45 – Três métodos de aplicação de SIG na modelagem hidráulica e hidrológica. (Traduzido de Shamsi, 2005)

De acordo com a Figura 45, o modelo pode ser embasado em 3 métodos, o primeiro é o intercâmbio, o segundo a interface e o terceiro a integração.

No método do intercâmbio o usuário, por meio de comandos simples como o copiar/colar troca as informações entre o SIG e o modelo ou entre o modelo e o SIG.

Já no método da interface, o usuário estabelece uma programação que irá fazer o procedimento de troca de informações entre SIG e modelo ou entre o modelo e o SIG.

Por fim, o método da integração reúne o SIG e modelo em uma mesma estrutura, sem que o usuário vislumbre apenas o SIG ou o modelo, pois os dois estão dentro de um formato compatível e intrinsecamente ligados.

Este trabalho segue o primeiro método, pois trata da estruturação do banco de dados dentro do ambiente SIG e do modelo para cálculo das vazões da sub-bacia do Córrego Sem Nome, tendo como objetivo subsidiar pesquisas futuras para que o método evolua e reúna o SIG e o modelo em uma mesma estrutura: integração.

4.2.2 Métodos para determinação dos hidrogramas

Como já exposto, o método para o cálculo das vazões nas simulações foi uma junção entre o método de Horton para a quantificação da infiltração nas áreas permeáveis ($C \leq 0,35$) ao longo do tempo de chuva e o Método do Balanço de Massas ou racional para o cálculo da vazão gerada pelas áreas impermeabilizadas ($C > 0,35$).

Sabe-se que a infiltração pode ser determinada em campo por meio de infiltrômetros (VILLELA; MATTOS, 1975) ou por meio de métodos como a razão de infiltração variável e específica local, a razão constante de infiltração, balanço de massas ou o método do número de curva CN – SCS (CANHOLI, 2005).

Já a vazão pode ser medida por instrumentos eletrônicos, por meio de estruturas como os vertedores, calhas Parshall e molinetes (SANTOS et al., 2001).

Porém, conforme já informado, no município de Ilha Solteira – SP redes hidrométricas são inexistentes, desta forma partiu-se do princípio teórico sem o respaldo das informações práticas de campo, a não ser por aquelas informações que alimentaram o SIG.

O método racional é uma variação do balanço de massas quando se isola a fração Q_p/i da Equação 1 obtém-se o que Kuichling (1889) chamou de valor racional, terminologia que acarretou na denominação: Fórmula Racional, segundo expôs Canholi (2005).

Desta forma tem-se a Equação 1 que caracteriza o método racional:

$$Q_p = (C_{10} \cdot i \cdot A_d) / 3,60 \quad (1)$$

Em que:

Q_p – é a vazão de pico do escoamento superficial (m^3/s);

i – a precipitação de projeto (mm/h);

A_d – Área de drenagem (km^2);

C_{10} – Coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de *runoff* para período de retorno (TR) de 10 anos, conforme Tabela 12 (adimensional).

Tabela 12 – Coeficiente de escoamento superficial para TR = 10 anos

USO	OCUPAÇÃO	C_{10}
Sistema viário	Solo exposto (compactado)	0,66
	Solo exposto	0,30
	Piçarra	0,25
	Bloquetes	0,78
	Bloquetes assentados com concreto	0,90
	Asfalto	0,90
	Concreto	0,95
	Pavimento intertravado	0,60
Lotes	Área ocupada por telhados	0,90
	Área livre ocupada por concreto	0,85
	Área livre ocupada por bloquetes	0,78
	Área livre ocupada por piçarra	0,25
	Área livre ocupada por solo exposto	0,30
	Gramado, solo arenoso declividade de 2%	0,10
	Gramado, solo arenoso declividade de 2% a 7%	0,15
	Gramado, solo arenoso declividade superior a 7%	0,20
	Gramado, solo pesado declividade de 2%	0,17
	Gramado, solo pesado declividade de 2% a 7%	0,22
	Gramado, solo pesado declividade superior a 7%	0,35
	Árvores/Arbustos	0,25
	Pavimento intertravado	0,60

Fonte: Canholi (2005), Sabol et al. (2003), Tomaz (2002), e ABCP (2004).

A Tabela 12 fornece os valores do coeficiente de escoamento superficial com base em Sabol et al. (2003), Tomaz (2002) e ABCP (2004).

Segundo as análises propostas por Araújo et al. (2000) nas quais foram avaliados tipos de pavimentos e suas capacidades de infiltração, pode-se considerar como áreas permeáveis as coberturas de solo com C_{10} variando entre 0 e 0,35, sendo os valores superiores a 0,35 referentes às áreas com ocupações diferentes das naturais.

FCTH (1998 apud TOMAZ, 2002) ressaltou que o método racional pode ser aplicado com resultados bastante satisfatórios para as bacias de pequeno porte, ou seja: menores do que 3km² ou com tempo de concentração (t_c) inferior a 60 minutos.

O método racional possui as seguintes hipóteses de acordo com Wilken (1978), Tucci et al. (2001) e Tomaz (2002):

- i. Toda a bacia contribui com o escoamento superficial, portanto, o tempo de duração da chuva (t_{dc}) é maior ou igual ao tempo de concentração da bacia (t_c);
- ii. A chuva pode ser considerada uniformemente distribuída sobre a área de drenagem (A_d), daí notam-se os melhores resultados para bacias de pequeno porte;
- iii. Todas as perdas, sendo elas causadas pelo relevo e pela evapotranspiração, são incorporadas ao coeficiente de escoamento superficial.

O coeficiente de *runoff* é a relação entre a vazão de precipitação e a vazão que escoam superficialmente. Segundo Wilken (1978) o coeficiente C ideal é o resultado de um maior número de fenômenos considerados em sua determinação, pois, como afirmou Tomaz (2002), tal coeficiente depende da porosidade, cobertura superficial, grau de compactação, declividade, depressões onde a água pode ser acumulada e condições de saturação da terra.

Segundo Francis (1980) e Righetto (1998) a infiltração decresce com o tempo da chuva (t_{dc}), como pode ser confirmado ao plotar os valores da variável $f_{(t)}$ da Equação 2, conhecida como Equação de Horton que fornece uma relação exponencial entre a infiltração e o tempo de chuva (t_{dc}).

$$f_{(t)} = f_c + (f_o - f_c) \cdot e^{-k \cdot t} \quad (2)$$

Em que:

$f_{(t)}$ – é a infiltração em função do tempo (mm/h);

f_c – a infiltração final ou constante (mm/h);

f_o – a infiltração inicial (mm/h);

k – a constante de decaimento da infiltração (h⁻¹);

t – o tempo (h).

Os parâmetros f_c , f_o e k devem ser obtidos em campo, conforme exposto por Tomaz (2002), mas como já discutido anteriormente, não há dados sobre ensaios destes parâmetros na área de estudos, entretanto as informações utilizadas no SIG permitem que se possa lançar

mão das recomendações feitas por Porto (2006), Tucci e Genz (1995) e Barros (1995), elucidadas pela Tabela 13:

Tabela 13 – Estimativa de parâmetros da fórmula de Horton

Parâmetros da fórmula de Horton	Classificação hidrológica do solo segundo o <i>Soil Conservation Service</i> (SCS)			
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
f_o	250	200	130	80
f_c	25	13	7	3
k	2	2	2	2

Fonte: Porto (2006), Tucci e Genz (1995) e Barros (1995).

Por meio de Setzer e Porto (1979) o tipo de solo da sub-bacia foi determinado como sendo solo tipo ABq (Arenito Bauru), composto por 30% do grupo hidrológico A, 55% do grupo B, 10% do grupo C e 5% do grupo D.

O Item III do Anexo D fornece as informações necessárias para esta classificação.

Embasado na composição do solo, pôde-se chegar aos valores dos parâmetros da fórmula de Horton por meio de ponderação, sendo de 202 para o coeficiente f_o , 15,5 para o f_c e 2 para o k .

Com base na Equação 2 pode-se concluir que quanto maior o tempo de retorno (TR) do evento de chuva, maior será o coeficiente de escoamento superficial, conforme corroborou Canholi (2005, p. 88): “[...] o coeficiente C deve ser modificado, conforme a recorrência adotada para a chuva de projeto, em função das diferentes perdas relativas, por causa da abstração inicial em cada caso.”

Tomaz (2002) sugeriu que para utilizar coeficientes de *runoff* para eventos de precipitação com TR superior a 10 anos, deve-se utilizar a Equação 3.

$$C_{(TR)} = C_{10} \cdot 0,8 \cdot TR^{0,1} \quad (3)$$

Em que:

$C_{(TR)}$ - Coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de *runoff* para um período de retorno TR (adimensional);

TR – Tempo de retorno da precipitação de projeto (anos).

Em vista do comportamento exponencial da infiltração e com o objetivo de calcular as vazões de cada área de drenagem ($A_d = A_{dp} + A_{di}$) da sub-bacia, optou-se pelo uso da fórmula de Horton para as áreas permeáveis (A_{dp}) e o coeficiente de escoamento superficial utilizado apenas para as áreas impermeáveis (A_{di}).

Por fim, para se obter a vazão que efetivamente escoar superficialmente de cada lote ainda se tem que quantificar qual a lâmina de água equivalente ao processo de evapotranspiração. Desta forma a Equação 1 pode ser representada pela Equação 4:

$$Q_p = Q_{(C=1,00)} - Q_{\text{PERDAS}} \quad (4)$$

Em que:

$Q_{(C=1,00)}$ – Vazão gerada pela área de drenagem se ela fosse toda impermeável (m^3/s);
 Q_{PERDAS} – Vazão perdida por evapotranspiração, infiltração e devido ao armazenamento em depressões (m^3/s).

A vazão de perdas tratou apenas da variável infiltração, pois dados de armazenamento nas depressões da bacia são inexistentes e de difícil obtenção.

Assim, foi admitido que todo volume de água retido em depressões irá resultar em um incremento à infiltração.

A vazão que representaria a evapotranspiração na composição da vazão de perdas foi considerada nula, pois segundo Righetto (1998) durante o evento de chuva a evapotranspiração reduz a um nível de pouca significância para os cálculos de vazões máximas.

Sendo assim foram utilizadas as Equações 5 e 6 para a determinação dos hidrogramas, sendo a primeira relativa às áreas impermeáveis e a segunda às permeáveis.

$$Q_{Ip} = [(\sum A_{dm} \cdot C_{TRm}) \cdot i] / 3,60 \quad (5)$$

Em que:

Q_{Ip} – é a vazão de pico do escoamento superficial relativo às áreas impermeáveis (m^3/s);
 A_{dm} – Área de drenagem constituída pelas m superfícies impermeáveis (km^2);
 C_{TRm} – Coeficiente de escoamento superficial para uma determinada superfície impermeável m para período de retorno (TR) (adimensional);
 i – a precipitação de projeto (mm/h).

$$Q_{Pp, \text{ virtual}} = (\sum A_{dp} \cdot i) / 3,60 \quad (6)$$

Em que:

$Q_{Pp, \text{ virtual}}$ – é a vazão de pico do escoamento superficialmente relativo às áreas permeáveis, chamada de virtual pois ainda não considera os efeitos da infiltração (m^3/s).

A vazão real das áreas permeáveis ($Q_{pp,real}$) é obtida por meio da subtração entre as ordenadas do hidrograma triangular, cujo pico foi obtido pela Equação 6, e a curva de infiltração gerada pela fórmula de Horton, sendo ela expressa em m^3/s .

A Equação 5, assim como a Equação 6, forneceu apenas a vazão de pico para as áreas impermeáveis, entretanto, neste caso obtêm-se diretamente da equação a vazão real, pois se lançou mão do coeficiente de escoamento superficial.

Os hidrogramas triangulares gerados neste trabalho possuem base igual à soma entre o tempo de duração da chuva (t_{dc}) e o tempo de concentração da sub-bacia (t_c).

Assim, as ordenadas do hidrograma real da vazão gerada pelas áreas permeáveis somadas às ordenadas do hidrograma gerado pelas áreas impermeáveis de cada trecho resultaram no hidrograma total da sub-bacia cujo formato será curvilíneo pela consideração dos efeitos da infiltração. A Equação 7 simboliza o exposto:

$$Q_{(t)} = [(Q_{ip(t)} + Q_{pp,virtual(t)}) - (\sum A_{dp} \cdot f_{(t)})] / 3,60 \quad (7)$$

Em que

$Q_{(t)}$ – vazão para o instante t (m^3/s);

$Q_{ip(t)}$ – vazão relativa às áreas impermeáveis para o instante t (m^3/s);

$Q_{pp,virtual(t)}$ – vazão virtual relativa às áreas permeáveis para o instante t (m^3/s);

A_{dp} – Área de drenagem constituída pelas p superfícies permeáveis (km^2).

O tempo de concentração de cada trecho da sub-bacia foi determinado por meio da fórmula da onda cinemática representada pela Equação 8, pois este método leva em consideração as características da superfície de escoamento em função da rugosidade de Manning, obtidos pela Tabela 14, esta que avalia o escoamento em canais definidos, e pela Tabela 15 que avalia o escoamento em superfícies.

$$t_c = 447 \cdot (n \cdot L)^{0,6} \cdot S^{0,3} \cdot i^{-0,4} \quad (8)$$

Em que:

t_c – tempo de concentração da bacia (min);

n – rugosidade de Manning;

L – comprimento do talvegue (km);

S – declividade do talvegue (m/m);

i – intensidade da precipitação (mm/h).

Tabela 14 – Valores do coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning

Natureza das Paredes	Condições			
	Muito boas	Boas	Regulares	Más
Conduto de barro para drenagem	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Superfície de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Superfície de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra, retilíneos e uniformes	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais curvilíneos e lamosos	0,023	0,025*	0,028	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes	0,025	0,030	0,035*	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedrados	0,028	0,030	0,033	0,035
Arroios e rios				
(1) Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
(2) Como em (1), mas com vegetação e pedras	0,030	0,033	0,035	0,040
(3) Com meandros, bancos e poços pouco profundos, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
(4) Como em (3), águas baixas e declividade fraca	0,040	0,045	0,050	0,055
(5) Como em (3) com vegetação e pedras	0,033	0,035	0,040	0,045
(6) Como em (4) com pedras	0,045	0,050	0,055	0,060
(7) Com margens espraçadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
(8) Com margens espraçadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150
Canais de terra com vegetação normal, fundo com cascalhos ou irregular por causa de erosões; revestidos com pedregulhos e vegetação	---	---	0,030	---
*Valores aconselhados para projetos				

Fonte: Modificado de Porto (2006).

A intensidade da chuva de projeto foi obtida por meio da Equação 9 que segundo DAEE (1999) representa a equação de chuvas intensas para a cidade de Andradina – SP, localizada a 77 km da área de estudos.

$$i_{t,TR} = 34,5743 \cdot (t_{dc} + 20)^{-0,8809} + 2,6906 \cdot (t_{dc} + 10)^{-0,6683} \cdot [- 0,4766 - 0,8977 \ln \ln (TR / TR - 1)] \quad (9)$$

Em que:

$i_{t,T}$ – intensidade da chuva, correspondente à duração t_{dc} e tempo de retorno T (mm/min);

t_{dc} – duração da chuva (min);

TR – período de retorno (anos).

Tabela 15 – Coeficientes “n” de Manning para vazões sobre o solo

Material do solo	Valores recomendados	Faixa de valores
Concreto	0,011	0,01 a 0,013
Asfalto	0,012	0,01 a 0,015
Areia exposta	0,010	0,010 a 0,016
Solo pedregulhoso	0,012	0,012 a 0,030
Solo argiloso descoberto	0,012	0,012 a 0,033
Terreno sem cultura	0,050	0,006 a 0,160
Terra arada	0,060	0,020 a 0,100
Pastagens naturais	0,130	0,010 a 0,320
Pastagens cortadas	0,080	0,020 a 0,240
Grama	0,450	0,390 a 0,630
Grama curta	0,150	0,100 a 0,200
Grama densa	0,240	0,170 a 0,300
Grama bermuda	0,410	0,170 a 0,300
Florestas	0,450	---

Fonte: Tomaz (2002).

Por fim, foi elaborado o programa LH²-01 com o intuito de facilitar a busca de informações no banco de dados, as simulações e os cálculos de vazão.

O programa LH²-01 foi o primeiro passo na busca da integração do SIG com as planilhas de cálculo. No Anexo C é mostrada a sequência de procedimentos para uso do programa LH²-01 no qual estão as planilhas programas para os cálculos de tempos de concentração, infiltração e vazões.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho estão divididos em duas partes, sendo uma referente aos resultados do banco de dados e a outra aos resultados do Programa LH²-01, os hidrogramas.

Para os resultados do banco de dados têm-se as planilhas de uso e ocupação da terra. Por meio delas é possível analisar como ocorreram as alterações na cobertura da terra, bem como as modificações nos limites da sub-bacia do Córrego Sem Nome. Outro resultado obtido por meio do banco de dados foram as características do revestimento do canal de cada uma das áreas de contribuição, parâmetros necessários para o cálculo dos tempos de concentração. A segunda parte dos resultados trata dos hidrogramas de cada uma das 11 áreas de contribuição que compõem a sub-bacia do Córrego Sem Nome.

5.1 RESULTADOS DO BANCO DE DADOS

Nesta etapa do trabalho encontram-se as tabelas nas quais são caracterizadas as 11 áreas de contribuição quanto às características de uso e ocupação da terra.

Essas tabelas serão importantes para o cálculo do tempo de concentração e para embasar a discussão dos resultados dos hidrogramas e a proposta de soluções.

Área de contribuição A:

Após o início do processo de urbanização em 1970, a área de contribuição A passou a ter a maior parcela da Sub-bacia do Córrego Sem Nome.

A Tabela 16 caracteriza a área de contribuição e por meio dela nota-se que desde 1970 existe a presença da mancha urbana.

Os limites desta área de contribuição variaram apenas no ano de 1970, quando a área de contribuição, até então rural, recebeu os primeiros equipamentos urbanos fazendo com que o sistema viário delineasse uma nova conformação para ela. Este novo traçado não sofreu alterações, permanecendo até 2009.

Portanto, as mudanças ocorridas nesta região foram caracterizadas como endógenas, pois se tratou de alterações no tipo de cobertura da terra sem que os limites fossem alterados.

A principal característica da consolidação da urbanização foi a substituição das coberturas mais permeáveis por coberturas menos permeáveis, tais alterações ocorreram principalmente nas áreas livres dos lotes residenciais.

Os imóveis apresentam as áreas livres quase em sua totalidade cimentada ou coberta pelo prolongamento do telhado na busca de um conforto maior.

Comportamento semelhante ao descrito anteriormente também será notado em todas as outras áreas de contribuição em que a interferência urbana tenha se iniciado em 1970.

Os imóveis previstos no projeto inicial de Ilha Solteira possuíam áreas livres ocupadas por grama, piçarra, solo exposto e blocos assentados sem concreto, sendo o uso do calçamento por concreto muito pouco freqüente.

Área de contribuição B:

A evolução da mancha urbana nesta área de contribuição não apresentou modificações desde o seu aparecimento em 1970, tal como a área de contribuição A e conforme exposto pela Tabela 17.

Essa área de contribuição tinha em sua área até o ano de 2006 imóveis, cujos projetos eram previstos no projeto original de Ilha Solteira, havendo poucas exceções, assim sendo, as principais fontes de alterações nas vazões de pico, como ocorrido nos imóveis da área de contribuição A, foram as alterações no *layout* da cobertura dos lotes, principalmente das áreas livres e do sistema viário

Uma peculiaridade desta área de contribuição, também encontrada na área de contribuição J é a existência das residências de madeira no histórico de ocupação da superfície da terra.

Estas residências, conforme exposto no histórico de uso e ocupação da terra da sub-bacia do Córrego Sem Nome, começaram a ser demolidas em 1990, fazendo com que áreas livres com solo exposto fossem disponibilizadas novamente no núcleo urbano principal.

Uma nova ocupação considerável destas áreas passou a ocorrer em meados de 2005, intensificando-se após 2006 com a edificação de prédios de até 5 pavimentos e área livre praticamente 100% cimentada com o objetivo de servir como estacionamento para os veículos dos moradores.

Tabela 17 – Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição B

SUB-BACIA B - Áreas ocupadas

[illegible][illegible]

Área de contribuição C:

Trata-se da maior área de contribuição formadora da sub-bacia do Córrego Sem Nome na sua fase rural. Esta área de contribuição perdeu grande parte da sua área com a implantação de rodovias que redefiniram o relevo estabelecendo novos divisores de água e assim, modificando o traçado dos seus limites.

A Tabela 18 mostra como se deu o processo de urbanização nesta área de contribuição, cuja fase rural se estendeu até 1990, quando concomitantemente com a remoção dos imóveis provisórios, foram sendo construídos os imóveis populares.

A área de contribuição C tem como característica predominante casas populares com área livre de quintal ocupada em 90% por calçamento de concreto, os jardins permeáveis são de pequeno porte como, por exemplo, retângulos de 0,5 metros de largura por 1,20 de comprimento.

Se para as áreas de contribuição B e J a remoção das residências de madeira resultou em um aumento de áreas permeáveis, para a área de contribuição C resultou na consolidação de uma mancha urbana muito densa com apenas 7,36% de área permeável.

Áreas de contribuição D, E, G e H:

Estas 4 áreas de contribuição apresentam histórico de ocupação semelhante ao da área de contribuição C, pois assim como a área de contribuição C foi sendo ocupada na medida em que as residências de madeira eram sendo removidas, as áreas de contribuição D, E, G e H também fazem parte do loteamento de habitações populares chamado de Jardim Aeroporto, destino dos moradores das residências de madeira.

As Tabelas de 19 a 22 apresentam os dados de uso e ocupação da terra dessas 4 áreas de contribuição.

Se não fosse por imposição da rede de drenagem urbana construída neste loteamento, as áreas de contribuição C, D e E poderiam ser agrupadas em uma única grande área de contribuição em função dos efeitos da topografia.

Em eventos pluviométricos de elevada intensidade, pela falta de manutenção das bocas de lobo e/ou por terem suas capacidades suplantadas por um evento de tempo de retorno superior, o escoamento da área de contribuição C acaba deixando de ser golfado e passa a ser conduzido pelas guias, calçadas e ruas até a área de contribuição D.

Tabela 22 – Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição H

SUB-BACIA H - Áreas ocupadas

Ano	SISTEMA VIÁRIO														USOS										TOTAL DA ÁREA OCUPADA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Solo exposto	Solo exposto (compactado)	Piçarra	Veias com bloquetes	asentados sem concreto	Veias com bloquetes	asentados com concreto	Asfalto	Concreto	Pavimento intertravado	Área ocupada por telhados	Área livre ocupada por concreto	Área livre ocupada por bloquetes	Área livre ocupada por piçarra	Área livre ocupada por solo exposto	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso		Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso

Na área de contribuição D existe um elevado índice de permeabilidade haja vista que aproximadamente 57% de sua área é ocupada pela várzea do Córrego Sem Nome, a Figura 41A da página 123, ilustra no lado direito do leitor a área de contribuição D recebendo o volume de água que não é captado pelas bocas de lobo da rede de drenagem da área de contribuição C.

A área de contribuição E concentra a área comercial do loteamento popular Jardim Aeroporto e existem também imóveis residenciais, sendo que as áreas permeáveis não atingem 3%. Sua principal característica é a Avenida 15 de outubro, com canteiro central de 2 metros e faixas viárias de 9 metros cobertas por asfalto.

As áreas de contribuição G e H também foram definidas em virtude da existência da rede de drenagem, caso fosse abordado apenas o relevo elas estariam incluídas nas áreas de contribuição B e J.

A área de contribuição G, assim como a área de contribuição D contêm as áreas de várzea do Córrego Sem Nome e assim como acontece com a área de contribuição C que lança seu excedente de deflúvio na porção permeável da várzea da área de contribuição D, o mesmo acontece com as áreas de contribuição B e J que também lançam seu excedente na área de contribuição G, cuja parcela permeável responde por 55,20% de toda a área da área de contribuição.

A mesma Figura 41A citada anteriormente ilustra no lado esquerdo do leitor o escoamento em paralelo ao Córrego Sem Nome na área de várzea da área de contribuição G.

Com uma área de 0,035km², tem-se a área de contribuição H, a menor área de contribuição que compões a área de contribuição do Córrego Sem Nome tanto na fase rural, quanto na fase urbana.

Caracterizada principalmente por construções populares e por abranger uma área de várzea que representa quase 10% de toda a sua área, contando ainda com outros 19% relativos às áreas permeáveis que estão nos canteiros da Avenida 15 de Outubro.

Áreas de contribuição F, I e K:

São as áreas de contribuição que permaneceram por mais tempo na fase rural, entretanto já sofriam com os efeitos da urbanização devido ao lançamento sem controle do deflúvio urbano gerado pelas áreas de montante.

O início da ocupação destas três áreas de contribuição se deu em 2006 e ainda em 2009 elas apresentaram um índice de ocupação muito baixo de 29,40%, predominando lotes residenciais com área verde cobertos por grama baixa ou apenas solo exposto.

Estes loteamentos tem se caracterizado por imóveis diferenciados dos até então existentes no município, pois se trata de uma área que não foi do escopo do projeto original e também não foi destinada à habitação popular, tal como as áreas de contribuição C, D, E, G e H.

As construções edificadas até agora contam com área ocupada por superfícies impermeáveis de em média 86%, sendo os 14% restante ocupados por jardins.

As áreas de contribuição F, I e K possuem 15,81%, 40% e 42% de área de várzea respectivamente, e assim, como as áreas de contribuição G e D, o escoamento é lançado nesta área verde para perder energia, infiltrar e somente ser lançado no Córrego Sem Nome nas proximidades da seção que delimita a sub-bacia.

As informações detalhadas de uso e ocupação da terra destas áreas de contribuição encontram-se nas Tabelas 23, 24 e 25.

Área de contribuição J:

A área de contribuição J é uma das maiores que integram a sub-bacia do Córrego Sem Nome, porém já foi uma das menores quando ainda na fase rural.

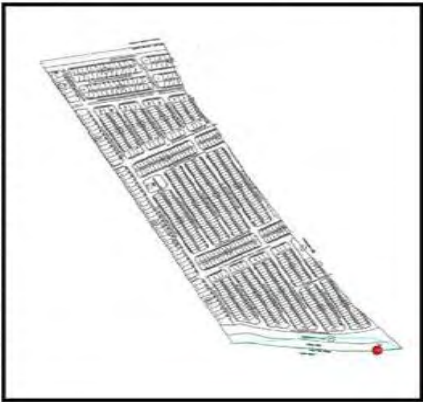
Apesar de possuir características históricas de uso e ocupação da terra semelhante às da área de contribuição B, esta área de contribuição tem grandes modificações em todos os cenários analisados, apresentando pouca evolução da mancha urbana desde 1970 conforme exposto pela Tabela 26.

Também no caso desta área de contribuição a principal fonte de alterações nas vazões de pico foram as alterações no *layout* da cobertura dos lotes, principalmente das áreas livres e do sistema viário, lembrando que nesta área de contribuição a área ocupada pelos imóveis provisórios era maior do que no caso da área de contribuição B, sendo que a ocupação destas áreas dantes ocupadas pelos imóveis de madeira ainda em 2009 não apresenta uma nova ocupação significativa como no caso da área de contribuição B.

No centro da área de contribuição J encontram-se grandes vazios urbanos que pertencem às instituições públicas como a Prefeitura Municipal e a UNESP.

Tabela 23 – Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição F

SUB-BACIA F - Áreas ocupadas

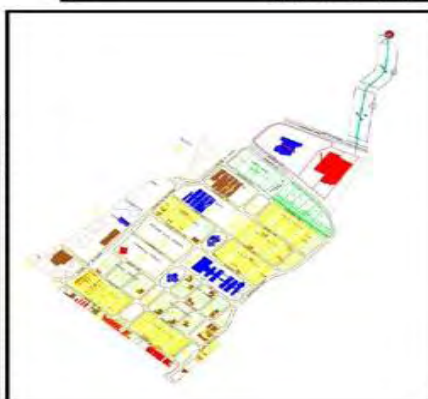


Ano	SISTEMA VIÁRIO												USOS												TOTAL DA ÁREA OCUPADA
	Solo exposto	Solo exposto (compactado)	Piçarra	Vieiras com bloquetes	Asfalto	Concreto	Pavimento intertravado	Área ocupada por telhados	Área livre ocupada por concreto	bloquetes	Área livre ocupada por piçarra	Área livre ocupada por solo exposto	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Gramado, solo arenoso	Arvores/Arbustos		
1970	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,604	
1980	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	
1990	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	
1996	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	
2009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,259	0,016	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,487	

Ano	Ocupação	CARACTERÍSTICAS DO TALVEGUE																										TOTALS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		COBERTURAS DO TALVEGUE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Condutos de barro para drenagem	Superfície de cimento alisado	Superfície de argamassa de cimento	Tubos de concreto	Canais com revestimento de concreto	Canais de terra, retílicos e uniformes	Canais curvilíneos e lamosos	Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes	Canais com fundo de terra e taludes empedrados	(1) Limpos, retílicos e uniformes	(2) Como em (1), mas com vegetação e pedras	(3) Com meandros, bancos e poços pouco profundos,	(4) Como em (3), águas baixas e declividade fraca	(5) Como em (3) com vegetação e pedras	(6) Como em (4) com pedras	(7) Com margens espraçadas, pouca	(8) Com margens espraçadas, muita	Canais de terra com vegetação normal, fundo	Concreto	Asfalto	Área exposta	Solo pedregulhoso	Solo argiloso descoberto	Terreno sem cultura	Terra arada	Pastagens naturais		Pastagens cortadas	Gramma	Gramma curta	Gramma densa	Gramma bemuda	Florestas	Cota de montante do talvegue (m)	Cota de jusante do talvegue (m)	Tipo de solo da sub-bacia	COMPROMIMENTO TOTAL DO TALVEGUE ATÉ SEÇÃO DE ESTUDOS (km)	COMPROMIMENTO TOTAL DO TALVEGUE ATÉ O LANÇAMENTO (km)	DECLIVIDADE DO TALVEGUE (m/m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
RURAL	1970	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3853	33048q	1,912	1,545	0,036																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	1980	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3853	33048q	1,886	1,519	0,036																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	1990	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3853	33048q	1,886	1,519	0,036																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	1996	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3853	33048q	1,886	1,519	0,036																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	2009	0,000	0,000	0,000	0,160	0,000	0,000	0,000	0,540	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,074	1,112	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000</

Tabela 26 – Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da área de contribuição J

SUB-BACIA J - Áreas ocupadas

[illegible][illegible]

As modificações de maior impacto sofrida por esta área de contribuição desde a sua ocupação foram as construções da rodoviária, de um supermercado e do shopping, ainda em fase de término.

Estas construções agregam a elas grandes áreas impermeabilizadas devido aos telhados e às áreas de estacionamento.

Sub-bacia do Córrego Sem Nome:

Por fim, a Tabela 27 apresenta as características gerais de uso e ocupação da terra da sub-bacia do Córrego Sem Nome como um todo, ou seja, somadas todas as características de cada uma das 11 áreas de contribuição.

Tabela 27 – Tabela de uso e ocupação da terra para os cenários de estudo da sub-bacia do Córrego Sem Nome

Ocupação Ano	USOS																				TOTAL DA ÁREA OCUPADA
	SISTEMA VIÁRIO							LOTE													
	Solo exposto	Solo exposto (compactado)	Piçarra	Vielas com bloquetes assentados sem concreto	Vielas com bloquetes assentados com concreto	Asfalto	Concreto	Pavimento intertravado	Área ocupada por telhados	Área livre ocupada por concreto	Área livre ocupada por bloquetes	Área livre ocupada por piçarra	Área livre ocupada por solo exposto	Gramado, solo arenoso declividade 2%	Gramado, solo arenoso declividade 2% a 7%	Gramado, solo arenoso declividade superior a 7%	Gramado, solo pesado declividade 2%	Gramado, solo pesado declividade 2% a 7%	Gramado, solo pesado declividade superior a 7%	Árvores/Arbustos	
RURAL	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,138	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,588	2,635	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	4,366
1970	0,005	0,154	0,040	0,140	0,000	0,212	0,030	0,000	0,511	0,014	0,041	0,011	0,022	0,394	1,651	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	3,229
1980	0,004	0,132	0,050	0,146	0,000	0,232	0,038	0,004	0,505	0,016	0,038	0,011	0,018	0,376	1,655	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	3,229
1990	0,001	0,060	0,050	0,070	0,152	0,250	0,065	0,004	0,470	0,036	0,022	0,007	0,087	0,354	1,594	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	3,229
1996	0,048	0,071	0,000	0,000	0,180	0,383	0,106	0,004	0,955	0,170	0,002	0,006	0,146	0,264	0,907	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	3,260
2009	0,001	0,044	0,000	0,000	0,178	0,524	0,108	0,036	1,141	0,217	0,001	0,000	0,375	0,204	0,601	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	3,466

5.2 RESULTADOS DO PROGRAMA LH²-01

De posse dos resultados do banco de dados em ambiente SIG e feita a transposição dessas informações para as planilhas do *Excel* previamente programadas, foram determinados os hidrogramas de cheia das 11 áreas de contribuição e o hidrograma de cheia da sub-bacia do Córrego Sem Nome, com auxílio do Programa LH²-01.

5.2.1 Tempos de concentração das áreas de contribuição

As Tabelas 28 e 29 tabulam os tempos de concentração das 11 áreas de contribuição, sendo a Tabela 28 corresponde ao tempo de concentração da área de contribuição até ao ponto de lançamento no canal do Córrego Sem Nome e a Tabela 29 informa o tempo de concentração da área de contribuição até a seção alvo dos estudos.

Tabela 28 – Tempo de concentração das áreas de contribuição até o lançamento no canal

Área de contribuição	Anos de análise					
	Antes da ocupação urbana (rural)	1970	1980	1990	1996	2009
A	7,484	1,646	1,646	1,646	1,533	1,533
B	5,783	3,324	3,324	3,324	2,902	3,240
C	8,333	7,399	7,399	7,399	3,947	3,947
D	3,673	3,673	3,673	3,673	4,005	4,005
E	8,694	7,823	7,823	7,823	1,832	1,832
F	8,786	8,697	8,697	8,697	8,697	2,248
G	5,196	5,147	5,147	5,147	6,390	5,022
H	5,569	3,928	3,928	3,928	0,988	0,988
I	5,640	5,520	5,520	5,520	6,424	1,626
J	8,113	4,463	4,463	4,463	4,415	4,361
K	3,902	3,814	3,814	3,814	3,814	4,420

Tabela 29 – Tempo de concentração das áreas de contribuição até a seção de estudos

Área de contribuição	Anos de análise					
	Antes da ocupação urbana (rural)	1970	1980	1990	1996	2009
A	9,595	3,757	3,757	3,757	3,644	3,644
B	7,901	5,395	5,395	5,395	5,095	5,311
C	10,140	9,258	9,258	9,258	5,806	5,806
D	6,074	6,074	6,074	6,074	6,406	6,406
E	10,773	10,117	10,117	10,117	4,126	4,126
F	10,474	10,385	10,385	10,385	10,385	3,936
G	7,859	7,810	7,810	7,810	9,053	7,685
H	7,989	6,348	6,348	6,348	3,408	3,408
I	6,607	6,503	6,503	6,503	7,407	2,609
J	8,752	5,064	5,064	5,064	5,008	4,954
K	4,473	4,393	4,393	4,393	4,393	4,919

Antes da ocupação urbana, fase rural, as áreas de contribuição com maiores tempos de concentração eram as que possuíam as maiores áreas de drenagem, pois toda a sub-bacia do Córrego Sem Nome era ocupada por grama do tipo *Brachiaria Brizantha*.

Entretanto, em 1970 com a implantação do núcleo urbano a área de contribuição A apesar de ter sua área de drenagem reduzida, ainda era uma das maiores, porém devido a implantação dos equipamentos do núcleo urbano, em especial a rede de drenagem, a área de contribuição A passou a ter o menor tempo de concentração.

Durante o período compreendido entre os anos de 1970 a 1990 as mudanças no uso e ocupação da terra não interferiram nos tempos de concentração das áreas de contribuição.

Em 1996 a implantação de uma nova área urbana, o Jardim Aeroporto, em uma região antes ocupada por pastagens fez com que os maiores tempos de concentração das áreas de contribuição E e C fossem reduzidos a tempos próximos aos menores tempos de concentração. No ano de 1996 houve um comportamento atípico nas áreas de contribuição D, G e I, pois estas áreas apresentaram um aumento no tempo de concentração. Para estas áreas a urbanização implicou em uma melhoria das condições da vegetação existente, com o plantio de árvores de médio a grande porte, além da melhoria das condições do gramado existente.

Por fim, no ano de 2006 foram implantados os residenciais Nova Ilha e Ilha Bela e assim toda a sub-bacia do Córrego Sem Nome passou a estar sob a influência da ocupação urbana. Devido a isso, as menores áreas de contribuição D e G passaram a ter os maiores tempos de concentração da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

A área de contribuição D apresenta um caso interessante, pois ainda em 2009 o tempo de concentração se mantém superior ao tempo de concentração inicial. Isso ocorreu devido à manutenção da área vegetada, a mesma que foi adensada no ano de 1996, mas o

mesmo não aconteceu com as áreas de contribuição G e I que perderam área vegetada no período entre 1996 e 2009.

No ano de 2009 a área de contribuição K também apresenta o tempo de concentração maior do que quando ela era ocupada apenas por vegetação rasteira, período anterior à urbanização que perdurou até o ano de 2006.

As áreas de contribuição F, I e K ainda não apresentam área urbana densamente ocupada, porém, mesmo após o adensamento, elas tendem a manter o tempo de concentração apresentado no ano de 2009, pois os reservatórios implantados nas margens do Córrego Sem Nome recebem o escoamento das áreas urbanas fazendo com que haja o amortecimento da vazão de pico e o aumento no tempo de concentração destas áreas.

5.2.2 Chuva de projeto

A chuva de projeto adotada neste trabalho não objetiva o dimensionamento de novas estruturas de microdrenagem e macrodrenagem, mas sim permitir avaliar as estruturas existentes e também de como se deu a variação dos picos de vazão ao longo dos anos com a expansão urbana para uma mesma chuva.

Desta forma, a precipitação adotada foi a mais freqüente na região de estudos com base nos 28 anos de dados disponibilizados pelo Sistema de Informação para Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – SIGRH.

A precipitação com ocorrência mais freqüente na região de Ilha Solteira possui intensidade de aproximadamente 137 mm/h e duração de 10 minutos, o tempo de retorno foi calculado por meio da Equação 9, obtendo-se aproximadamente 10 anos.

Portanto, a intensidade da chuva de projeto adotada foi de 137,30 mm/h, pois conforme a Tabela 10, apresentada na página 113 no Capítulo 3.4 em que é feito o estudo hidrológico, esta é a chuva associada a um tempo de duração (td) de 10 minutos e tempo de retorno (TR) de 10 anos.

5.2.3 Hidrogramas

Configurado o banco de dados e calculados os tempos de concentração segue-se com a apresentação dos hidrogramas para cada uma das 11 áreas de contribuição e para a sub-bacia do Córrego Sem Nome.

A Tabela 30 apresenta as vazões calculadas para as 11 áreas de contribuição e a Tabela 31 mostra as vazões minuto a minuto para o hidrograma da sub-bacia do Córrego Sem Nome. Os tempos de concentração calculados terão importância na definição do momento em que as vazões das áreas de contribuição passam a ter influência no hidrograma da sub-bacia do córrego.

Os hidrogramas são mostrados pelas Figuras de 46 a 57. Nessas figuras o eixo das ordenadas representa as vazões e para uma melhor visualização está na escala logarítmica de base 2 e o eixo das abscissas representa o tempo e está em escala convencional.

Após a apresentação dos hidrogramas foi feita a análise de como se deu a variação do coeficiente de escoamento superficial direto (CESD), da precipitação efetiva (Pef), tempo de pico (tp) para as áreas de contribuição e para o hidrograma total da sub-bacia ao longo dos anos de análise.

164

[illegible]

Tabela 31 – Vazões da sub-bacia do Córrego Sem Nome obtidas pelo Programa LH2-01

SUB-BACIA DO CÓRREGO SEM NOME - VAZÕES (m³/s)																						
TEMPO (MIN)																						
ANO	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	
RURAL	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	
1970	0,0200	0,0200	0,7183	1,4544	2,2273	6,4773	10,9343	15,5929	18,2507	19,7004	21,0798	21,3265	21,5448	21,7353	21,4746	20,3909	19,2585	18,0787	16,8526	15,5812	14,2656	
1980	0,0200	0,0200	0,6999	1,4182	2,1737	6,4263	10,8862	15,5484	18,2926	19,8198	21,2762	21,6191	21,9308	22,2120	21,9969	20,8806	19,7164	18,5054	17,2489	15,9477	14,6031	
1990	0,0200	0,0200	0,4698	0,9667	1,5093	6,8029	12,2752	17,9217	20,5977	21,6632	22,6959	22,8902	23,0587	23,2020	22,8698	21,6671	20,4179	19,1226	17,7828	16,3993	14,9734	
1996	0,0200	0,0200	0,3079	0,8133	1,3847	9,7555	19,3094	30,1515	34,9955	39,1055	42,4111	45,1522	47,2669	48,2081	43,0945	40,9220	38,6952	36,4125	34,0759	31,6532	29,0508	
2009	0,0200	0,0200	0,4915	1,3596	2,2776	11,5077	21,9729	33,7637	39,6354	44,7731	48,8537	52,3121	55,2830	53,7396	51,3681	48,9130	46,3768	43,5783	40,6797	37,6912	34,6153	

		TEMPO (MIN)																			
ANO		10,50	11,00	11,50	12,00	12,50	13,00	13,50	14,00	14,50	15,00	15,50	16,00	16,50	17,00	17,50	18,00	18,50	19,00	19,50	20,00
RURAL		0,0200	0,0200	0,0200	0,4887	0,9321	1,3440	1,6744	1,9328	2,1394	2,5020	2,9907	3,2882	3,3991	3,3421	3,1195	2,7334	2,2139	1,6165	0,8825	0,4840
1970		12,9070	11,5064	10,0647	8,5830	7,0622	5,5998	4,2469	3,4368	2,8083	2,1445	1,8942	1,5966	1,2361	0,9522	0,8412	0,6781	0,4912	0,2708	0,0614	0,0380
1980		13,2160	11,7874	10,3186	8,8103	7,2634	5,7757	4,4161	3,5861	2,9343	2,2473	1,9096	1,6453	1,2587	0,9575	0,8441	0,6788	0,4912	0,2708	0,0614	0,0380
1990		13,5060	11,9979	10,4505	8,8744	7,2892	5,7562	4,3266	3,5155	2,9228	2,2877	2,0054	1,6761	1,2841	0,9762	0,8545	0,6811	0,4912	0,2708	0,0614	0,0380
1996		26,3860	23,6597	20,8741	18,0309	15,1590	12,2327	9,2539	7,2131	5,2717	3,4803	2,0001	0,6797	0,5797	0,4839	0,3819	0,2915	0,1972	0,0991	0,0200	0,0200
2009		31,4536	28,2087	24,8820	21,4770	18,0353	14,5481	11,0014	8,3783	5,9636	3,9021	2,2058	0,6258	0,3211	0,2259	0,1271	0,0246	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200

		TEMPO (MIN)																			
ANO		20,50	21,00	21,50	22,00	22,50	23,00	23,50	24,00	24,50	25,00	25,50	26,00	26,50	27,00	27,50	28,00	28,50	29,00	29,50	30,00
RURAL		0,1380	0,0878	0,0485	0,1097	0,2792	0,4125	0,5105	0,5740	0,6039	0,6010	0,5661	0,5000	0,4033	0,2770	0,1216	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
1970		0,0200	0,0200	0,0756	0,1803	0,2623	0,3222	0,3604	0,3774	0,3739	0,3502	0,3069	0,2445	0,1634	0,0640	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
1980		0,0200	0,0200	0,0756	0,1803	0,2623	0,3222	0,3604	0,3774	0,3739	0,3502	0,3069	0,2445	0,1634	0,0640	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
1990		0,0200	0,0200	0,0756	0,1803	0,2623	0,3222	0,3604	0,3774	0,3739	0,3502	0,3069	0,2445	0,1634	0,0640	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
1996		0,0200	0,0200	0,0756	0,1803	0,2623	0,3222	0,3604	0,3774	0,3739	0,3502	0,3069	0,2445	0,1634	0,0640	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200
2009		0,0200	0,0200	0,0756	0,1803	0,2623	0,3222	0,3604	0,3774	0,3739	0,3502	0,3069	0,2445	0,1634	0,0640	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200

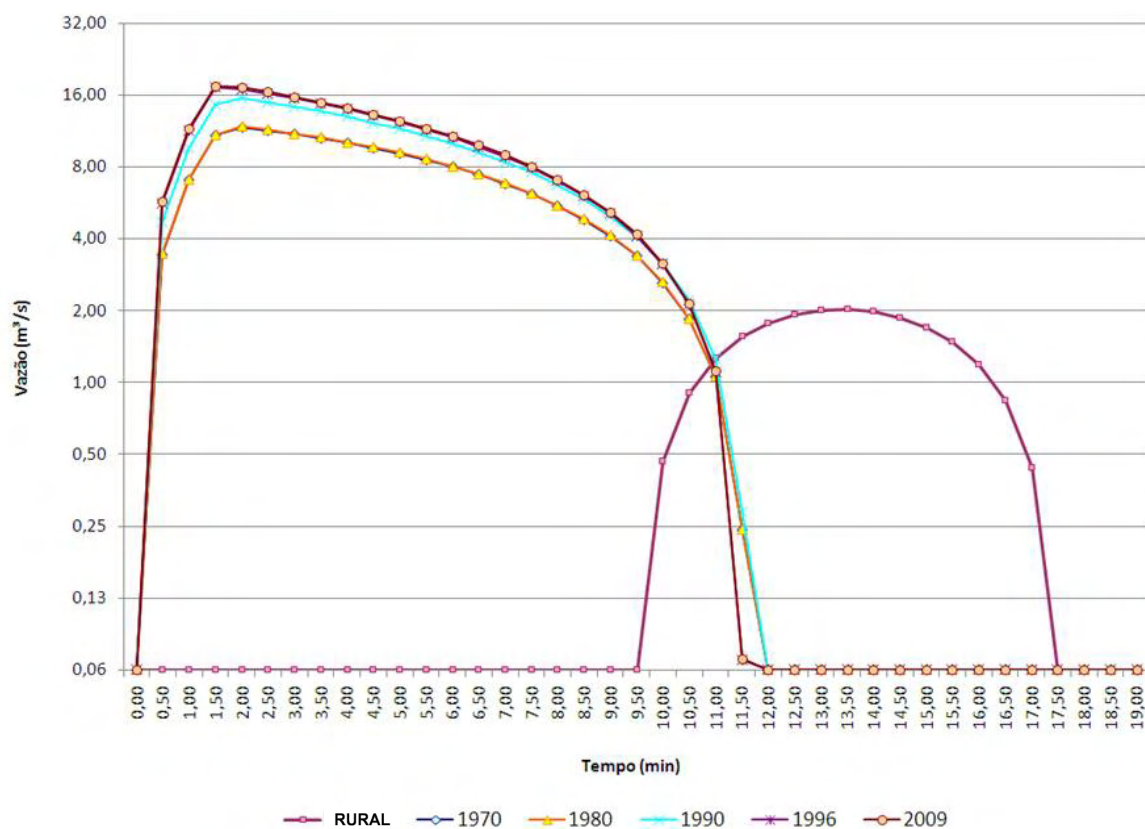


Figura 46 – Hidrogramas da área de contribuição A para os cenários de estudo

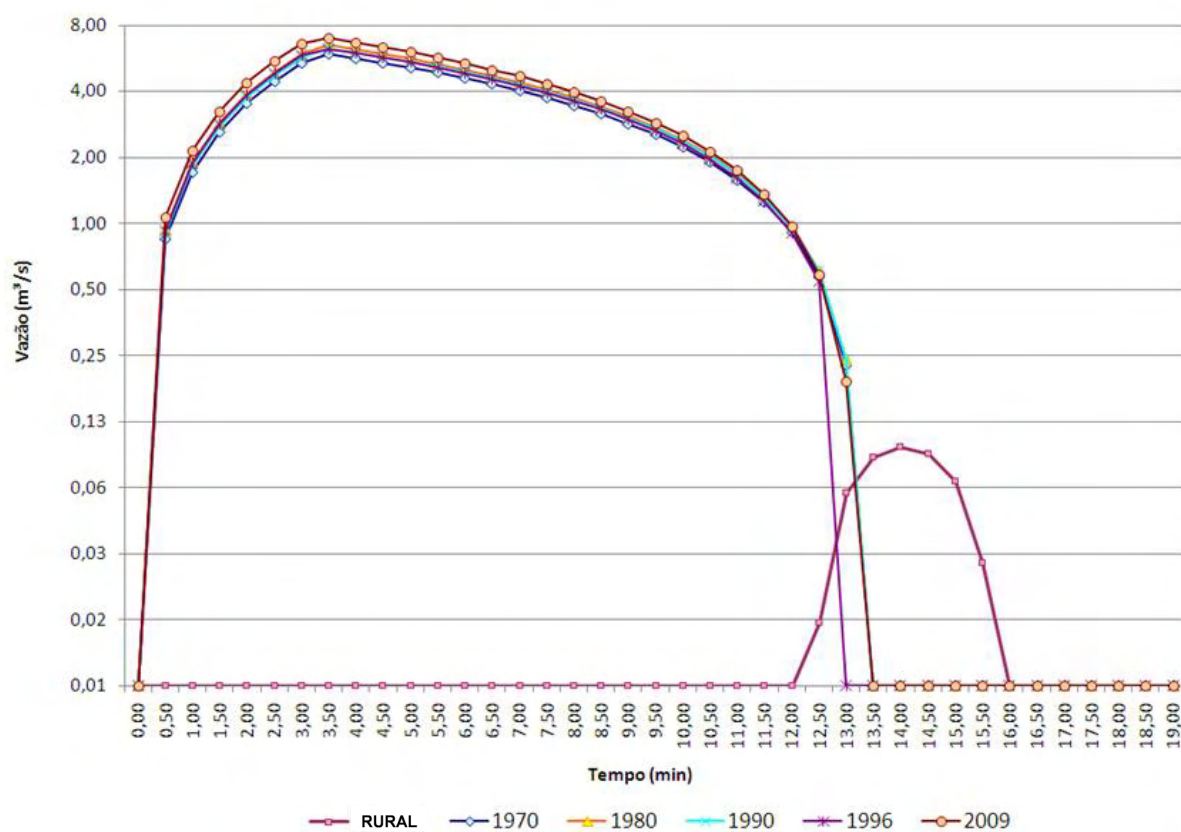


Figura 47 – Hidrogramas da área de contribuição B para os cenários de estudo

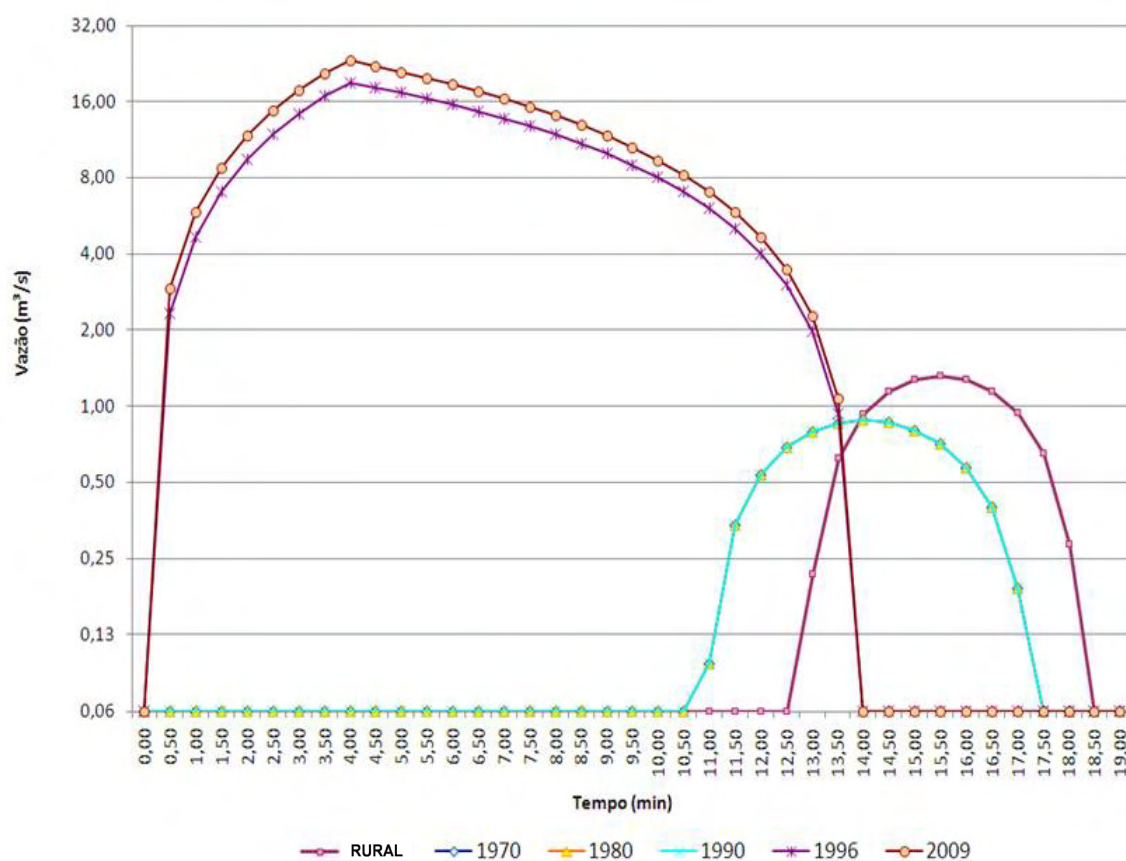


Figura 48 – Hidrogramas da área de contribuição C para os cenários de estudo

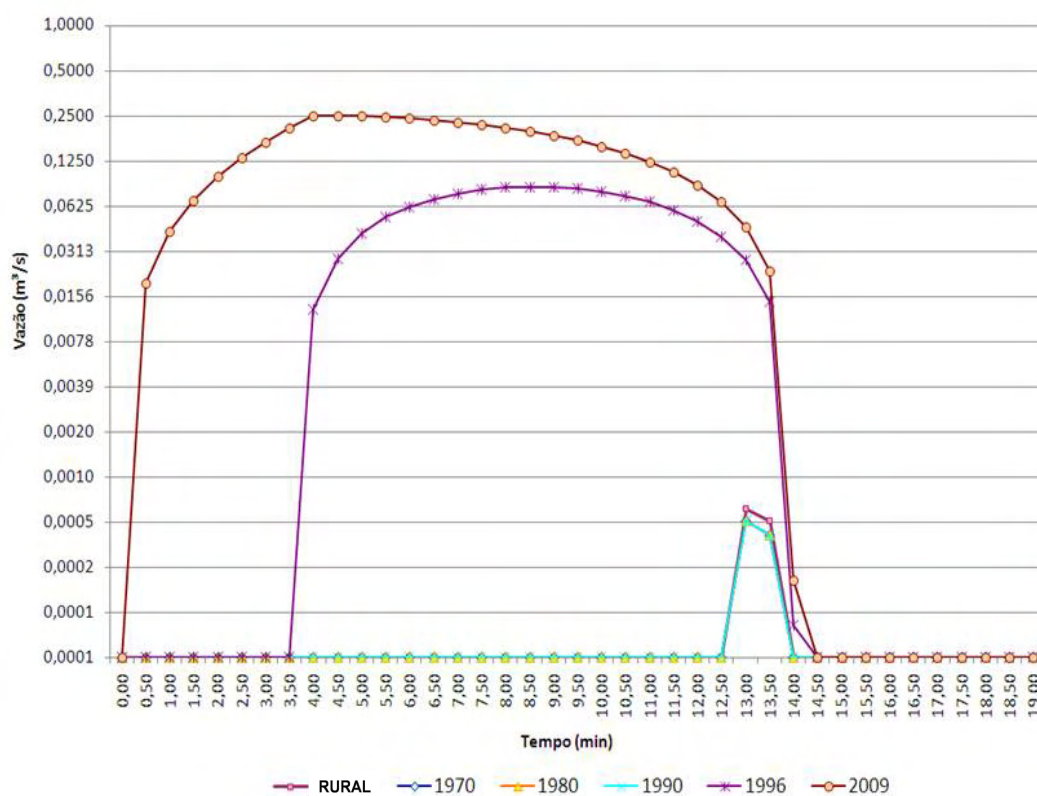


Figura 49 – Hidrogramas da área de contribuição D para os cenários de estudo

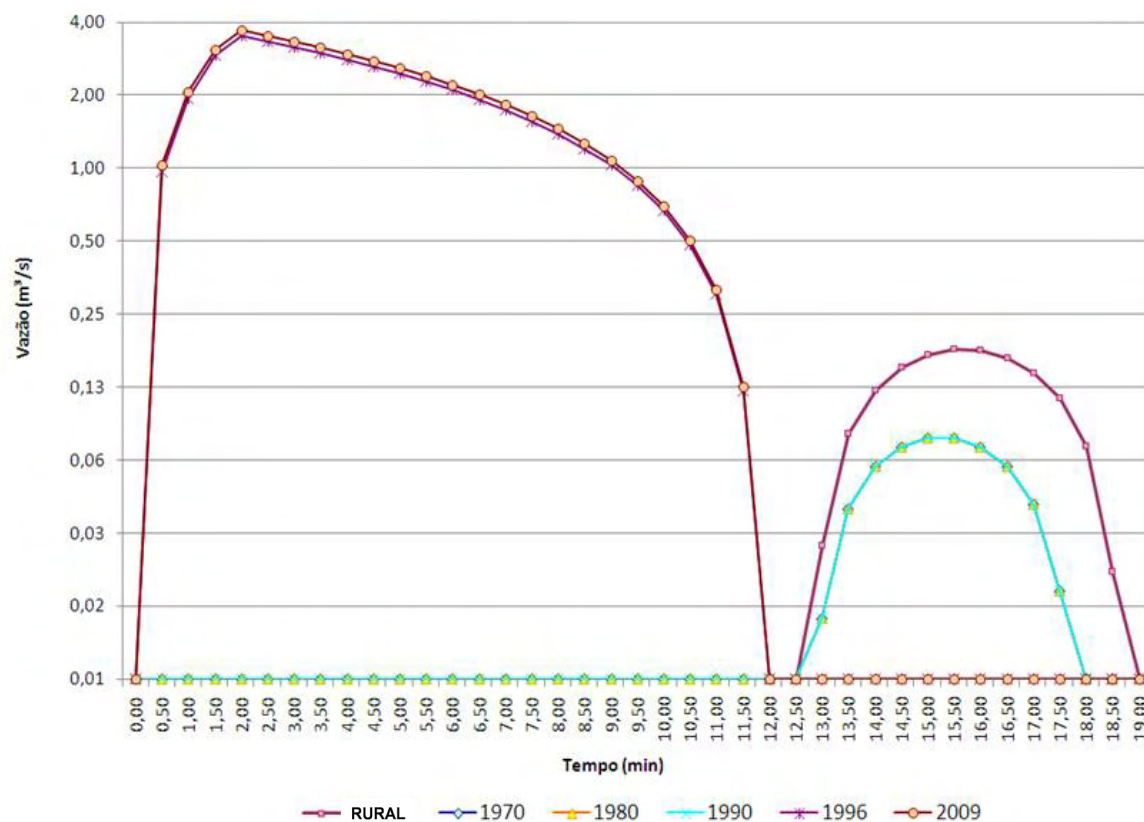


Figura 50 – Hidrogramas da área de contribuição E para os cenários de estudo

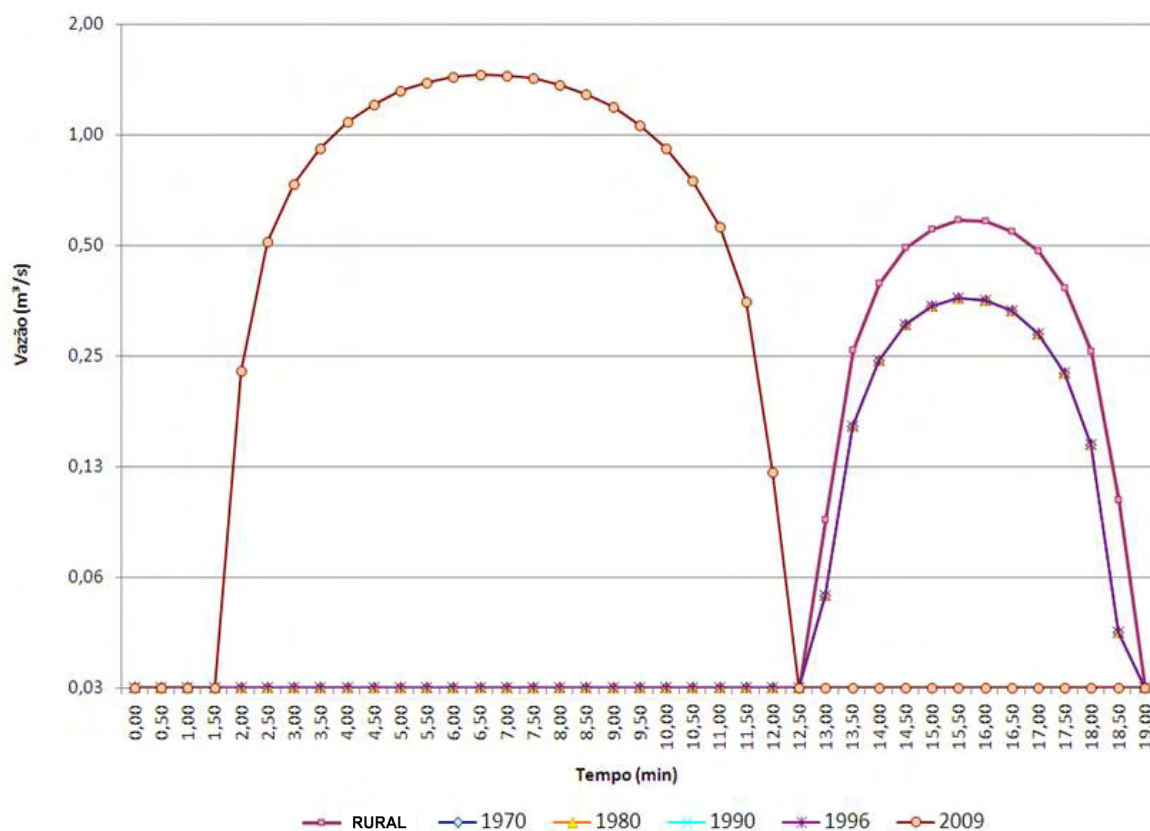


Figura 51 – Hidrogramas da área de contribuição F para os cenários de estudo

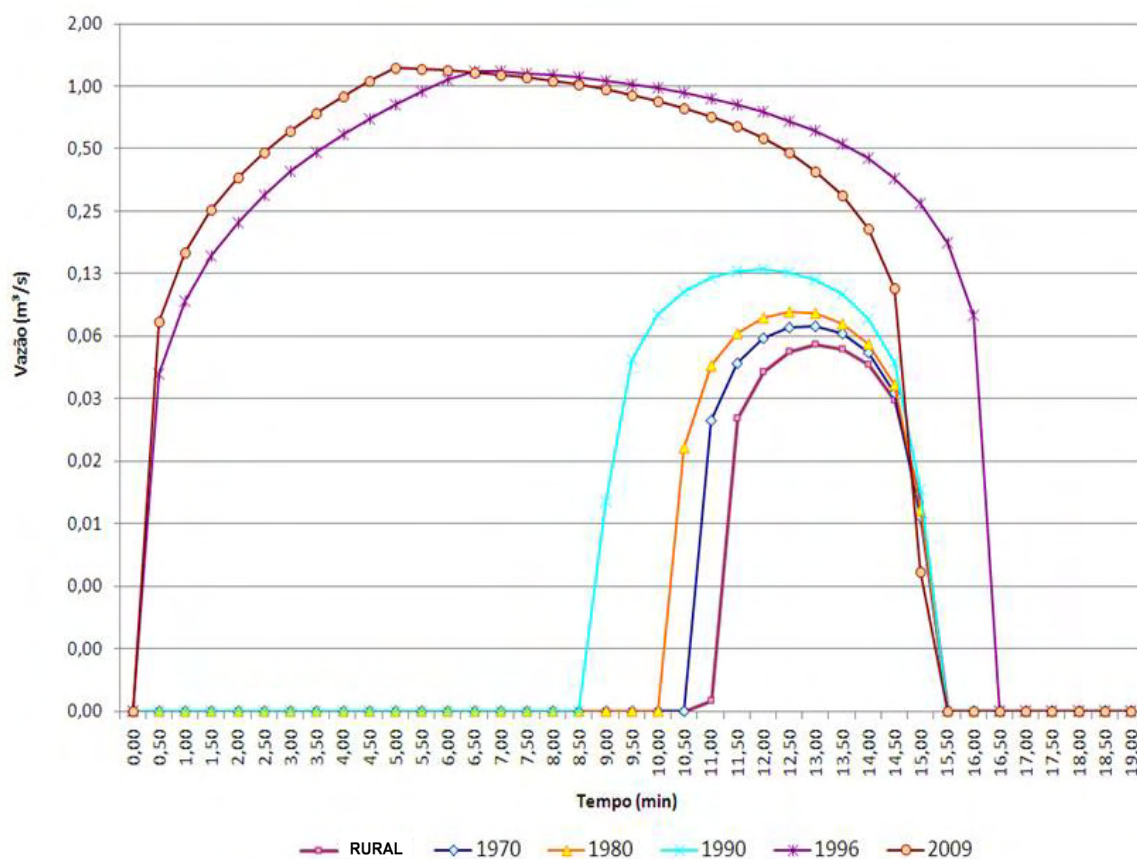


Figura 52 – Hidrogramas da área de contribuição G para os cenários de estudo

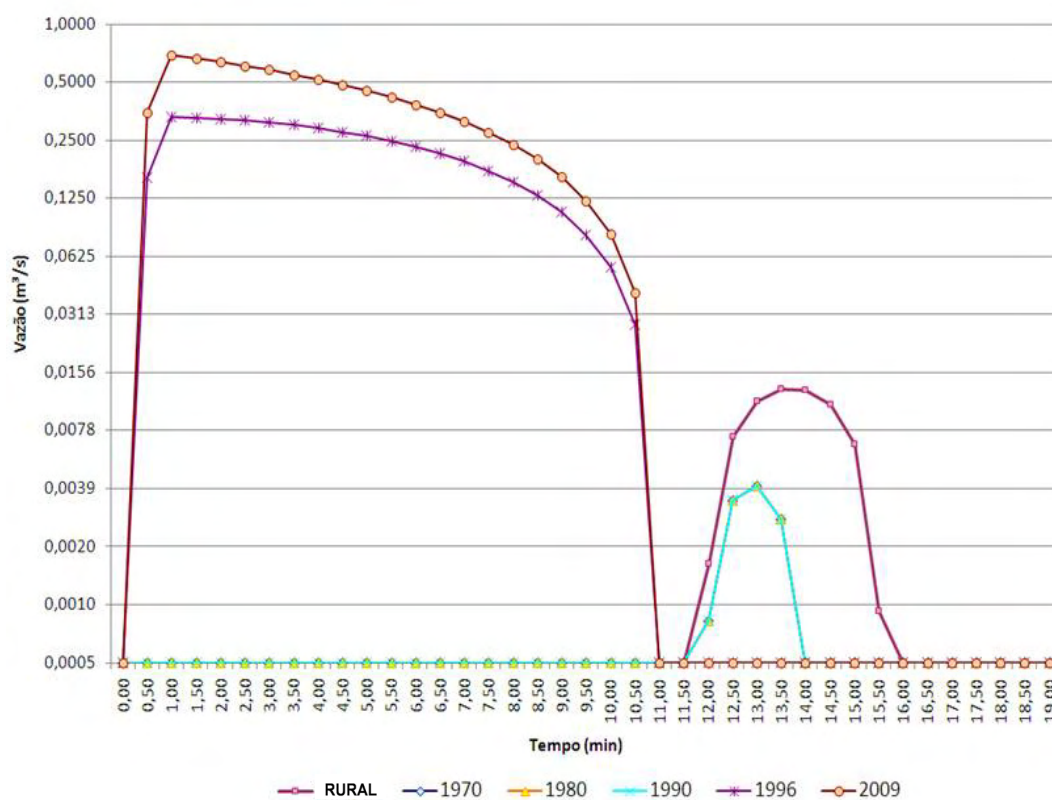


Figura 53 – Hidrogramas da área de contribuição H para os cenários de estudo

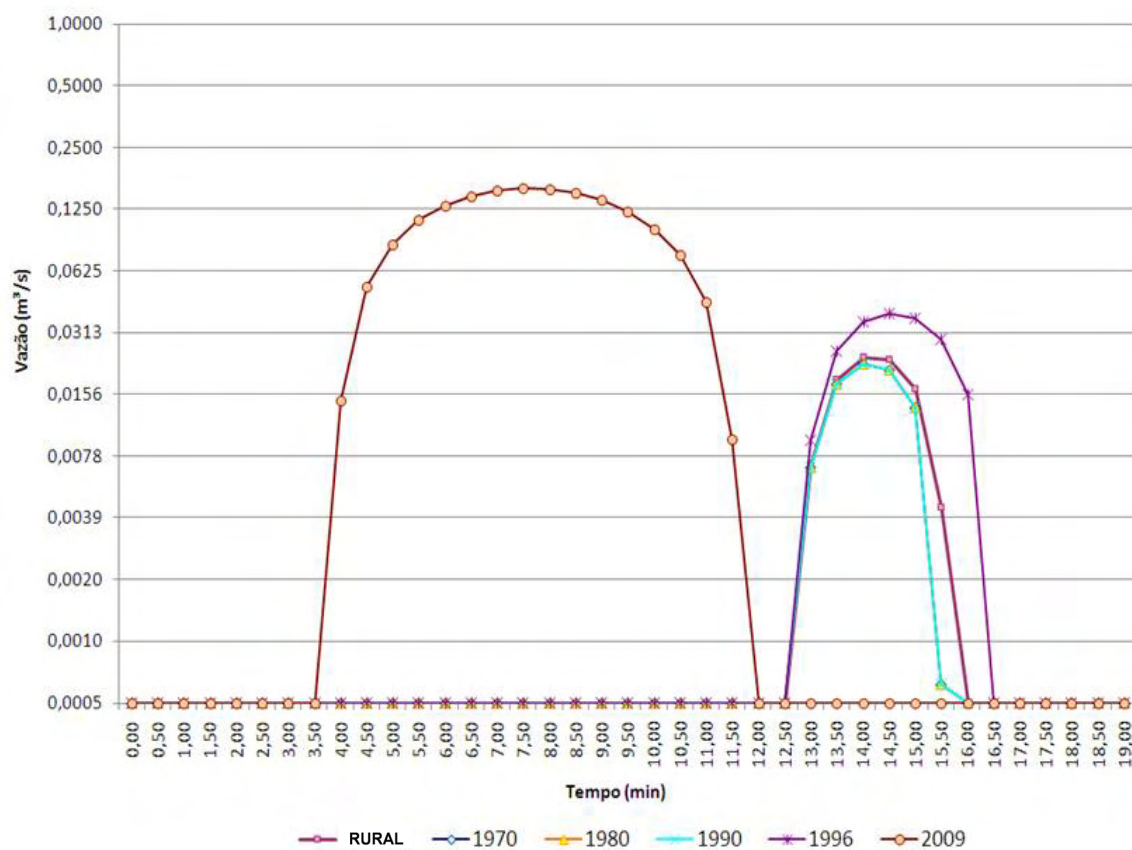


Figura 54 – Hidrogramas da área de contribuição I para os cenários de estudo

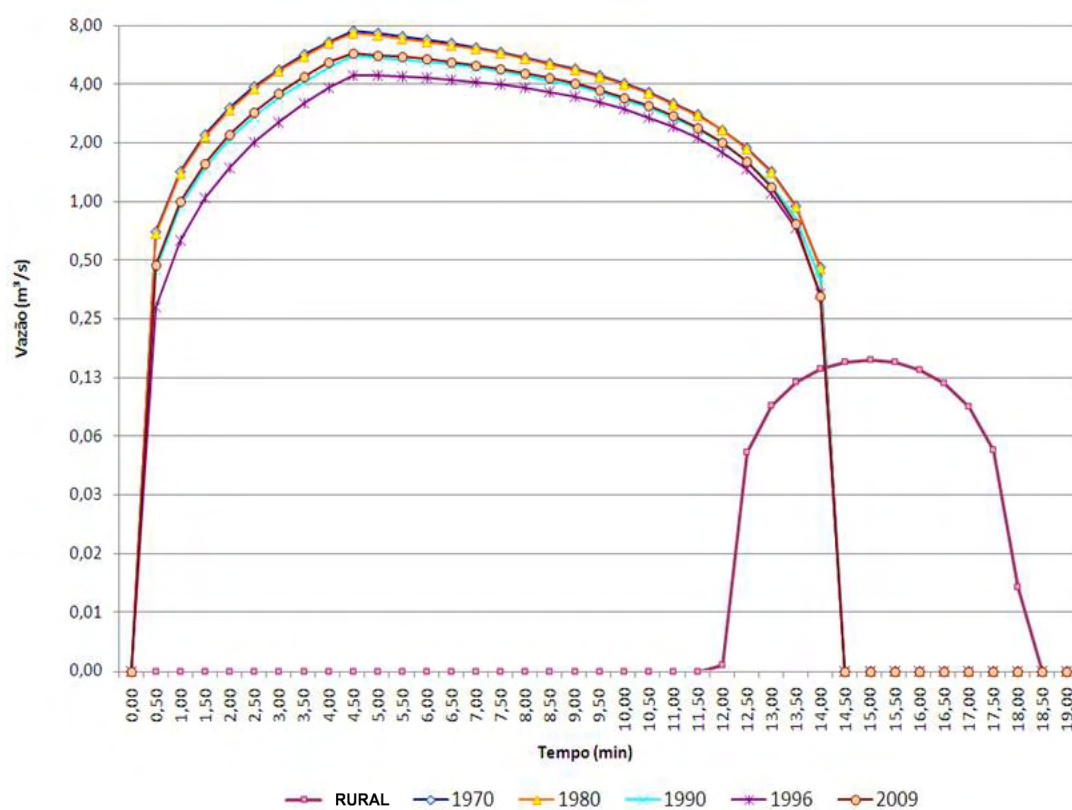


Figura 55 – Hidrogramas da área de contribuição J para os cenários de estudo

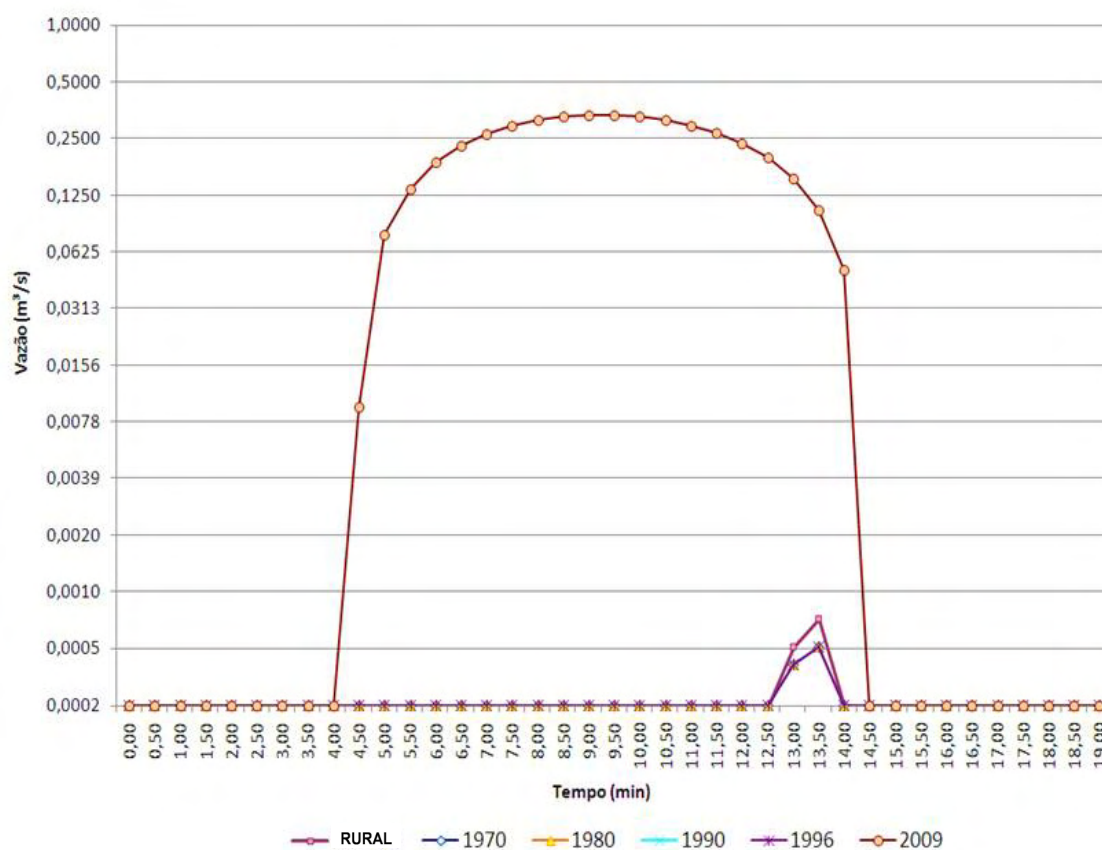


Figura 56 – Hidrogramas da área de contribuição K para os cenários de estudo

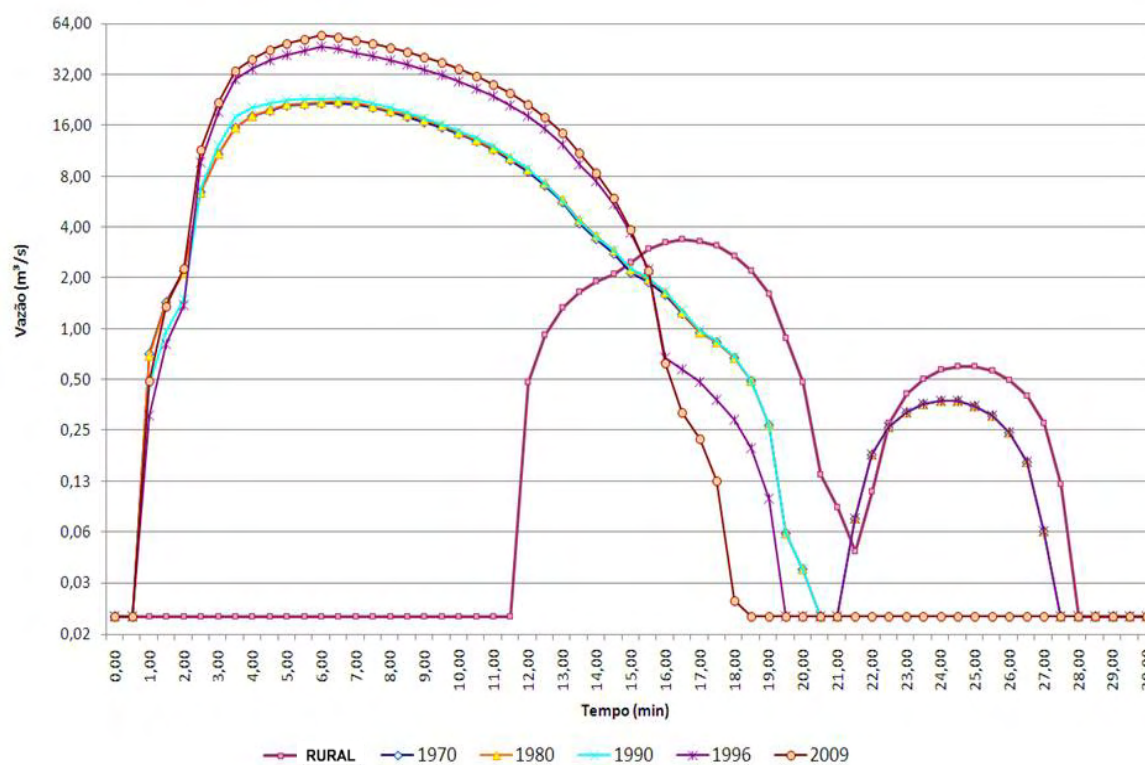


Figura 57 – Hidrogramas sub-bacia do Córrego Sem Nome para os cenários de estudo

5.2.3.1 *Análise dos hidrogramas*

Quando se analisa o traçado dos hidrogramas, nota-se que as áreas de contribuição com predominância de ocupações do tipo permeável ($C \leq 0,35$) apresentam hidrograma com a forma parabólica e tempo de concentração maior do que o calculado pelo método da Onda Cinemática, devido à influência da Fórmula de Horton aplicada apenas às áreas sujeitas à infiltração.

Quando a ocupação urbana passa a ser predominante ($C > 0,35$) o traçado dos hidrogramas passa a ter o formato triangular em função da diminuição dos efeitos da Fórmula de Horton na determinação do escoamento superficial direto.

Uma questão a ser analisada com a instrumentação e novas pesquisas voltadas para o estudo da hidrologia da sub-bacia do Córrego Sem Nome seria avaliar se a Fórmula de Horton subestimou o tempo de concentração e as vazões de pico das áreas permeáveis ou se o uso da Fórmula de Horton retratou de maneira adequada o comportamento do efeito da infiltração na determinação do escoamento superficial direto.

Os efeitos de precipitações antecedentes não foram avaliados neste estudo, o que também determinou a obtenção de valores baixos para o coeficiente de escoamento superficial direto nas áreas de contribuição com ocupação permeável predominante. A precipitação antecedente reduz o efeito da infiltração no traçado do hidrograma, pois o solo já estará próximo do ponto de saturação, reduzindo sua capacidade absorção.

Com o objetivo de diagnosticar os pontos críticos existentes na sub-bacia do Córrego Sem Nome foram calculados o coeficiente de escoamento superficial direto (CESD), a precipitação efetiva (P_{ef}) ou excedente e o tempo de pico (t_p).

O coeficiente de escoamento superficial direto é a relação entre a precipitação de projeto, que para este estudo é de 137,30 mm/h, e a vazão que escoou superficialmente.

A precipitação efetiva é a parcela da precipitação de projeto que efetivamente escoou superficialmente e resultou no hidrograma de cheias.

As Tabelas 32, 33 e 34 mostram as variações do coeficiente de escoamento superficial direto, da precipitação efetiva e do tempo de pico, respectivamente. Por meio das Tabelas 32, 33 e 34 é possível fazer um diagnóstico das áreas de contribuição e prognosticar os efeitos negativos da urbanização em áreas ainda sem problemas. Com base nas Tabelas 32, 33 e 34, pode-se definir as áreas de contribuição A, B, C, E e H como sendo críticas, pois elas

passaram da condição rural com coeficiente de escoamento superficial direto de no máximo 0,05 para a condição urbana, na qual o CESD é superior a 0,50.

Tabela 32 – Coeficiente de escoamento superficial direto (CESD)

CENÁRIO	ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO											SUB-BACIA
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
RURAL	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
1970	0,36	0,52	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,40	0,01	0,18
1980	0,36	0,58	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,39	0,01	0,18
1990	0,48	0,56	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,30	0,01	0,19
1996	0,53	0,55	0,64	0,07	0,81	0,02	0,25	0,25	0,01	0,22	0,01	0,38
2009	0,54	0,62	0,79	0,22	0,86	0,08	0,26	0,52	0,04	0,29	0,07	0,42

Tabela 33 – Precipitação efetiva mm/h (Pef)

CENÁRIO	ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO											SUB-BACIA
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
RURAL	5,49	1,37	2,75	1,37	2,75	4,12	1,37	1,37	1,37	4,12	1,37	2,75
1970	49,44	71,42	4,12	1,37	2,75	2,75	1,37	1,37	1,37	54,94	1,37	24,72
1980	49,44	79,66	4,12	1,37	2,75	2,75	2,75	1,37	1,37	53,56	1,37	24,72
1990	65,92	76,91	4,12	1,37	2,75	2,75	4,12	1,37	1,37	41,20	1,37	26,09
1996	72,79	75,54	87,90	9,61	111,25	2,75	34,34	34,34	1,37	30,21	1,37	52,19
2009	74,16	85,15	108,50	30,21	118,11	10,99	35,71	71,42	5,49	39,83	9,61	57,68

Tabela 34 – Tempo de pico

CENÁRIO	ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO											SUB-BACIA
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
RURAL	13,50	14,00	15,50	13,00	15,50	15,50	13,00	13,50	14,00	15,00	13,50	16,50
1970	2,00	3,50	15,50	13,00	15,00	15,50	13,00	13,00	14,00	4,50	13,50	6,50
1980	2,00	3,50	15,50	13,00	15,00	15,50	12,50	13,00	14,00	4,50	13,50	6,50
1990	2,00	3,50	15,50	13,00	15,00	15,50	12,00	13,00	14,00	4,50	13,50	6,50
1996	1,50	3,50	4,00	8,50	2,00	15,50	6,50	1,00	14,50	4,50	13,50	6,00
2009	1,50	3,50	4,00	4,50	2,00	6,50	5,00	1,00	7,50	4,50	9,00	6,00

Esse efeito é mostrado pela Pef relacionada ao evento chuvoso de 137,30 mm/h, pois na fase rural a chuva de 137,30 mm/h resultava em um Pef de 5,49 mm/h e no ano de 2009 a mesma precipitação de projeto é relacionada a uma Pef de até 118,11 mm/h.

Segundo Porto (1995) normalmente a impermeabilização da terra, que acompanha o processo de urbanização, altera a precipitação efetiva da ordem de 300% para mais quando a bacia passa de uma ocupação natural ou rural para uma ocupação de alto grau de urbanização.

O tempo de pico destas cinco áreas, após a consolidação da ocupação urbana, apresentou uma diminuição superior a 10 minutos.

As áreas de contribuição F, I e K que ainda possuem mais de 68% de suas áreas ocupadas por coberturas permeáveis apresentam valores de CESD com característica de área rural, porém são as áreas que devem ser colocadas sob atenção, pois ao que tudo indica serão densamente ocupadas em vista de possibilitarem aos moradores de Ilha Solteira condições de moradia melhores do que as habitações do núcleo urbano principal e das moradias populares.

Nestas três áreas a precipitação de projeto resulta uma P_{ef} de no máximo 10,99 mm/h, já o tempo de pico apresentou reduções significativas de 9 e 7 minutos nas áreas de contribuição F e I, respectivamente. Nestas duas áreas o sistema de drenagem já está totalmente construído.

As áreas de contribuição para as quais foram relacionados os menores coeficientes de escoamento superficial direto e precipitações efetivas são as áreas D, G e J. Essas três áreas possuem os maiores vazios urbanos, nelas o CESD não passa de 0,29 e a P_{ef} é de 40 mm/h.

Por fim, avalia-se o hidrograma da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

Para relacionar as vazões de pico às fases da expansão urbana, a Figura 57 é mostrada a seguir (Figura 58) com modificações na escala do eixo das ordenadas que deixou de expressar as vazões na escala logarítmica de base 2 para expressar em escala convencional.

A Figura 58 relaciona cada incremento de vazão à modificação ocorrida no uso e ocupação da terra da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

Quando o cenário analisado é o rural (CESD = 0,02), percebe-se a ocorrência de 2 picos de cheia, o primeiro ocorrendo após 16,50 min com uma vazão de 3,40 m³/s e o segundo após 24 min relacionado a uma vazão de 0,37m³/s.

Em 1970 (CESD = 0,18), o hidrograma mantém as características de possuir mais áreas permeáveis do que impermeáveis, resultando assim em um pico mais acentuado e formato mais parabólico, alcançando sua vazão máxima em 6,5 min, ou seja, reduzindo o pico da sub-bacia em 10 min quando comparado ao cenário rural.

Para os cenários de 1980 (CESD = 0,18) e 1990 (CESD = 0,19) os hidrogramas totais não apresentam grandes diferenças com relação ao já obtido para o ano de 1970.

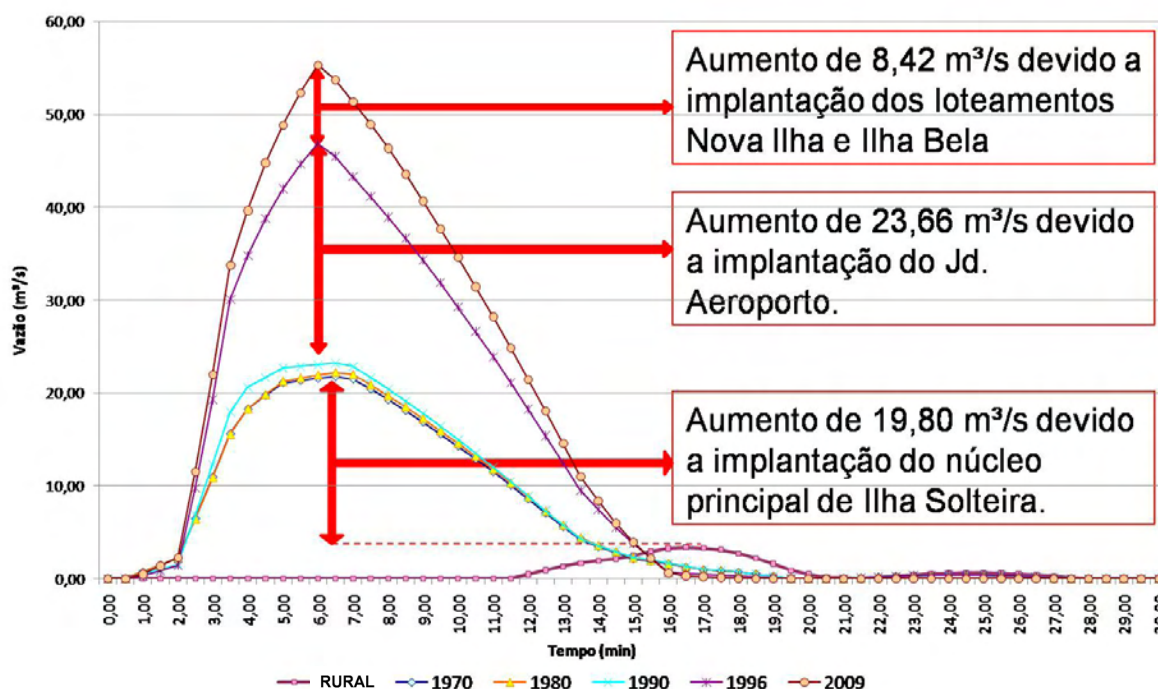


Figura 58 – Hidrogramas sub-bacia do Córrego Sem Nome para os cenários de estudo, relacionando vazões de pico com os novos loteamentos implantados

Por meio do hidrograma gerado para o cenário de 1996 (CESD = 0,38) tem-se uma vazão de pico que é maior do que o dobro do pico da vazão em 1990, sendo assim, a sub-bacia do Córrego Sem Nome, acostumada a vazões moderadas, passou a receber em seu leito principal uma vazão duas vezes maior do que o normal a partir de 1996.

A partir de 1996 é quando processos erosivos se tornam mais intensos no canal do Córrego Sem Nome.

Em 2009 (CESD = 0,42), a sub-bacia do Córrego Sem Nome gerava uma vazão de cheia de 55,28 m³/s em um tempo de pico igual a 6min, ou seja, quando comparado com a condição rural houve uma antecipação de 10,50 minutos.

Os hidrogramas para os anos de 1996 e 2009 apresentam o formato quase triangular, pois a infiltração passa a perder a capacidade de alterar o traçado do hidrograma em função da redução representativa das áreas permeáveis, sujeitas ao comportamento exponencial da equação de Horton.

Efeitos de amortecimento nos picos de vazões não são notados no hidrograma total, embora a área de contribuição J tenha tido uma demonstração positiva de como as áreas permeáveis podem promover o controle do pico do escoamento superficial.

De acordo com as Tabelas 29 e 30 a área de contribuição J apresentou o maior CESD para o ano de 1970 e conseqüentemente a maior Pef.

Para o cenário de 2009 a redução no CESD e na Pef, quando comparados com os valores obtidos para o cenário de 1970, representou uma redução na vazão de pico de 1,74 m³/s, representando uma redução de 12,60 m³ de escoamento superficial sendo lançado no canal do Córrego Sem Nome.

Portanto, ter dividido a sub-bacia em áreas de contribuição de dimensões menores permitiu a análise dos efeitos de diferentes características de uso e ocupação da terra que a análise global iria suprimir, tal como o efeito notado pelo hidrograma mostrado pela Figura 55 que retrata as vazões da área de contribuição J.

5.2.4 Vazão calculada X capacidade existente

Tendo sido definidas as áreas de contribuição A, B, C, E e H como críticas, F, I e K como sob atenção e as áreas D, G e J como fora de atenção, segue-se a avaliação da capacidade de vazão das canalizações que fazem os lançamentos do escoamento superficial proveniente das áreas de contribuições.

A Figura 59 apresenta um resumo das vazões de pico nos lançamentos de cada uma das áreas de contribuição para os cenários analisados. Com intuito de complementar a Figura 59, a Tabela 35 é apresentada, na qual são mostradas as capacidades de vazão das tubulações nos lançamentos.

Em negrito na Tabela 35 estão destacados os valores de capacidade de vazão que foram excedidos e o ano em que a vazão escoada foi superior a capacidade de escoamento da tubulação de drenagem.

Para complementar o diagnóstico de pontos críticos da sub-bacia do Córrego Sem Nome, segue a Tabela 36 na qual é dada a capacidade de vazão do canal do córrego e a vazão escoada com base nos hidrogramas de cheia calculados neste trabalho.

Das cinco áreas críticas apenas três estão com a capacidade menor do que a capacidade necessária, entretanto, esta avaliação está retratando apenas o ponto final da rede de drenagem das áreas de contribuição, ficando, desta forma, sem ser avaliada a capacidade de escoamento dos trechos da microdrenagem a montante dos lançamentos finais.

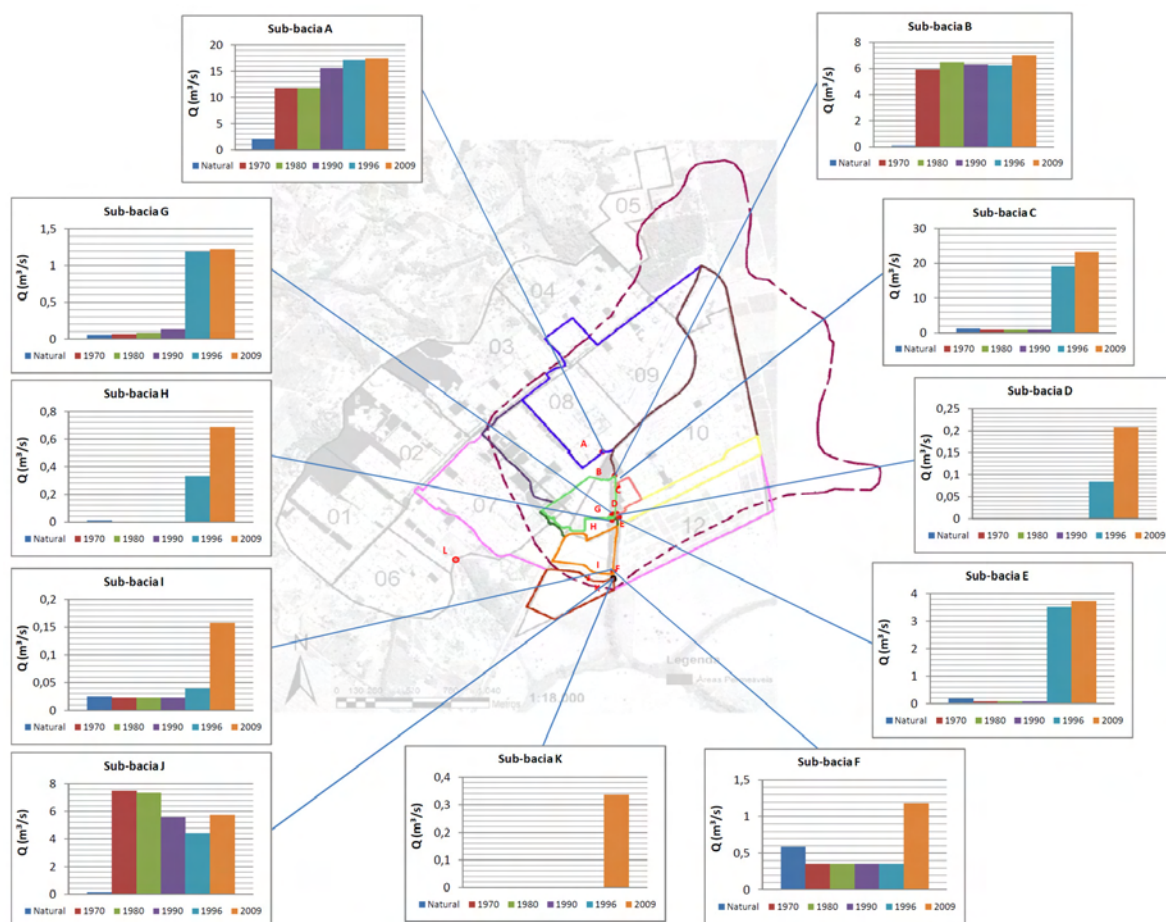


Figura 59 – Vazões de pico nos lançamentos para os cenários analisados

Tabela 35 – Vazões de pico x capacidade de vazão das tubulações dos lançamentos das áreas de contribuição

CENÁRIO	ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO											SUB-BACIA
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
RURAL	2,038	0,096	1,320	6×10^{-4}	0,180	0,583	0,057	0,013	0,024	0,154	7×10^{-4}	3,40
1970	11,733	5,906	0,882	5×10^{-4}	0,077	0,357	0,070	0,004	0,022	7,478	5×10^{-4}	21,74
1980	11,794	6,495	0,882	5×10^{-4}	0,077	0,357	0,082	0,004	0,022	7,333	5×10^{-4}	22,21
1990	15,578	6,279	0,882	5×10^{-4}	0,077	0,357	0,132	0,004	0,022	5,578	5×10^{-4}	23,20
1996	17,179	6,237	19,038	0,083	3,510	0,357	1,189	0,330	0,039	4,419	5×10^{-4}	46,86
2009	17,512	7,019	23,251	0,249	3,720	1,450	1,225	0,689	0,158	5,736	0,335	55,28
Capacidade de vazão	13,46	4,14	14,88	4,84	4,63	2,34	5,70	5,05	2,43	21,04	1,46	De 33,56 a 34,30**
Ano em que a capacidade foi excedida	1990	1970	1996	-	-	-	-	-	-	-	-	1996

* Esta vazão foi estimada em função de um tubo de concreto de ϕ 2000 mm;

** Admitindo que o Trecho 4 estivesse canalizado e, portanto, apto a comportar a vazão de 34,30 m³/s.

Tabela 36 – Vazões de pico x capacidade de vazão do canal do Córrego Sem Nome

	PERÍODO	TRECHO			
		1	2	3	4
CAPACIDADE DO CANAL	RURAL - 2001	Indefinida*	Indefinida*	Indefinida*	Indefinida*
VAZÃO MÁXIMA NO PERÍODO		0,02 m ³ /s**	23,42 m ³ /s	41,23 m ³ /s	46,85 m ³ /s
CAPACIDADE DO CANAL	2001 - 2009	0,01 m ³ /s	33,56 m ³ /s	33,56 m ³ /s	34,30 m ³ /s ***
VAZÃO MÁXIMA NO PERÍODO		0,02** m ³ /s	24,54 m ³ /s	44,25 m ³ /s	55,28 m ³ /s

* A capacidade do canal é dada como indefinida em função de não haver informações sobre como era o perfil transversal do canal.;

** Vazão média plurianual estimada;

*** Admitindo a capacidade calculada no projeto de canalização do Trecho 4.

Porém, a análise dos lançamentos finais permite diagnosticar, juntamente com imagens, como as mostradas pelas Figuras 60A e 60B, as regiões onde as ações para conter o escoamento superficial são fundamentais.

A Figura 60A mostra um ponto da área de contribuição D para a qual escoar o deflúvio não golfado pelas bocas de lobo da área de contribuição C, já a Figura 60B retrata um ponto da área de contribuição G que recebe o excesso de escoamento proveniente das áreas de contribuição A e B.

A análise da capacidade de escoamento do canal do córrego será feita apenas para o cenário de 2009, em decorrência de não haverem informações suficientes para se traçar os perfis das seções do córrego antes da interferência urbana.

A capacidade de vazão do canal do Córrego Sem Nome, conforme exposto pela Tabela 36, só não é suplantada no Trecho 2, entretanto na seção final deste trecho localizada na travessia da Rua 7 de Setembro é onde ocorre um ponto crítico do canal: o estrangulamento do canal.

O canal trapezoidal, apresentado neste trabalho pela Figura 40 localizada na página 118, tem capacidade de vazão de 33,56m³/s, entretanto a travessia da Rua 7 de Setembro é composta por apenas duas células de concreto pré-fabricado de 1,5 m x 1,5 m, resultando em uma área disponível de 4,5 m².

A área de 4,5 m² é associada a uma vazão máxima de aproximadamente 11 m³/s, considerando seção plena.

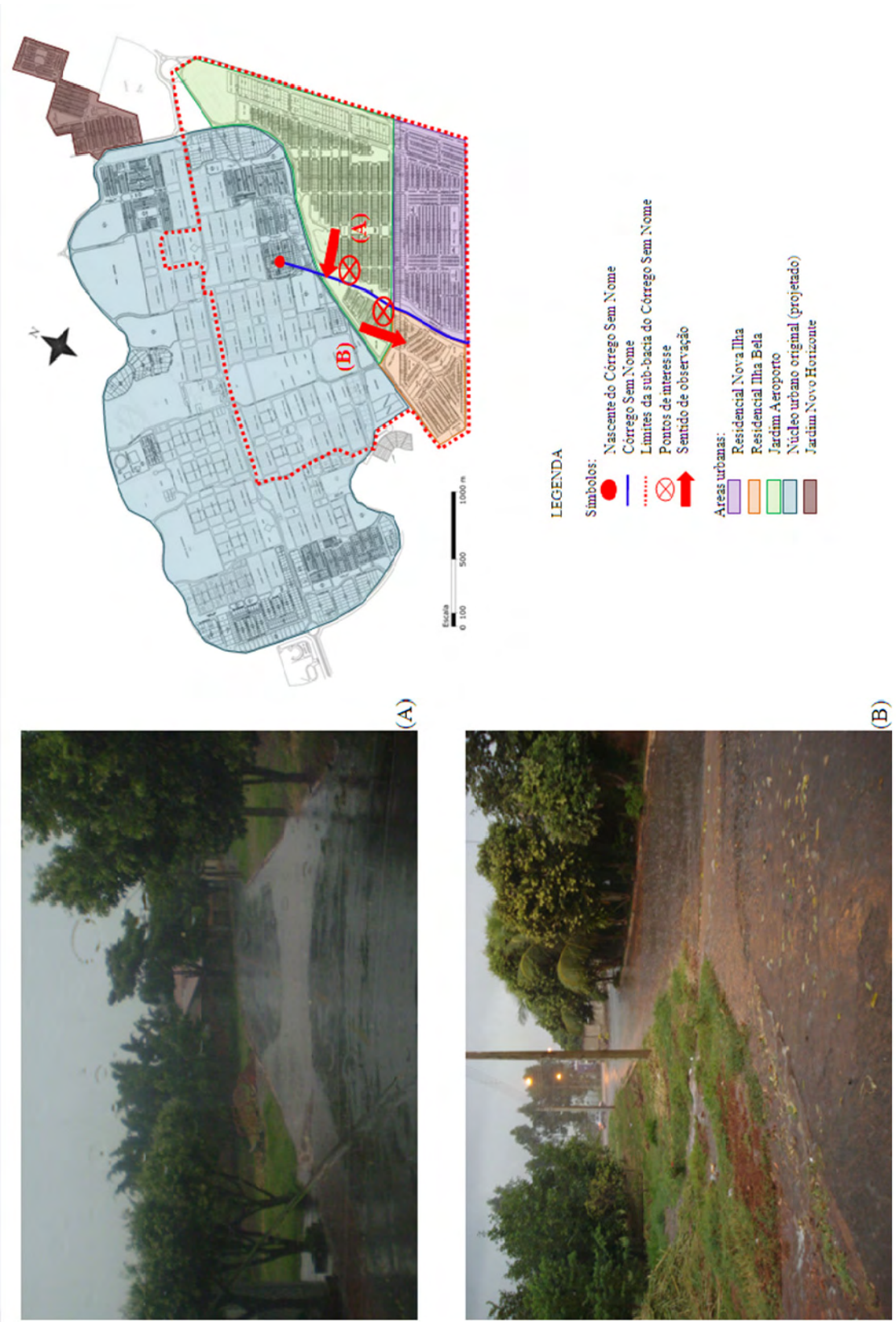


Figura 60 – Vazões excedentes na (A) área de contribuição D e (B) área de contribuição G
(Fonte: fotos do arquivo pessoal de Thiago Garcia da Silva Santim 16/5/2008)

Para comportar a vazão de dimensionamento das seções do canal de montante e de jusante a seção da travessia da Rua 7 de Setembro deveria contar com uma área de no mínimo 14 m², pois atualmente esta travessia funciona como um barramento do tipo *in stream*.

Todavia, esta função de conter o escoamento não havia sido prevista no dimensionamento da travessia que demonstra pontos de colapso em sua estrutura, conforme mostrado pela Figura 31A da página 101.

O Trecho 1, sujeito apenas a vazão do olho de água que dá origem ao fio d'água conhecido como Córrego Sem Nome possui uma capacidade de vazão de no máximo 0,01 m³/s. Embora seja uma capacidade inferior à vazão de 0,02 m³/s é uma capacidade suficiente para escoar a vazão real, pois a vazão de 0,02 m³/s, obtida ao aplicar o método de DAEE (1994) na área de estudos, é muito alta quando comparada com as observações feitas em campo e que permitem dizer que o Córrego Sem Nome é um corpo hídrico de regime irregular, pois no período de seca o pequeno fio d'água que caracteriza o canal, seca, dando ao córrego características de um rio efêmero.

O Trecho 3 tem capacidade de escoar uma vazão de 33,56 m³/s, mas a vazão a qual está sujeito é de 44,25 m³/s quando se avalia os efeitos de uma precipitação de tempo de duração de 10 minutos e tempo de retorno de 10 anos. Entretanto, apesar de possuir uma capacidade disponível menor do que a solicitada, este trecho não apresenta problemas, pois o estrangulamento da seção da Rua 7 de Setembro nos eventos pluviométricos de grande intensidade, amortece o pico de vazão.

O amortecimento resulta em melhores condições de drenagem para o Trecho 3, mas o Trecho 2 passa a apresentar remanso e em determinadas ocasiões, quando o evento chuvoso é bastante intenso, o escoamento chega a passar por sobre as duas células de concreto da seção da travessia da Rua 7 de Setembro.

Os Trechos 2 e 3, apesar do problemas relatados anteriormente, atenderam a necessidade principal de sua execução: conter o processo erosivo que havia se iniciado nestes dois trechos após a implantação do Jd. Aeroporto.

O Trecho 4, também alvo do projeto de canalização que foi colocado em prática apenas nos Trechos 2 e 3, ainda sofre com os processos erosivos, porém, mesmo que este trecho tivesse sido canalizado a sua capacidade de drenagem seria inferior a vazão solicitada, conforme apresentado pela Tabela 36.

Embasado no diagnóstico feito anteriormente, algumas soluções podem ser propostas, porém não se pode deixar de lado o trecho a jusante do Trecho 4, ou seja, o trecho ainda sem medidas de controle implantadas.

Ilha Solteira ao longo da expansão urbana sempre lançou o escoamento superficial a jusante da área urbanizada e então por necessidade da dinâmica imobiliária, passava a ocupar a área que recebia os lançamentos.

Esse comportamento pode ser visto com a implantação do núcleo principal que lançava os escoamentos nos pontos A e B, ambos localizados em uma região em que posteriormente foi implantado o loteamento popular Jd. Aeroporto, este por sua vez lançava o deflúvio superficial nos pontos C, G e D, sendo que apenas o ponto C está localizado integralmente na região do Jd. Aeroporto.

Os lançamentos G e D localizam-se exatamente no ponto final do córrego localizado no Jd. Aeroporto, ou seja, no ponto que delimitava o fim da área urbana e início da área rural.

Dessa maneira, apenas o canal a jusante do loteamento (Trecho 4) é que sofreu com o incremento de vazão ocasionado por estes dois lançamentos.

Em 2006 foi iniciada a ocupação dos terrenos à margem do Trecho 4 e mantendo a característica exposta anteriormente, a rede de drenagem dos loteamentos às margens do Trecho 4 foram feitos no ponto limite do córrego, entre a área urbana e a área rural.

Ao comportamento relatado pode ser associado o aparecimento de processos erosivos a jusante da nova área urbana e a intensificação dos processos erosivos dos trechos do canal do córrego que ficaram em meio a área urbana.

5.2.5 Propostas para o controle do escoamento superficial

Com base no diagnóstico feito anteriormente serão feitas a seguir propostas de medidas para o controle do escoamento superficial da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

As soluções sugeridas contemplaram principalmente o novo alvo dos processos erosivos, ou seja, o trecho a jusante da seção de estudos, o qual estará sujeito ao aumento de vazão em função do adensamento urbano que ocorrerá nos loteamentos Nova Ilha e Ilha Bela.

Para controlar e conter os processos erosivos atuais e evitar o aparecimento de processos erosivos futuros as soluções a serem propostas a seguir abrangeram as medidas

estruturais não convencionais extensivas e intensivas e as medidas não estruturais, conforme a aplicabilidade de cada um dos tipos para as situações avaliadas.

As situações a serem estudadas levaram em consideração os seguintes aspectos: tipo de ocupação das áreas de contribuição críticas, trechos do canal do córrego que estão operando no limiar da segurança prevista no projeto e controle das condições de uso e ocupação da terra dos dois novos loteamentos: residencial Nova Ilha e residencial Ilha Bela.

Dessa forma, as áreas de contribuição críticas A, B, C e E são as ocupadas pelas moradias com maiores taxas de impermeabilização e com as maiores densidades demográficas.

Nessas quatro áreas de contribuição estão edificadas: o núcleo urbano principal, no qual quase todos os telhados dos imóveis são geminados, e o Jd. Aeroporto que é constituído apenas por moradias do tipo popular.

Desse modo, tanto o núcleo urbano principal quanto o Jd. Aeroporto possuem residências sem espaço suficiente para se praticar medidas de controle na fonte.

Para estas áreas de contribuição impor medidas de controle do tipo não estrutural, tal como uma legislação municipal que obrigue os moradores a deixar mais áreas sujeitas à infiltração, iria implicar em perda de qualidade de vida, pois se por um lado haverá o aumento de áreas verdes resultando em conforto térmico e na melhoria das condições para a fase de infiltração do ciclo hidrológico, por outro obrigará os moradores a viverem em áreas menores.

Diminuir a área de habitação em regiões cuja densidade demográfica é alta e a área dos lotes é menor tornam as soluções não estruturais impraticáveis, pois não terão aceitação por parte dos moradores.

Assim sendo, para as áreas de contribuição A, B, C e E tidas como críticas propõem-se medidas do tipo estruturais não convencionais extensivas, tal como a alteração do tipo de cobertura utilizada no sistema viário.

Interferir no tipo de cobertura do sistema viário implicaria em atuar em 25,60% da área da sub-bacia do Córrego Sem Nome. O sistema viário também permite implantar medidas de contenção na fonte tal com valas de infiltração ao longo das guias, nas praças e mesmo nas calçadas.

Esta solução poderia resultar em um amortecimento do pico de cheia de aproximadamente 20%, apenas alterando o coeficiente de escoamento superficial médio do sistema viário de 0,88 para 0,40 sem interferir nas moradias.

Entretanto, para as áreas nas quais os lotes são maiores, como no caso dos residenciais Nova Ilha e Ilha Bela, há a possibilidade da prática das medidas não estruturais

como, por exemplo, o estabelecimento de legislação que obrigue os moradores a manterem áreas livres susceptíveis à infiltração, permitindo a contenção na fonte.

Outra possibilidade de prática das medidas não estruturais seria incorporar à grade horária das escolas de ensino básico disciplinas que insiram os alunos no contexto do ciclo hidrológico e apresentado a eles os conceitos de hidrologia e hidrologia urbana.

Assim, teríamos as medidas não estruturais estabelecendo diretrizes, procedimentos e planos de atuação, obrigando os novos imóveis a deixar áreas livres para possibilitar a infiltração, em regiões nas quais as dimensões dos lotes tornem possível tal prática, e na educação da população, tornando notável o ciclo hidrológico e a presença do córrego Sem Nome na vida da população de Ilha Solteira.

Ressalta-se que as medidas não estruturais teriam como objetivo regulamentar a expansão urbana das áreas ainda com baixa demanda por medidas de controle, pois para as áreas com elevada densidade demográfica os objetivos e interesses da população são intangíveis com os objetivos das medidas de contenção no lote, sendo necessário para estas áreas também lançar mão das medidas estruturais não convencionais extensivas.

Já as medidas estruturais não convencionais do tipo intensivas controlariam o regime do corpo hídrico, além de impedir e conter os processos erosivos das áreas subjacentes à ocupação urbana.

A sub-bacia do Córrego Sem Nome apresenta o canal principal com problemas em todos os trechos que recebem o escoamento superficial da rede de drenagem.

O Trecho 2 não atinge sua vazão limite, entretanto possui um ponto no qual ocorre um estrangulamento da seção: a travessia da Rua 7 de Setembro.

O Trecho 3, caso não houvesse a contenção forçada no estrangulamento existente no Trecho 2, iria transportar uma vazão superior a sua capacidade de drenagem.

O Trecho 4 não foi canalizado e mesmo que o projeto previsto para este trecho saísse do papel, a capacidade oferecida seria menor do que a demandada.

Uma solução do tipo estrutural não convencional seria a implantação de 3 reservatórios de retenção nos pontos chamados de R1, R2 e R3 da Figura 61.

O reservatório R1 exercerá a função de retenção que o estrangulamento da travessia da Rua 7 de Setembro vem exercendo indevidamente e assim o reservatório R1 garantirá que o escoamento do Trecho 3 não seja superior ao projetado.

O reservatório R2 terá a função de reter dentro do Jd. Aeroporto o excedente de vazão gerada por esta área urbana, contendo o processo erosivo do Trecho 4, além de possibilitar a implantação do projeto de canalização já elaborado.

Por fim, o reservatório R3 teria como finalidade principal regularizar a vazão do trecho a jusante da área urbana, preservando sua característica rural, evitando o avanço de processos erosivos nos trechos ainda sem projetos de canalização e ainda sem a interferência da ocupação urbana.

Outra função do reservatório R3 seria a de conter o processo erosivo do Ramal da Rodoviária que já se encontra em um estágio bastante avançado e de difícil controle. O reservatório R3, com o intuito de estabilizar o processo erosivo, irá possuir um lago, deixando submersa a erosão existente.

Em resumo cada reservatório será responsável por reter o aumento de vazão gerada por cada uma das etapas de urbanização: o R1 contém o escoamento superficial direto (ESD) gerado pelo núcleo urbano principal, o R2 o ESD referente ao Jd. Aeroporto e o R3 o ESD devido aos residenciais Nova Ilha e Ilha Bela.

Os reservatórios também devem ser projetados com objetivos multifinalitários, ou seja, quando não estiverem exercendo a sua função principal de conter o excedente do escoamento superficial, eles poderiam servir como opções de lazer para a população residente no entorno, integrando as estruturas de retenção ao contexto social da região beneficiada.

A cidade de Ilha Solteira sempre contou com opções de recreação e lazer em função do projeto original ter implantado áreas verdes, quadras poliesportivas e clubes com uma distribuição igual para cada região do núcleo urbano.

Entretanto, as expansões além dos limites do núcleo urbano principal (projetado) não seguiram as diretrizes preconizadas no projeto original, deixando de prever áreas de recreação e lazer de forma igualitária, fazendo com que os moradores dos novos loteamentos, Jd. Aeroporto, residenciais Nova Ilha e Ilha Bela, tenham que se locomover até ao núcleo urbano principal para poder ter acesso a uma quadra poliesportiva ou a uma área verde.

Os três reservatórios foram propostos justamente nestas áreas fora do escopo do projeto original e ao se implantar os reservatórios de retenção em conjunto com uma infraestrutura que possibilite novas opções de lazer a Administração Pública estará indo de encontro às diretrizes do projeto original mantendo uma característica de projeto considerada no projeto original do núcleo urbano: ter distribuição igualitária das áreas de recreação e lazer na área urbana.

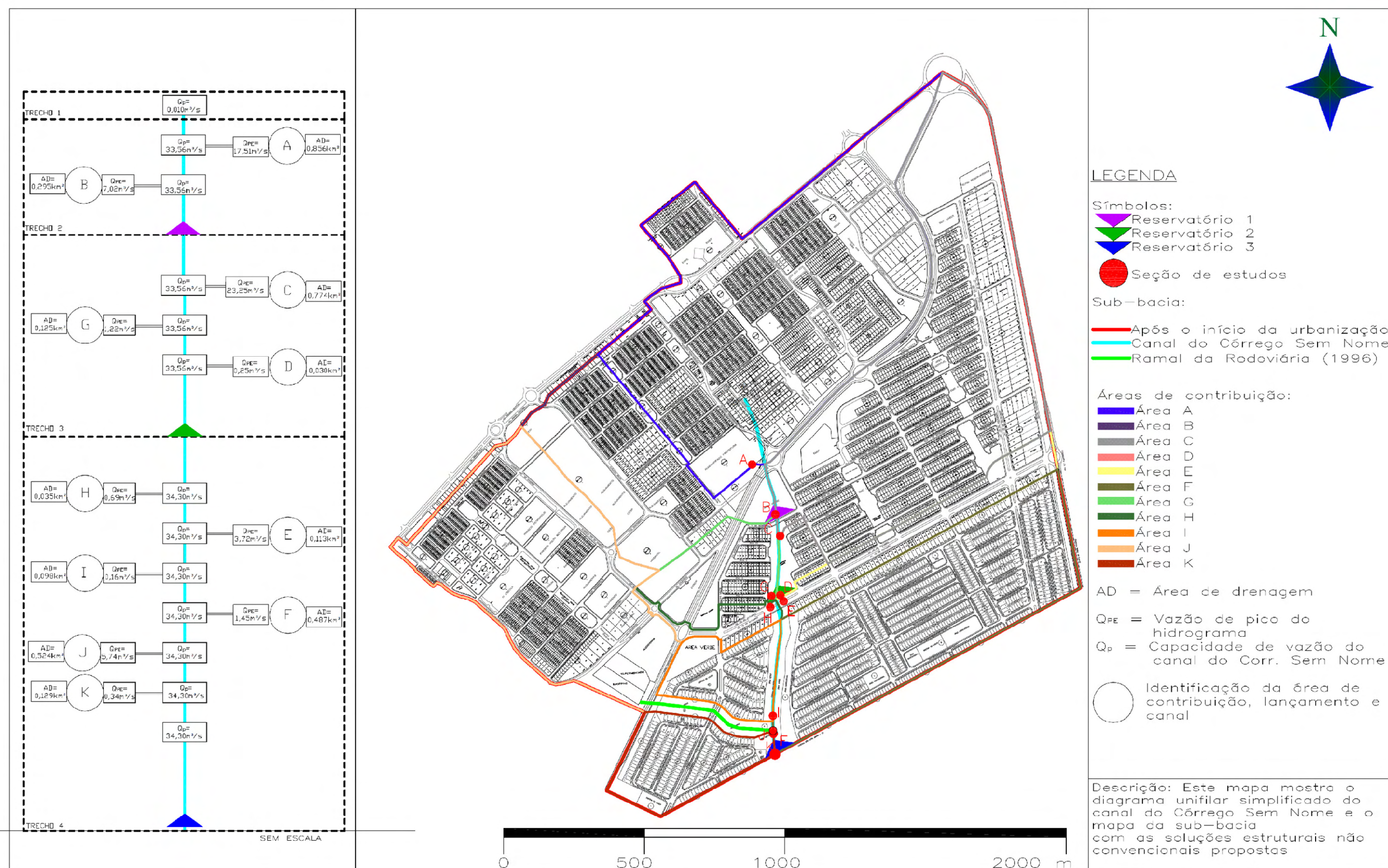


Figura 61 – Propostas de controle do escoamento superficial e diagrama unifilar das vazões recebidas pelo canal do Córrego Sem Nome

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apresentados atenderam ao objetivo de fornecer uma análise da sub-bacia na busca de entender como o processo erosivo existente a jusante da ponte da Avenida 15 de Outubro pôde ter atingido a dimensão atual em se tratando de um alvéolo de pequenas vazões apresentando comportamento semelhante ao de um rio efêmero apesar de ser perene.

Por meio dos hidrogramas gerados foi possível notar o momento em que o corpo hídrico passou a ter que suportar vazões superiores à sua capacidade dada pela condição rural.

O trabalho também permitiu o diagnóstico da situação atual, a definição das áreas de contribuição e dos trechos críticos e esboçou propostas de soluções para conter o aumento do escoamento superficial em função da expansão urbana.

O presente trabalho conseguiu reunir e compatibilizar no ferramental computacional as informações existentes sobre Ilha Solteira de diferentes fontes, tais como:

- O Plano Diretor do Município de Ilha Solteira;
- As planilhas de cadastro de uso e ocupação da terra de Santim (2007);
- As informações das cartas temáticas de Porto (2001).

O ferramental computacional desenvolvido ainda permite o prognóstico por meio de simulações, tal como a simulação da implantação de medidas de controle estruturais do tipo extensivas substituindo apenas as cartas temáticas existentes no banco de dados, ou seja, para verificar a eficiência de ações como a substituição da cobertura asfalto por pavimento intertravado, basta alterar o tipo de ocupação na carta de uso e ocupação da terra e avaliar qual o impacto desta modificação do pico de vazão no hidrograma da sub-bacia ou de alguma área de contribuição em específico.

Assim, o ferramental confeccionado fornece à Prefeitura Municipal de Ilha Solteira a possibilidade de fazer análises sobre as ações a serem incluídas no plano de drenagem urbana do município de forma rápida e sem grandes gastos com estudos preliminares.

O desenvolvimento do Programa LH²-01 foi fundamental para o usuário pode utilizar apenas as planilhas do *Excel*, pois com base nas cartas temáticas tratadas no *ArcMap* foi estruturado um cadastro técnico em *Excel* que permite ao usuário fazer modificações nas áreas ocupadas pelos tipos de coberturas da terra diretamente no *Excel*.

Esse passo dispensa a utilização de *softwares* de geoprocessamento, tal como o *ArcMap*, cujo custo de aquisição e implantação e plataformas requeridas para rodá-lo poderia inviabilizar a implantação, pois além destes gastos ainda seria preciso gastar tempo e dinheiro no treinamento do pessoal para o uso desses *softwares* de geoprocessamento.

Dessa maneira, ao se obter no final deste trabalho uma base de dados em *Excel*, cujo uso é amplamente difundido e que não requer um longo treinamento dos usuários para operação, torna o uso do Programa LH²-01 economicamente viável.

Assim, apesar do estudo ter atingido seus objetivos, ele deve ser visto como um primeiro passo, e proposições futuras devem ser feitas com o intuito de agregar maior simplicidade, flexibilidade e múltiplas finalidades ao banco de dados em ambiente SIG que não seja vinculado aos *softwares* que implicariam em um alto custo de implantação.

Pois, permitir ao usuário trabalhar com cartas temáticas, visualizando as alterações em um ambiente SIG com um *software* sem grande complexidade para o trabalho e sem custos proibitivos são os passos a serem dados com as futuras pesquisas.

O que se pretende é que o usuário a partir do programa integrado apenas selecione as opções que deseja analisar e assim o modelo irá fazer todas as rotinas transpor as informações das cartas temáticas que compõe o banco de dados.

Dessa forma, depois de estruturado para atender às novas demandas será possível trabalhar com dados em diferentes níveis, ou seja, incorporar à análise 2D elementos espaciais, possibilitando que o usuário do programa trace trechos aleatórios e seja possível obter tanto as coordenadas planas quanto as tridimensionais, sem prévias estruturas.

A Figura 45 localizada na página 130 deste trabalho é tida como as etapas a serem vencidas com o decorrer das pesquisas, pois estruturar o modelo integrado ao SIG é o objetivo final.

Também é primordial destacar que as atividades como a instalação de redes hidrométricas na sub-bacia do Córrego Sem Nome serão passos futuros fundamentais para calibrar o modelo e testar novos métodos a serem propostos para o estudo da hidrologia urbana da sub-bacia do Córrego Sem Nome.

A obtenção de uma série histórica que venha calibrar e validar o método proposto é necessária para que a amplitude do trabalho não se limite a apenas fazer um histórico teórico de vazões, mas sim, servir de base para novos modelos, planos de macro e microdrenagem.

Ao receber as informações empíricas coletadas em campo por meio de redes hidrométricas o método proposto pode ser empregado no auxílio ao dimensionamento de

medidas de controle do escoamento na fonte no nível de lote e em ações no próprio leito do córrego.

Portanto, faz-se necessário instrumentar a sub-bacia do Córrego Sem Nome para se avaliar a eficácia do uso de Horton integrado ao método do balanço de massas e assim confirmar os cálculos hidráulicos, tais como os de dimensionamento de estruturas de dissipação de energia e dos reservatórios propostos, para que possam ser feitos com o mesmo nível automação com a qual foram feitas as análises deste estudo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **A compensação financeira das Usinas Hidrelétricas e os municípios**. Palestra baseado nos dados do ano de 2009. Disponível em: <http://portal.cnm.org.br/sites/7800/7857/apresentacoesExternas/aneel/Apres_CompFin_11_04.ppt>. Acesso em: 18 dez. 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Programa associado de gerenciamento de cheias**: workshop de inundações da América do Sul. União da Vitória e Porto União: ANA, 2002. 12 p. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/UsosMultiplos/arqs/PalestraUniaodaVitoria.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2008.

AISSE, M. M. et al. Sustentabilidade urbana e gestão das águas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL EM GESTÃO URBANA, 1., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: PUCPR, Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, 2003. 49 p.

ALMEIDA, C. M. et al. Perspectiva histórica de modelos de dinâmicas urbanas e regionais. In: ALMEIDA, C.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. M. **Geoinformação em urbanismo**: cidade real x cidade virtual. São Paulo: Oficina de textos, 2007. Cap. 12, p. 255-285.

ARAÚJO, G. H. S. et al. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.

ARAÚJO, P. et al. A avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-28, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Introdução aos pavimentos intertravados. In: _____. **Curso básico**: pavimentos intertravados. São Paulo: ABCP, 2004. p. 1-27.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAND, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BARROS, R. T. V. et al. **Saneamento**: manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 211 p.

BECKER, P. **Obtenção de informações para Plano Diretor de drenagem urbana utilizando o SIG**. 2006. 115 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

BRAGA, B. D. F. Gerenciamento urbano integrado em ambiente tropical. In: SEMINÁRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL APLICADA A PROBLEMAS DE DRENAGEM URBANA, 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1994.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Vulnerabilidade ambiental**: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. 192 p.

BRASIL. Secretaria Nacional do Saneamento Ambiental. **Gestão de águas pluviais urbanas**: programa de modernização do setor do saneamento. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 197 p.

BOHNENBERGER, J. C.; CÉSAR JR, K. M. L. Planilhas eletrônicas para o dimensionamento de redes de drenagem urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA – COBENGE 99, 27., 1999, Natal-RN. **Anais...** Natal: UFRN, 1999. p. 1952-1959.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CARLSON, T. N. Analysis and prediction of surface runoff in an urbanizing watershed using satellite imagery. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 40, n. 4, p. 1087-1098, 2004.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S.A. – CESP. **A cidade de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: Administração Especial de Ilha Solteira – AEIS, 1974. 68 p.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S.A – CESP. Ilha Solteira. **Engenharia**: Revista do Instituto de Engenharia, São Paulo, p. 182, 1975.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S.A. – CESP. **Ilha Solteira ano 0002**. Ilha Solteira: Administração Especial de Ilha Solteira – AEIS, 1970. 48 p.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S.A. – CESP. **Ilha Solteira**: experiência de implantação de uma cidade. Ilha Solteira, 1970. 116 p.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S.A – CESP. **Relatório de atividades 1969**. Ilha Solteira, 1969. 118 p.

CHÁVEZ, J. C. M. **O processo de produção de habitação popular**: estudo de caso na cidade acampamento de Ilha Solteira. 1988. 272 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1988.

CHRISTOFOLETTI, A. **A modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blucher, 1999. 240 p.

COUNTY, H. **Storm water education task force presentation manual**. Ohio: Regional Planning Commission, 2002. 108 p.

CYSNE, J. R. **Modelo conceitual para gerenciamento de recursos hídricos em ambiente de SIG**. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

DELLEUR, J. W. Introduction to urban hydrology and stormwater management. In: KIBLER, D. F. (Ed.). **Urban stormwater hydrology**. Washington, D.C.: American Geophysical Union, 1982. p. 1-26.

DEMORE, B. S. et al. Contribuição das Geotecnologias na avaliação ambiental da região de influência das Usinas Hidrelétricas do Complexo de Urubupungá: estudo da microbacia hidrográfica Córrego da Onça. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** [S.l.]: INPE, 2007. p. 859-866. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.09.18.52/doc/859-866.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual para drenagem de rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. 333 p.

DIAS, R. W.; TEIXEIRA, D. J. Sistemas de informações geográficas aplicados ao gerenciamento de pequenos municípios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 15., 1991, São Paulo. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1991.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **GIS in the defense and intelligence communities**. California, 2005. 72 p. Disponível em: <www.esri.com/defense>. Acesso em: 22 ago. 2009.

ESTEVES, F. A. E. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência - FINEP, 1988. 575 p.

FIGUEIREDO, R. B. **Engenharia social: soluções para áreas de risco**. São Paulo: Makron Books, 1994. 251 p.

FRANCIS, F. O. **Hidráulica de meios permeáveis: escoamento em meios porosos**. Rio de Janeiro: Interciência; São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980. 89 p.

FREITAS, M. A. S. Modelos diários chuva-vazão em bacias do semi-árido brasileiro. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, n. 15, p. 31-38, 1994.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA – FCTH. **Plano Diretor de macrodrenagem do Alto Tietê**. São Paulo: DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo, dezembro 1998.

FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – FUSP. **Sumário executivo do Alto Tietê**. São Paulo: Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, 2002. 72 p. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-AT/559/PLANO%20DE%20BACIA%20DO%20ALTO%20TIETE%20VERSAO-2%20SETEMBRO-2002.HTML>>. Acesso em: 15 out. 2008.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 201 p.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do Arroio Cancela-RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 11, p. 1-10, 2006.

GOOGLE EARTH. **Ilha Solteira**: imagens de satélite. Mountain View: Google, 2006. Fotografia aérea.

GRIPP JR. et. al. **Cadastro técnico municipal de cidades de pequeno porte**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Setor de Engenharia de Agrimensura, 2002. 4 p. Disponível em <<http://www.ufv.br/nugeo/ufvgeo2002/resumos/jgripp.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

HALL, M. J. **Urban Hydrology**. New York : Elsevier Applied Science , 1984. 299 p.

HARA, T. L. **Técnicas de apresentação de geoprocessamento**. 1997. 120 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Instituto Nacional de Pesquisa – INPE, São José dos Campos, 1997.

ILHA SOLTEIRA. Prefeitura Municipal. **Plano diretor**: diagnóstico. Ilha Solteira: TécnuS – Prestação de Serviço em Engenharia e Urbanismo, 2007. 294 p. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/plano_diretor_municipal/planodiretormunicipal.php>. Acesso em: 11 jul. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Atlas de Saneamento**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/>. Acesso em: 30 out. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiros**: meio ambiente 2002. Rio de Janeiro, 2005. 382 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/meio_ambiente_2002/meio_ambiente2002.pdf> Acesso em: 30 out. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Obtenção de dados para um SIG**. [S.l.: s.n.], 2002. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/unidades/geralucs/estat/metodologia.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT. **Relatório n. 40.675**: diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano de bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados: relatório final. São Paulo: IPT, 2000. 3 vols.

KONRAD, C. P.; BOOTH, D. B. **Hydrologic trends associated with urban development for selected streams in western Washington**. Reston: U.S. Geological Survey, 2002. 40 p. (Geological Survey Water-Resources Investigations Report 02-4040). Disponível na internet <<http://water.usgs.gov/pubs/wri/wri024040>>. Acessado 07/2008.

KOTZIAN, H. B. Modelagem matemática utilizando planilhas eletrônicas (Excel) para a verificação do comportamento hidráulico-hidrológico do reservatório da barragem do Arroio Canapé, em Cachoeira do Sul/RS. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos – ReRH**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 12-21, 2007. Disponível em: <<http://iph.ufrgs.br/revista/pdf/RERH0301.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2008.

KUICHLING, E. The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, New York, v. 20, p. 1-56, 1889.

LAZARO, T. R. **Urban hydrology: a multidisciplinary perspective**. Lancaster: Technomic Publishing, 1990. 239 p.

LEOPOLD, L. B. **Hydrology for urban land planning: a guidebook on the hydrologic effects of urban land use**. Reston: U.S. Geological Survey Circular, 1968. 554 p.

LINSLEY, R. K. **Hydrology for engineers**. New York: McGraw-Hill Book, 1958. 508 p.

LISBOA FILHO, J. Projeto de bancos de dados para sistemas de informação geográfica. **Revista Eletrônica de Iniciação Científica**, Lavras, v. 1, n. 2, nov. 2001. Disponível em: <<http://www.sbc.org.br>>. Acesso em: 4 mai. 2005.

LOCH, C. A realidade do cadastro técnico multifinalitário no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1281-1288.

MCCUEN, R. H. **Hydrologic analysis and desing**. New Jersey: Pretice-Hall, 1998. 814 p.

MANGE, E. R.; KATO, A. **Planejamento de Ilha Solteira: núcleo urbano**. São Paulo: [s.n.], 1963. v. 1, 105 p.

MENDES, C. A. B; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 533 p.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 3. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES, 2003. 416 p.

ONO, S.; BARROS, M. T. L.; CONRADO, G. A utilização de SIG no planejamento e gestão de bacias urbanas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2005. p. 471.

PINHO, C. M. D. et al. Classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos. In: ALMEIDA, C.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. M. **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. Cap. 8, p.171-192.

POLETO, C. **Monitoramento e avaliação da qualidade da água de uma microbacia hidrográfica no município de Ilha Solteira-SP**. 2002. 117 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: USP, Escola de Engenharia de São Carlos, 2006. 519 p.

PORTO, O. S. **Cartas temáticas digitais do município de Ilha Solteira/SP para auxílio à gestão territorial**. 2001. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

PORTO, R. L. L. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1995. p. 107-165.

REFOSCO, C. J. Modelos dinâmicos espaciais e sua utilização na análise de mudanças do uso do solo regional. In: ALMEIDA, C.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. M. **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. Cap. 15, p. 328-365.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Introdução à modelagem dinâmica espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n.], 2003. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2_modelos_hidrologicos.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2009.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: USP, Escola de Engenharia de São Carlos, 1998. 819 p.

SABOL, G. V. et al. **Drainage design manual for Maricopa County, Arizona: hydrology**. Phoenix: Flood Control District of Maricopa County and Maricopa County Department of Transportation, 2003. 350 p.

SANTIM, T. G. S. **A evolução da ocupação do solo e sua influência na drenagem urbana de Ilha Solteira**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007. 91 p.

SANTIM, T. G. S.; OLIVEIRA, J. N. Análise preliminar das modificações temporais do uso e ocupação da terra e sua interferência na drenagem urbana: o exemplo de Ilha Solteira. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17 de novembro, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007. 19 p.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Saneamento e Energia. Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. **Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, 1999. 125 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Saneamento e Energia. Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: DAEE, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Saneamento e Energia. Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. **Manual de cálculo de vazões máximas, médias e mínimas das bacias hidrográficas do estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, 1994.

SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE CAXIAS DO SUL/RS – SAMAE; INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS/UFRGS – IPH. **Plano diretor de drenagem urbana**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2001. 35 p.

SETZER, J.; PORTO, R. L. L. **Tentativa de avaliação de escoamento superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, 1979. P. 82-135. (Boletim Técnico DAEE, mai/ago).

SHAMSI, U. M. **GIS applications for water, wastewater, and stormwater systems**. Boca Raton: CRC Press, 2005. 440 p.

SCHOCK, M.R.; CLEMENT, J.A. You can't do that with these data! or: uses and abuses of tap water monitoring analyses. In: NATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL PROBLEM-SOLVING WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 1995, Cincinnati. **Proceedings...** Cincinnati: Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Sep. 1995. p. 31-41. (EPA/625/R-95/004).

SILVA, A. B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Ed. da UNICAMP, 2003. 240 p.

SILVA, J. A. **Direito urbanístico brasileiro**. São Paulo: Malheiros, 1995. 476 p.

SILVA, A. P. B. **Emprego de tecnologias CAD/SIG na espacialização de informações do BIC de cadastro urbano municipal**. 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SIGRH. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 17 nov. 2009.

SOUZA, T. F. **Drenagem urbana sob cenários de longo prazo visando incentivos ambientais**. 2008. 253 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. São Paulo: Navegar, 2002. 475 p.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, 2001. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4).

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: ABRH, 1998. 669 p.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: TUCCI, C. E.M. (Org.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1995. p. 277-347.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. (Orgs.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2000. 558 p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, 2003. 248p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. **Dados agrometeorológicos**. Ilha Solteira, 2009. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/clima.php>>. Acesso em: 18 nov. 2009.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION – UNESCO. **SWITCH Integrated Project: Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health**. [S.l.: s.n.], 2008. Disponível em: <<http://switchurbanwater.lboro.ac.uk/research/2.php>>. Acesso em: 18 nov. 2009.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Stormwater best management practices**. EPA, 2002. Disponível em: <www.epa.gov/ORD/NRMRL/publications.html>. Acesso em: 11 jul. 2008

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw–Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WALESH, S. G. The hydrologic cycle in the urban environment. In: _____. **Urban surface water management**. New York: Wiley, 1989. p. 53-76.

WANIELISTA, M. P.; YOUSEF, Y. A. **Stormwater management**. New York: John Wiley & Sons, 1993.

WENG, Q. Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS. **Environmental Management**, New York, v. 28, n. 6, p. 737-748, 2001.
WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 478 p.

ANEXO A

- Plantas das residências previstas no projeto inicial de Ilha Solteira-

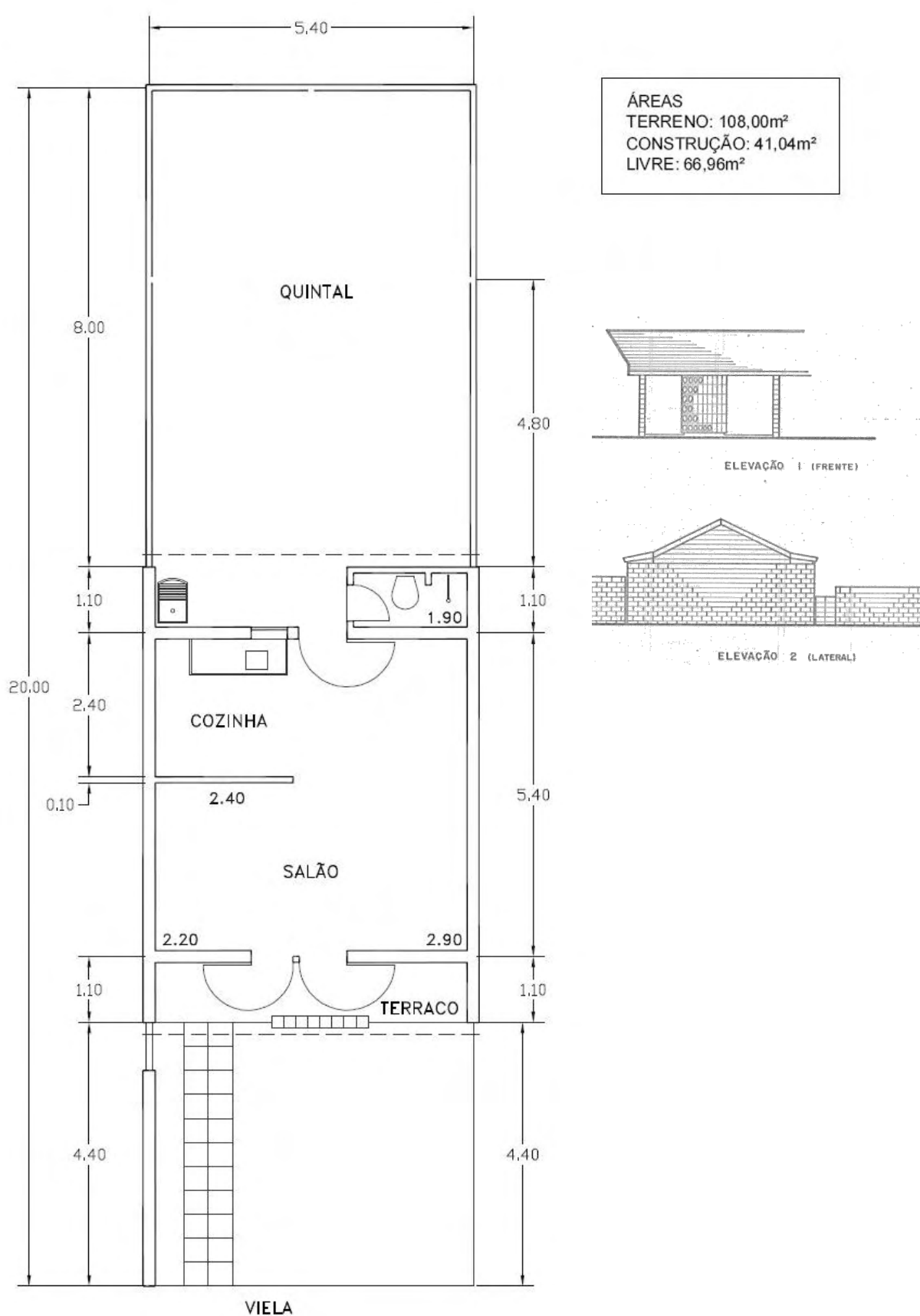


Figura A – Planta e elevações da casa tipo 1(MANGE; KATO, 1963)

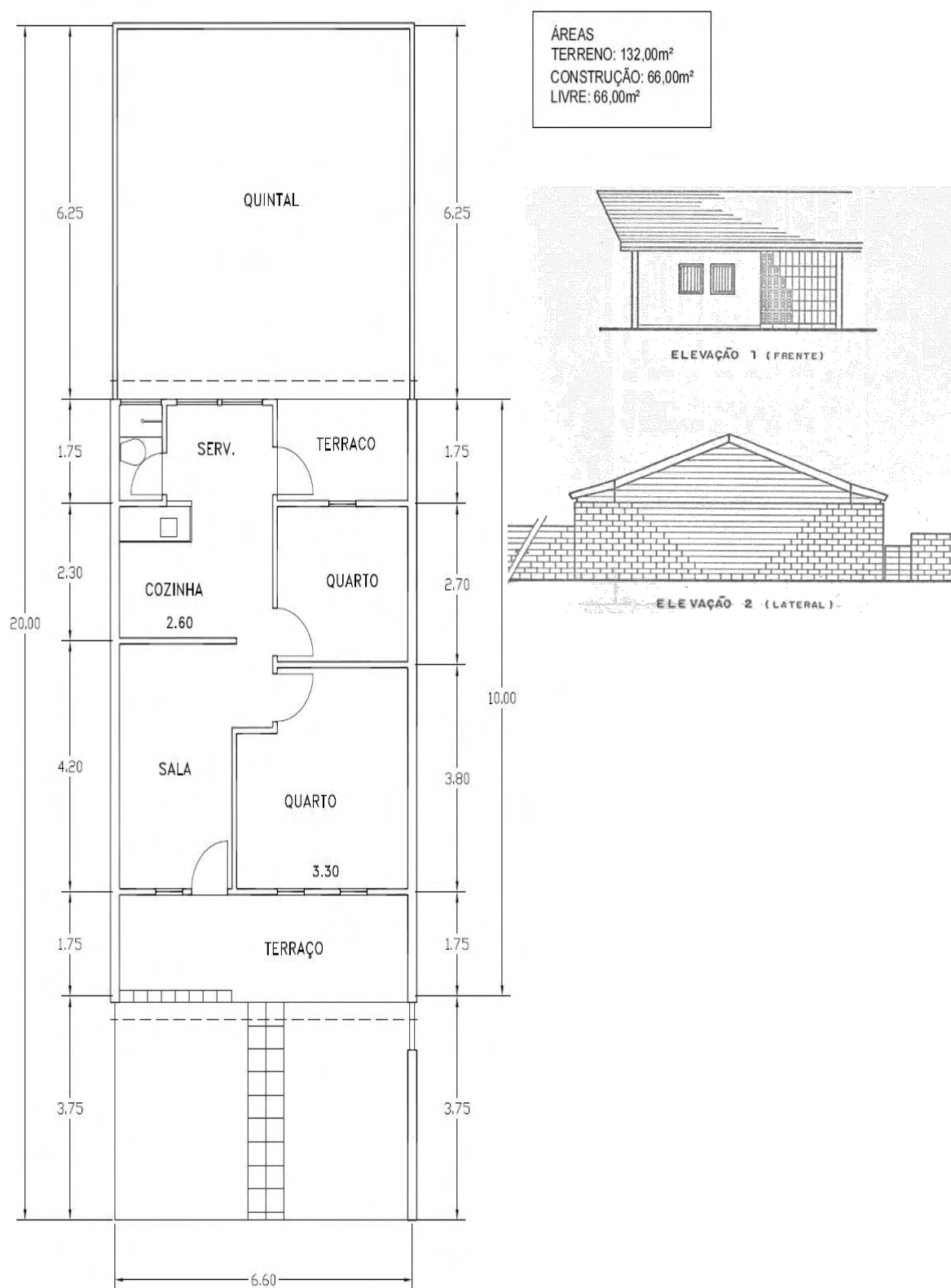
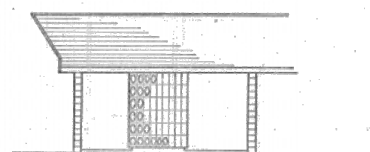


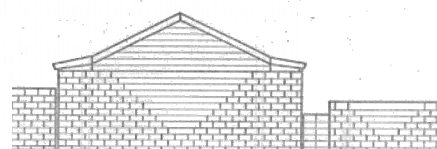
Figura B – Planta e elevações das casas tipo 2 e 3 (MANGE; KATO, 1963)



ÁREAS
 TERRENO: 108,00m²
 CONSTRUÇÃO: 83,97m²
 LIVRE: 24,03m²



ELEVÇÃO 1 (FRENTE)



ELEVÇÃO 2 (LATERAL)

Figura C – Planta e elevações das casas tipo 2R (MANGE; KATO, 1963)

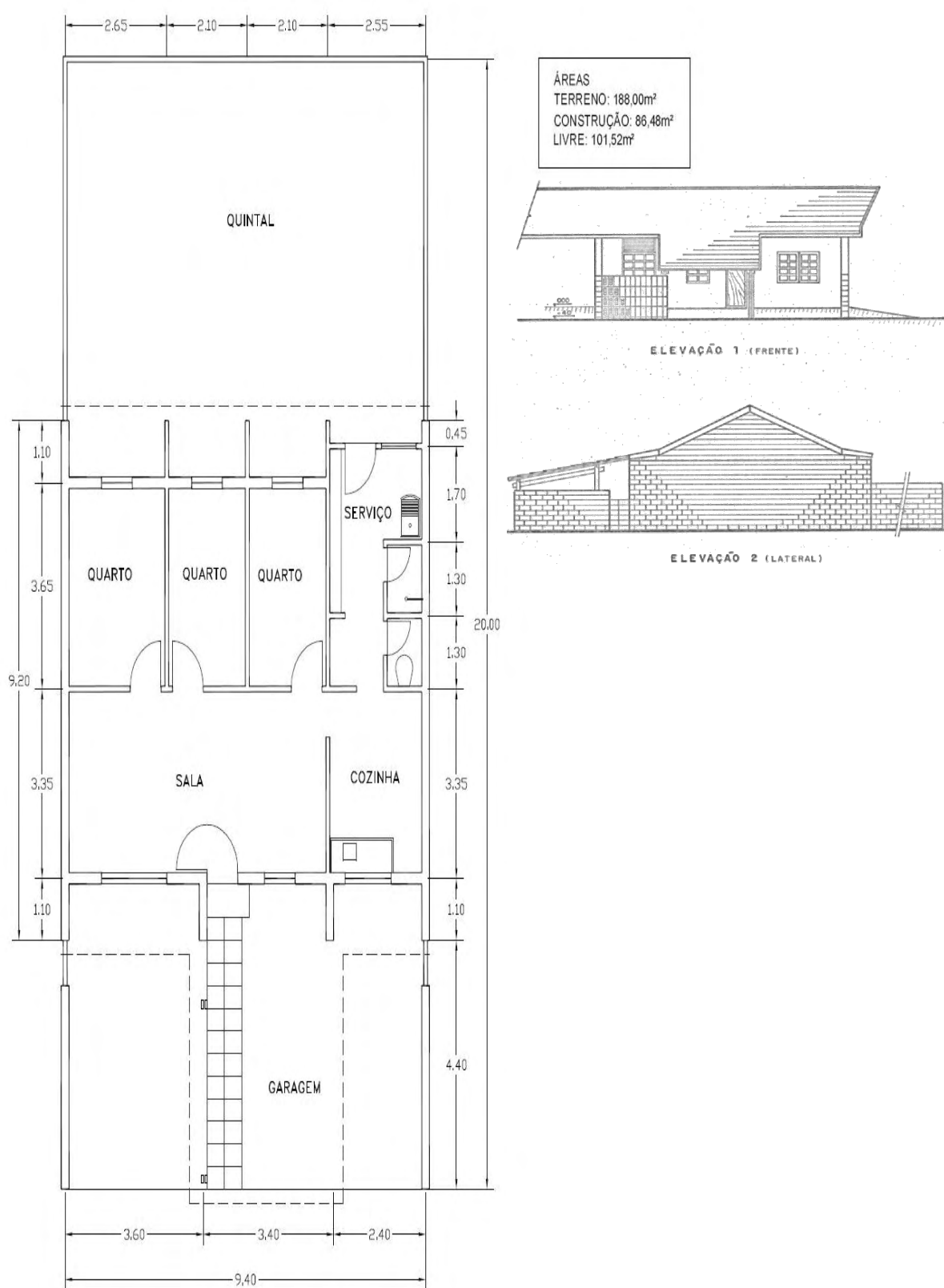


Figura D – Planta e elevações da casa tipo 4 (MANGE; KATO, 1963)

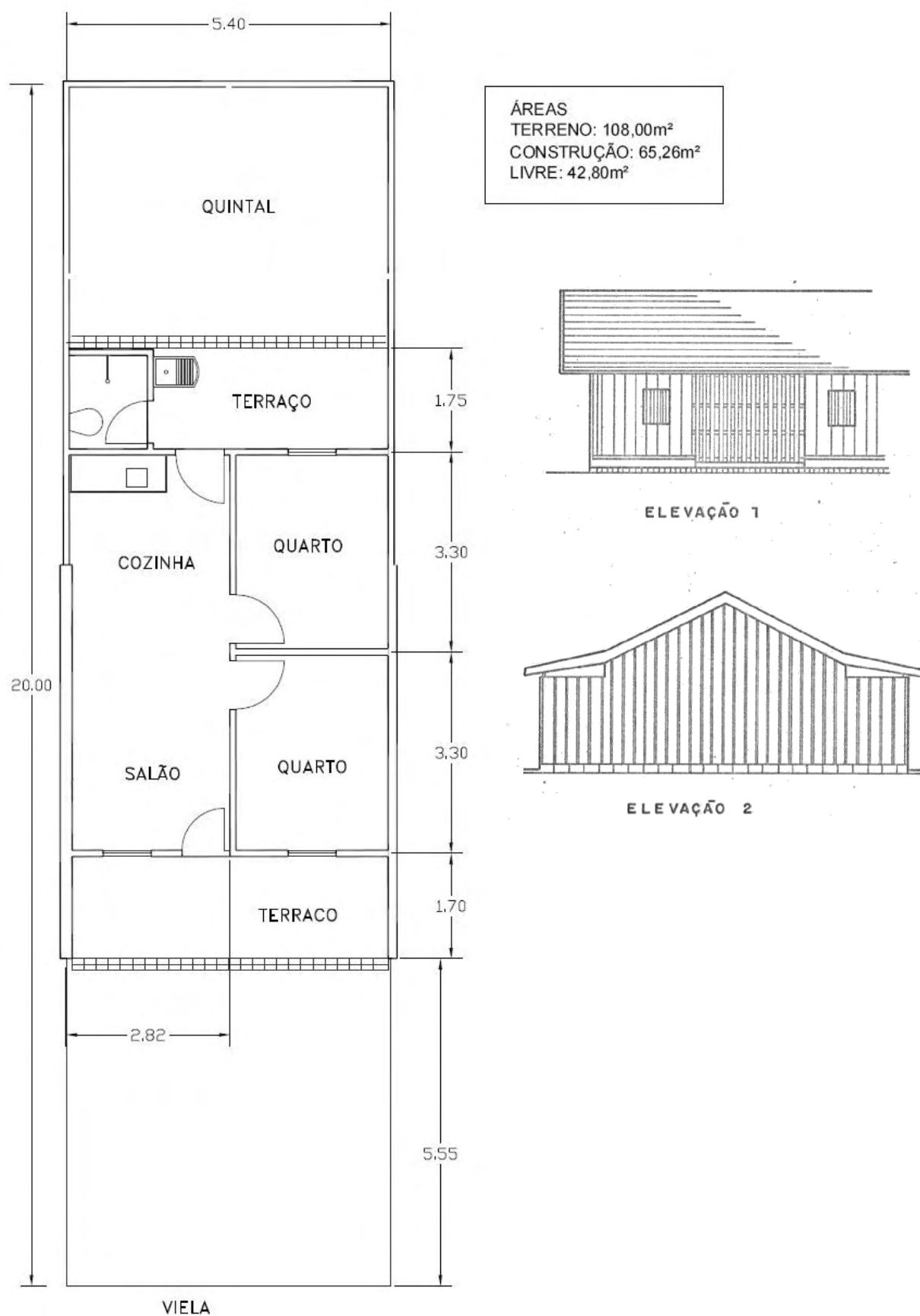


Figura E – Planta e elevação da casa tipo 2M-2Q (MANGE; KATO, 1963)

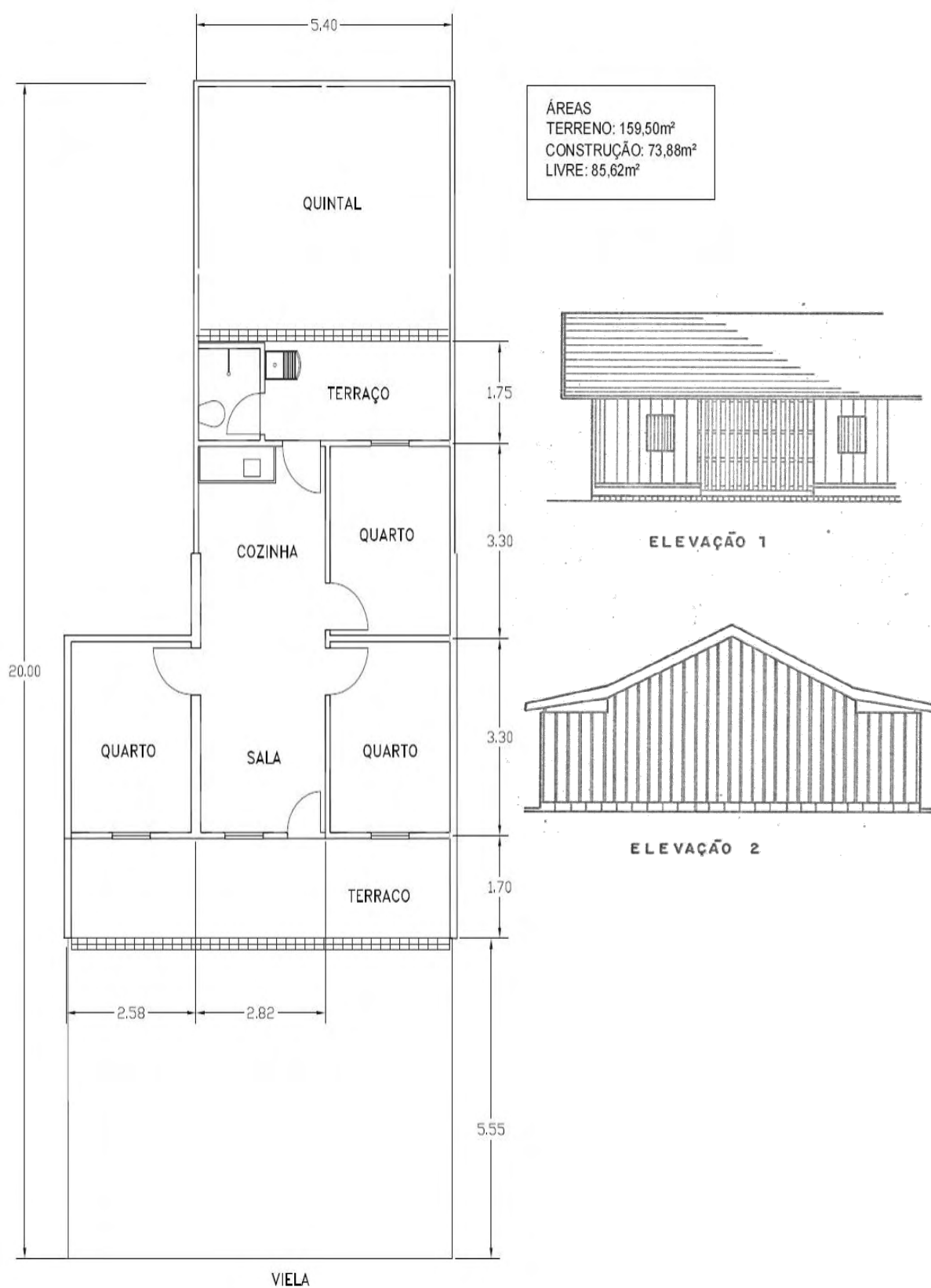


Figura F – Planta e elevação da casa tipo 2M-3Q (MANGE; KATO, 1963)

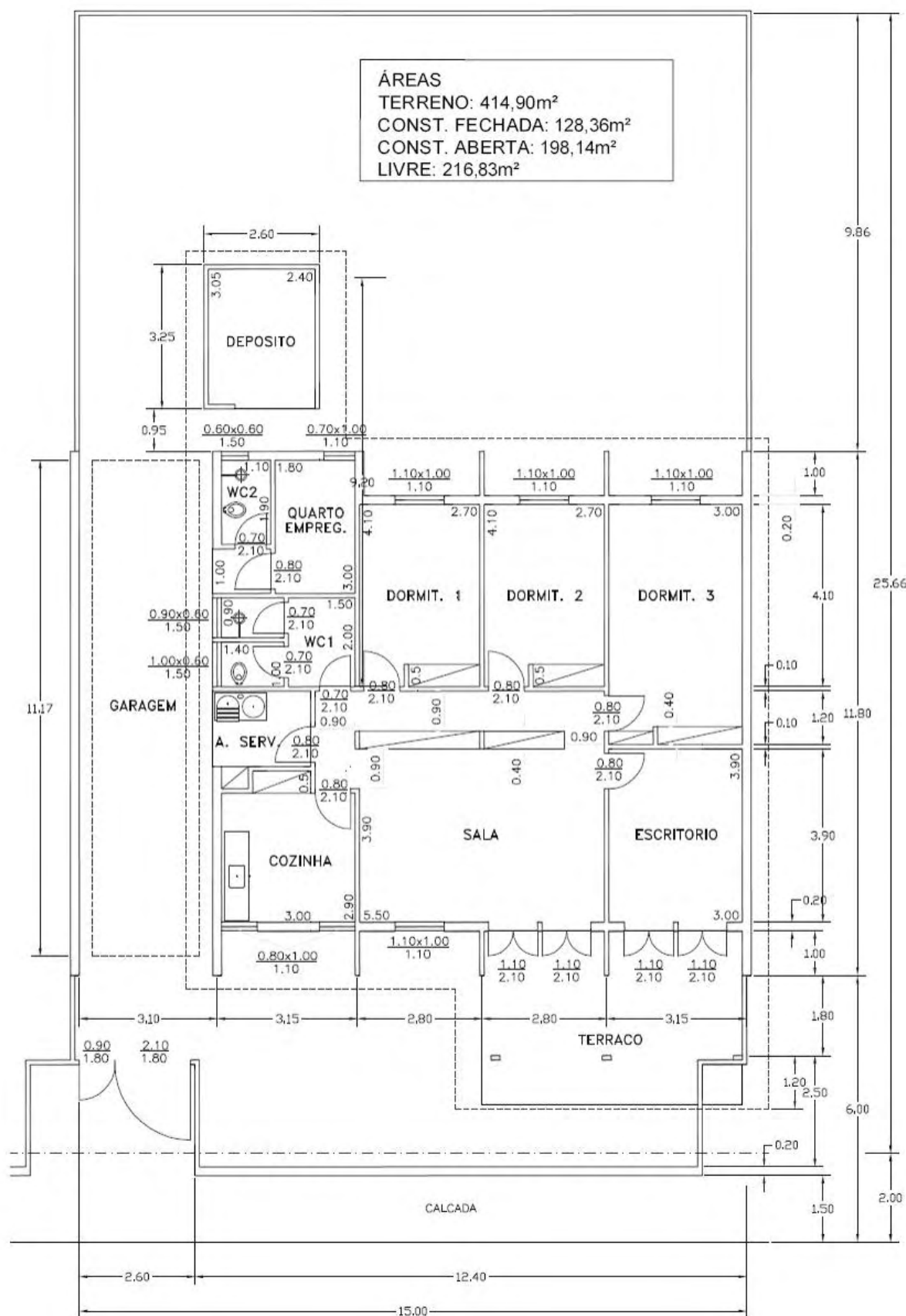


Figura G – Planta da casa tipo 5 (MANGE; KATO, 1963)

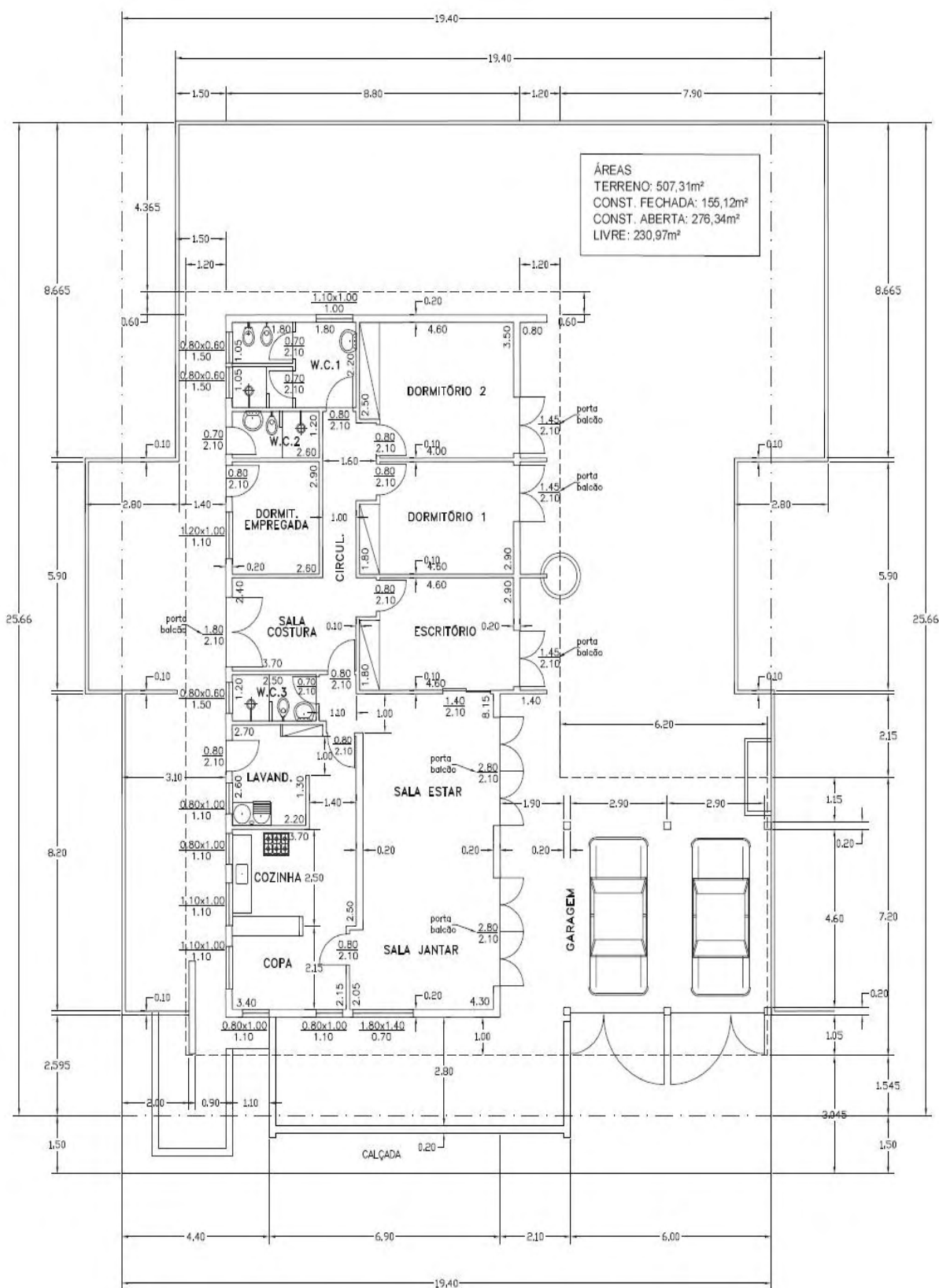
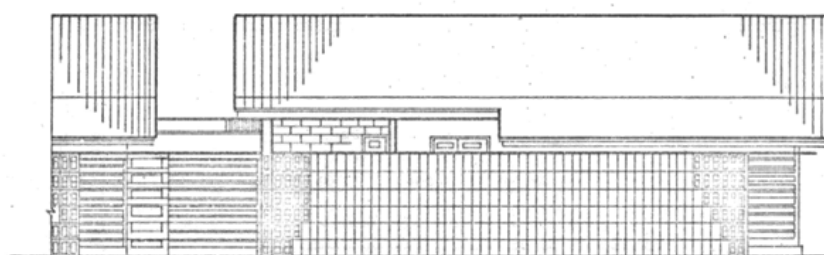
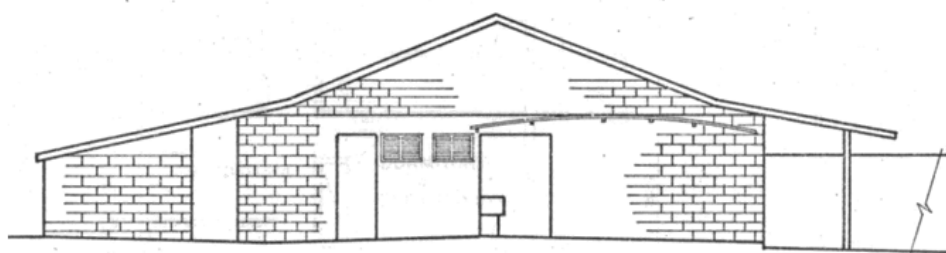


Figura H – Planta da casa tipo 6 (MANGE; KATO, 1963)

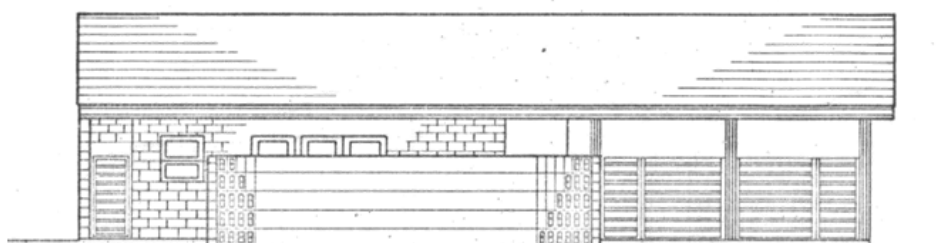


ELEVAÇÃO 1



ELEVAÇÃO 2

Figura I – Elevações da casa tipo 5 (MANGE; KATO, 1963)



ELEVAÇÃO 1



ELEVAÇÃO 2

Figura J – Elevações da casa tipo 6 (MANGE; KATO, 1963)

ANEXO B

- Cálculos Hidrológicos para a sub-bacia do Córrego Sem Nome -

I. CÁLCULO DOS COEFICIENTES DE FORMA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO SEM NOME

a. Coeficiente de compacidade Kc

De acordo com Villela e Mattos (1975) o coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius Kc é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia hidrográfica, conforme representado pela Equação i.

$$Kc = 0,28 \cdot P / A^{0,5} \quad (i)$$

Em que:

Kc – Coeficiente de compacidade (adimensional);

P – Perímetro da bacia hidrográfica (km);

A – Área da bacia hidrográfica (km²).

Quanto mais próximo do valor mínimo de 1,00 for o coeficiente de compacidade, mais próximo de um círculo será a forma da bacia, sendo também mais susceptível a enchentes em virtude de convergir o escoamento superficial ao mesmo tempo para um trecho relativamente pequeno do rio.

Os valores de Kc obtidos para o Córrego Sem Nome estão tabulados na Tabela i:

Tabela i – Valores do coeficiente de compacidade antes e depois da urbanização

Período	Área da bacia (km²)	Perímetro da bacia (km)	Kc
Antes da urbanização	4,37	9,49	1,27
Depois da urbanização	3,47	8,48	1,27

b. Fator de forma Kf

De acordo com Villela e Mattos (1975) o fator de forma é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. A Figura i ilustra a divisão da sub-bacia do Córrego Sem Nome em faixas para o cálculo da largura média antes e depois da urbanização.

A Equação ii indica como é calculado o fator de forma:

$$K_f = B / L^2 \quad (ii)$$

Em que:

K_f – Fator de forma (adimensional);

B – Largura média (km);

L – Comprimento do curso mais longo da bacia, desde a sua desembocadura até a cabeceira mais distante (km);

De acordo com Villela e Mattos (1975): “O fator de constitui outro índice indicativo de maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia”.

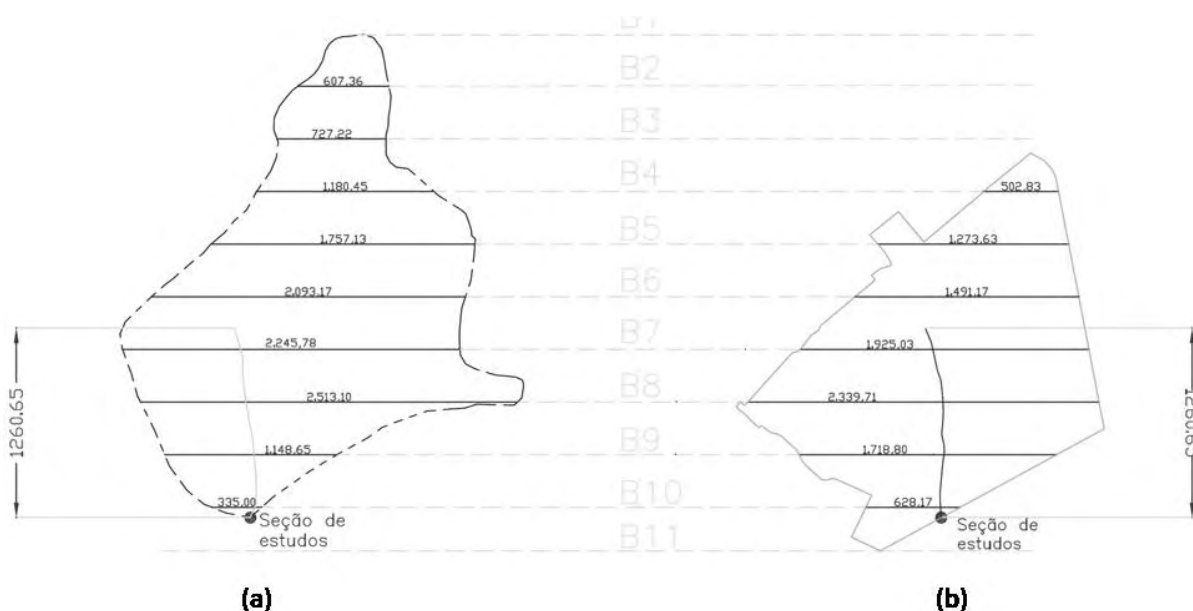


Figura K – Faixas para cálculo da largura média da bacia em metros
(a) antes da urbanização e (b) depois da urbanização

Com base nas informações disponibilizadas pela Figura i foi confeccionada a Tabela ii na qual constam as larguras das faixas para a sub-bacia em estudo.

Tabela ii – Comprimento das faixas para cálculo da largura média

Sub-Bacia	Largura das faixas (km)											Largura média (km)
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	
Antes da urbanização	0,000	0,607	0,727	1,180	1,757	2,093	2,246	2,523	1,149	0,335	0,000	1,402
Depois da urbanização	0,000	0,000	0,000	0,503	1,273	1,491	1,925	2,340	1,719	0,628	0,000	1,411

Os valores de K_f obtidos para o Córrego Sem Nome estão tabulados na Tabela iii:

Tabela iii – Valores do fator forma antes e depois da urbanização

Período	Área da bacia (km²)	Comprimento do curso (km)	Largura média da bacia (km)	Kf
Antes da urbanização	4,37	1,283	1,402	0,85
Depois da urbanização	3,47	1,281	1,411	0,86

Quanto menor o fator de forma menos sujeita a enchentes será bacia, pois indica que a bacia possui formato estreito e alongado. Assim sendo, há menos possibilidade de que uma precipitação possa cobrir toda a bacia hidrográfica, além de que uma bacia estreita e alongada converge o escoamento superficial para vários pontos do rio, não havendo a contribuição concentrada em um único trecho do rio como ocorre em bacias de formato circular.

c. Índice de conformação Fc

O índice de conformação, segundo Garcez e Alvarez (1988), compara a área da bacia hidrográfica com a área de um quadrado de lados iguais ao comprimento do curso d'água mais longo da bacia desde a sua foz até a cabeceira mais distante. A Figura i indica a dimensão do curso mais longo.

O valor do índice de conformação obtido pela Equação iii:

$$F_c = A / L^2 \quad (iii)$$

Em que:

F_c – Índice de conformação (adimensional);

A – Área da bacia hidrográfica (km²);

L – Comprimento do curso mais longo da bacia, desde a sua desembocadura até a cabeceira mais distante (km);

Os valores de Kf obtidos para a sub-bacia da seção de estudo do Córrego Sem Nome estão tabulados na Tabela iv:

Tabela iv – Valores do índice de conformação antes e depois da urbanização

Período	Área da bacia (km²)	Comprimento do curso sem meandros (km)	Fc
Antes da urbanização	4,37	1,261	2,75
Depois da urbanização	3,47	1,261	2,18

A maior potencialidade de produzir picos de cheia para o índice de conformação está em quanto mais próximo de 1,00 for o valor de F_c , pois quanto mais próximo de 1,00, mais próximo de um quadrado será a área da bacia hidrográfica, ou seja, maior a probabilidade do escoamento convergir para um mesmo trecho do rio, tal como acontece com o coeficiente de compactidade K_c quando ele se aproxima de 1,00.

ANEXO C

- Procedimentos para uso do Programa LH²-01 -

II. PROCEDIMENTOS PARA USO DO PROGRAMA LH²-01

Neste Anexo serão descritos os passos seguintes à estruturação do banco de dados, ou seja, como se deu a programação das planilhas para a obtenção dos resultados.

O primeiro passo é a escolha do período a ser analisado, cabendo ao usuário habilitar o *layer* de interesse, não podendo ficar mais de um ativo para que informações de outros anos não interfiram na análise desejada. A Figura L ilustra o exposto:

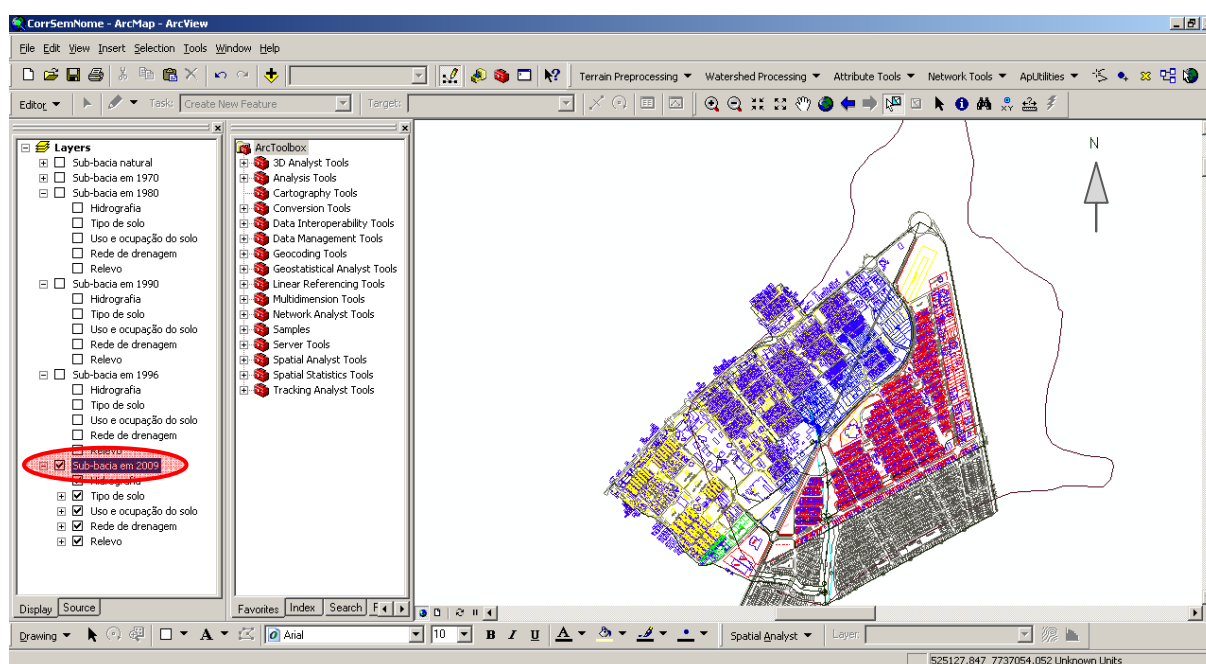


Figura L – Primeiro passo: escolha do período de interesse

O segundo passo diz respeito à escolha das áreas de contribuição selecionando o seu limite e assim obtendo a tabela de uso e ocupação da terra.

O terceiro passo é o processo de copiar as informações da tabela obtida no SIG e colar na planilha do *Excel* chamada de uso e ocupação das áreas de contribuição.

As planilhas do *Excel* foram configuradas de forma que o usuário repita os passos de 1 a 3 apenas uma vez, pois as informações para todas as bacias em todos os anos podem ser armazenadas na planilha chamada de uso e ocupação das áreas de contribuição.

Assim o usuário poderá observar no SIG, decidir o período e as áreas de contribuição que deseja avaliar, podendo iniciar os procedimentos a partir do quarto passo, no qual é utilizado um *console* na interface de *userform* gerado no VBA, conforme exposto pela Figura M.

Figura M – Console em *userform* mostrando a Etapa 1 do Programa LH²-01: dados iniciais

A Figura M trata-se da primeira etapa do programa chamado de LH²-01 que irá gerar os resultados, poupando o usuário de ter o trabalho laborioso de trazer as informações desejadas do SIG para as planilhas.

Nessa primeira etapa o usuário conecta-se a planilha e dá um nome para a análise que será feita.

Por meio do nome digitado para a análise, o usuário poderá consultar os resultados salvos no diretório *c:\LH2\análises\'nome dado na entrada'*.

A Figura N indica a segunda etapa do programa LH²-01, na qual o usuário define qual o ano que deseja abranger no estudo, podendo selecionar apenas um ano ou até todos os anos disponíveis.

A Etapa 2 define quais os limites da sub-bacia e quais os lançamentos estarão disponíveis para a análise.

A Figura O ilustra a Etapa 3 do programa LH²-01, na qual cabe ao usuário definir os lançamentos que ele deseja avaliar. É importante destacar que o hidrograma total da sub-bacia do Córrego Sem Nome é gerado mesmo quando o usuário não habilitar todos os lançamentos.

Essa possibilidade permite ao usuário avaliar como se dará o pico do hidrograma no caso de alguma das áreas de contribuição não estiver contribuindo com o escoamento superficial.

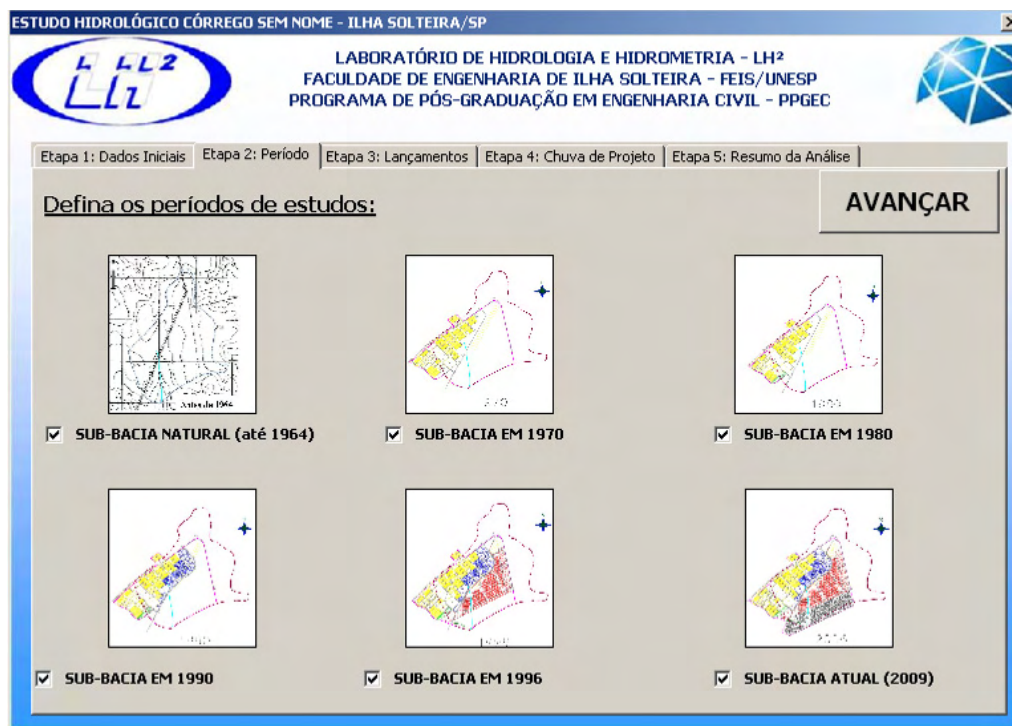


Figura N – Etapa 2 do Programa LH²-01: escolha do(s) período(s) a ser(em) analisado(s)

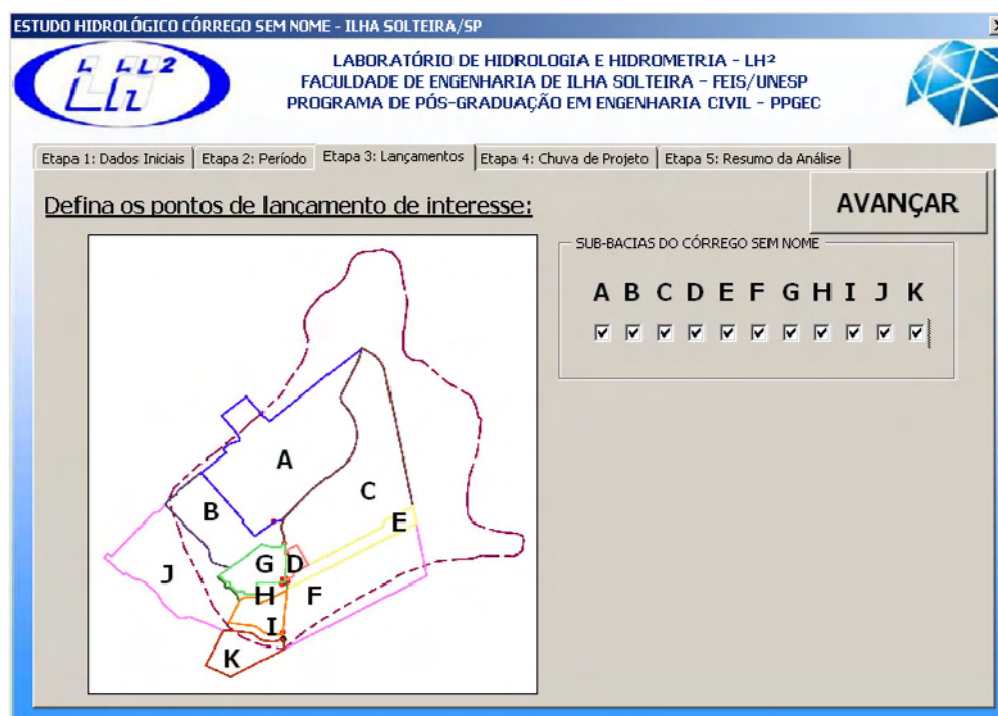


Figura O – Etapa 3 do Programa LH²-01: escolha do(s) lançamento(s) ou da(s) área(s) de contribuição para a análise

Na Etapa 4 o usuário define as variáveis para definir a chuva de projeto, ou seja, o tempo de chuva sendo igual ao maior tempo de concentração dentre os tempos de concentração das áreas de contribuição e especificação do tempo de retorno para (Figura P).

ESTUDO HIDROLÓGICO CÔRREGO SEM NOME - ILHA SOLTEIRA/SP

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E HIDROMETRIA - LH²
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA - FEIS/UNESP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGE

Etapa 1: Dados Iniciais | Etapa 2: Período | Etapa 3: Lançamentos | Etapa 4: Chuva de Projeto | Etapa 5: Resumo da Análise

Definição das variáveis da chuva de projeto:

Deseja que o tempo de duração da chuva de projetoseja igual ao tempo de concentração do trecho analisado?

Entre com o tempo de duração da chuva: **td =** **minutos**

Entre com o período de retorno desejado: **TR =** **anos**

OBSERVAÇÃO: O tempo de retorno do evento chuvoso irá definir o tempo de retorno adotado para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial.

AVANÇAR

Figura P – Etapa 4 do Programa LH²-01: definição das variáveis para determinação do tempo de duração da chuva de projeto

No caso deste estudo, optou-se por um tempo de duração de chuva igual a 10 minutos e tempo de retorno da chuva de 10 anos, desta forma tinha-se a pretensão de analisar como uma chuva de 10 anos gerou diferentes picos de vazões ao longo dos anos.

Na última etapa, o usuário tem um resumo geral das opções selecionadas (ver Figura Q), podendo alterar diretamente neste formulário as opções ou retornar e reiniciar o procedimento. Os resultados em planilhas do *Excel* estarão na forma de tabelas e gráficos.

ESTUDO HIDROLÓGICO CÓRREGO SEM NOME - ILHA SOLTEIRA/SP

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E HIDROMETRIA - LH²
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA - FEIS/UNESP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGE

Etapa 1: Dados Iniciais | Etapa 2: Período | Etapa 3: Lançamentos | Etapa 4: Chuva de Projeto | Etapa 5: Resumo da Análise

Resumo da análise:

ETAPA 1
Usuário: Administrador

Nome para a análise: Córrego Sem Nome Natural-2009

ETAPA 2
Períodos de estudos:

☒ SUB-BACIA NATURAL (até 1964)	☒ SUB-BACIA EM 1970
☒ SUB-BACIA EM 1980	☒ SUB-BACIA EM 1990
☒ SUB-BACIA EM 1996	☒ SUB-BACIA ATUAL (2009)

ETAPA 3
Lançamentos: A B C D E F G H I J K

☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Etapa 4

Entre com o tempo de duração da chuva	Entre com o período de retorno desejado
td = 10 minutos	TR = 10 anos

RETORNAR

AVANÇAR

Figura Q – Etapa 5 do Programa LH²-01: resumo geral das opções selecionadas para a análise

ANEXO D

- Tabelas e figuras complementares dos métodos de chuva x vazão-

III. SOIL CONSERVATION SERVICE - SCS

De acordo com Setzer e Porto (1979), o estado de São Paulo está subdividido em 6 zonas ecológicas ainda subdivididas em parte mais quente (índice q acompanha o código) e parte menos quente (índice f acompanha o código). Cada uma destas zonas ecológicas apresenta sua ocupação típica do solo, tipo particular de economia e mesmo características próprias da paisagem peculiar, inclusive aspectos geológicos. A Figura ii mostra o estado de São Paulo e a classificação.

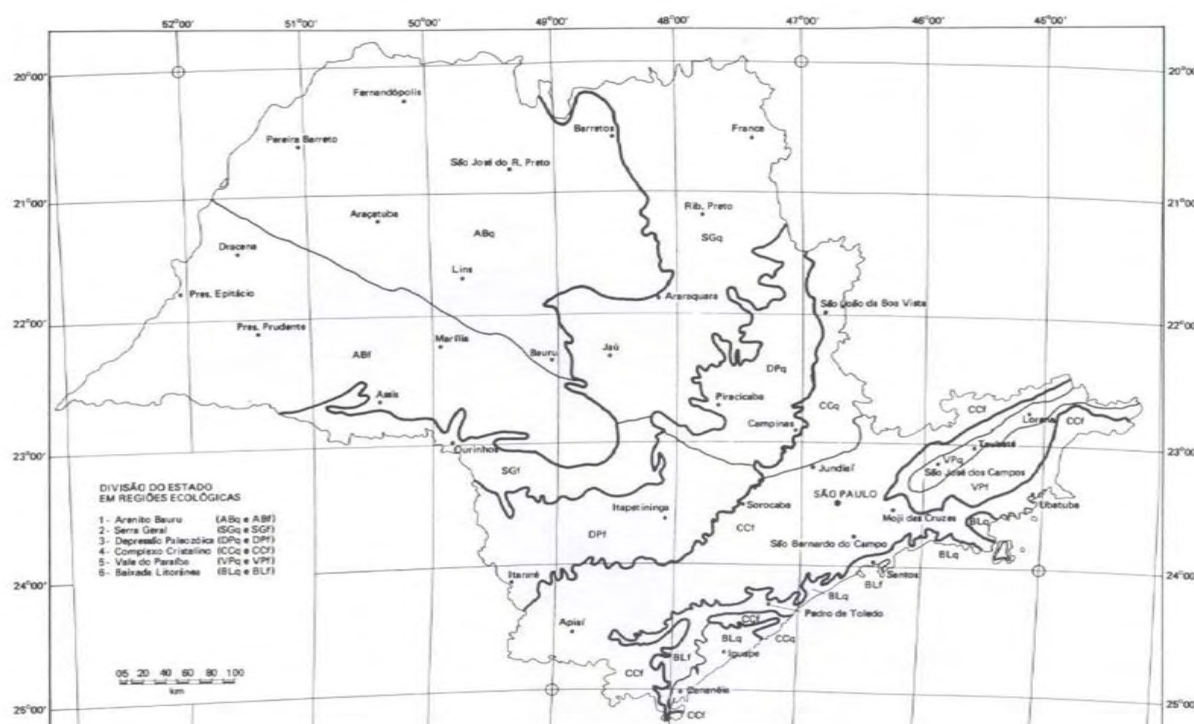


Figura R – Subdivisão do Estado de São Paulo em 6 regiões ecológicas, cada uma subdividida em mais quente e mais fria (SETZER; PORTO, 1979)

Setzer e Porto (1979), ainda elaboraram uma tentativa da percentagem de cada um dos 5 grupos hidrológicos de solo por zona ecológica no Estado de São Paulo. As Tabelas v e vi descrevem os 5 grupos hidrológicos de solo e fornecem a porcentagem de composição, respectivamente.

A classificação pelos grupos hidrológicos de solo não considera a sua topografia, tipo de uso e cobertura vegetal, sendo excluídas as terras húmusas de baixada por receberem e não fornecerem escoamento.

Tabela v – Descrição dos 5 grupos hidrológicos de solo do Esta de São Paulo

Grupo hidrológico	Descrição
A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8%; não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
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 este limite pode subir a 20% graças a maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camadas mais densificadas que a camada superficial.
C	Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2 m. No caso de terras roxas, estes dois limites máximos podem ser 40% e 1,5 m. Nota-se que cerca a 60 cm de profundidade camada mais densificada que o grupo B mas ainda longe das condições de impermeabilidade.
D	Solos argilosos (30-40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.
E	Solos barrentos como C, mas com camada argilosa impermeável ou com pedras. Ou sem tal camada, mas o teor total de argila supera 40%. No caso de terras roxas este teor pode subir a 60% (no caso D, 45%)

Fonte: Setzer e Porto (1979).

Tabela vi – Avaliação tentativa da percentagem de cada um dos cinco grupos hidrológicos de solo por zona ecológica no Estado de São Paulo

n.º do tipo de solo	descrição do tipo de solo	GRUPO HIDROLÓGICO				
		A	B	C	D	E
percentagens						
ZONA ECOLÓGICA ARENITO BAURU ABq						
1	Solos arenosos de arenito Bauru quase isento de cimento calcário, topografia quase plana, pastos e cerrados mais ou menos maltratados, cultivos muito raros. Exemplos: Sud Mennucci, vale dos ribs. Santa Rita e Marinheiro.	65	30	5	-	-
2	Solos do mesmo arenito com cimento calcário, topografia ondulada, cultivados intensamente, pouca pastagem. Exemplos: Monte Alto, Monte Azul, Mirassol, espigão da E.F. Noroeste de Rubiácea a Murutinga; de Rubiácea a Alto Alegre; espigão da E.F. Araraç. de Dobrada a Catiguá.	60	30	10	-	-
3	Pequena área de basalto em meio a arenito Bauru intermediário entre os dois tipos anteriores, portanto uma terra roxa arenosa. Exemplos: Icém, Ibitinga, Nova Europa, Itapura. Bem cultivado.	30	55	10	5	-
ZONA ECOLÓGICA ARENITO BAURU ABf						
4	Como 1, mas com inverno mais frio e menos seco. Exemplos: Indiana, Martinópolis; meia encosta dos afluentes do Paranapanema de Rancharia a Narandiba e de Platina a Ubirajara; entre Agudos e Lençóis e entre Areiópolis e Domélia.	60	35	5	-	-

nº do tipo de solo	descrição do tipo de solo	GRUPO HIDROLÓGICO				
		A	B	C	D	E
percentagens						
5	Como 2, mas com inverno mais frio e menos seco. Exemplos: planalto de Garça a Pompeia; espigão de Lucélia a Dracena e de Pirapozinho a Santo Anastácio através de Presidente Prudente.	55	35	10	-	-
ZONA ECOLÓGICA SERRA GERAL SGq						
6	Restos de arenito Bauru não calcífero no planalto Franca-Pedregulho, Brodosqui-Batatais-Nuporanga, São Carlos-Ibaté e na serra de Itaqueri. Cerrados e pastos pobres, topografia suave.	80	20	-	-	-
7	Basaltos da Serra Geral originando terras roxas e sendo pedregosas as mais ricas, as únicas de topografia acidentada. Intensamente cultivados. Exemplos: vales do rio Grande, do Sapucaí, do rio Pardo a jusante de Ribeirão Preto, do Moji-Guaçu a jusante de Rincão, do Tietê entre Igarapu e Jacanga; e entre Cravinhos e Cajuru.	-	-	80	15	5
8	Terras roxas arenosas devido à mistura ou influência de arenitos pobres Bauru e Botucatu, também chamadas "terra roxa de campo". Topografia suave. Pouco cultivo, com calagem e adubações fortes. Quase sempre pastagens ou cerrados. Exemplos: entre Morro Agudo e rio Pardo, marg. esq. do rib. da Onça, na transição do tipo seguinte para o anterior.	65	25	10	-	-
9	Solos do arenito Botucatu. São as terras arenosas mais pobres do Estado, como entre Serrana e Cássia dos Coqueiros e daí pela divisa com Minas até Ibiraci; entre São Simão e Tambaú, entre Rio Claro e Descalvado, entre Itirapina, Boa Esperança e Bocaina e entre Ibitiruna, Vitoriana, Santa Maria, Mineiros, São Pedro e Águas de São Pedro. São os campos cerrados mais pobres do Estado, porém com a topografia mais suave.	80	20	-	-	-
ZONA ECOLÓGICA SERRA GERAL SGf						
10	Terras roxas ricas como o tipo 7, mas de inverno mais frio e menos seco. Exemplos: vale do Paranapanema, desde Piraju até Iepê e Porecatu; vale do seu afluente rio Pardo a jusante de Santa Bárbara e vale de outro afluente, o Capivara, a jusante de Maracá.	-	-	85	10	5
11	Terras roxas arenosas como tipo 8, mas de inverno mais frio e menos seco, com maior percentagem de área cultivada e sob pastagem em detrimento do cerrado, quase ausente. Exemplos: nos municípios de Assis, Platina, Campos Novos, São Pedro do Turvo, Sodrélia, Óleo.	55	30	15	-	-
12	Solos de arenito Botucatu como o tipo 9, porém de inverno mais frio e menos seco, com relativamente menor área de campo-cerrado e maior sob pastagem. Exemplos: entre Piramboia, Bofete e Pardinho; e daí pelo vale do Paranapanema quase desde Guaref, Angatuba, Paranapanema, Itai, Tejuapé e Sarutaiá.	70	30	-	-	-
ZONA ECOLÓGICA DEPRESSÃO PALEOZÓICA DPq						
13	Terras argilosas claras de folhelhos da formação Corumbataí e do Grupo Tubarão, geralmente nos vales, quase sempre cultivados e em topografia bem ondulada. Exemplos: no vale do rio Piracicaba a jusante da cidade do mesmo nome, ao longo do Tietê entre Anhembi e Laras, perto de Charqueada e Ipeúna, no rio Corumbataí a jusante da cidade deste nome, perto de Leme e de Tambaú.	-	-	20	45	35
14	Terras arenosas de arenitos Tubarão e Corumbataí, geralmente nas lombadas, pouco cultivadas, quase sempre pastagens, mas há cerrados e campos cerrados muito pobres. A	60	30	10	-	-

n.º do tipo de solo	descrição do tipo de solo	GRUPO HIDROLÓGICO				
		A	B	C	D	E
		percentagens				
	topografia é suave. As cores dos solos são mais avermelhadas e alaranjadas que no tipo anterior. Exemplos: vale do rio Pardo nos municípios de Casa Branca, Mococa; vale do Moji-Guaçu nos municípios deste nome, Conchal, Araras, Leme, Aguaf, Piraçununga; nos municípios de Moji-Mirim, Campinas e Indaiatuba.					
15	Terras roxas misturadas dos sills de diabásio, intensamente cultivadas, algumas quase tão ricas como os tipos 7 e 10, a topografia sendo comparável. Exemplos: Itobi, Sta. Cruz das Palmeiras, Sta. Rita do Passa Quatro, a W do ribeirão dos Porcos em S. João da Boa Vista, a E de Leme, ao S de Araras, nos municípios de Iracemápolis e Sta. Gertrudes, a E de Cordeirópolis, ao N de Itapira, ao N de Santo Antonio de Posse, de Campinas, de Americana e de Porto Feliz.	-	-	75	20	5
16	Terras roxas misturadas arenosas: mistura de detritos de arenitos Tubarão e Corumbataí com os de delgadas lentes de diabásios encaixados. Mais pastos que cultivos. Topografia pouco ondulada. Exemplos: entre Moji-Guaçu e Aguaf e numerosas manchas espalhadas por toda a zona DPq, semelhantes aos tipos 8 e 11, mas geralmente com teor algo mais alto de argila.	60	25	15	-	-
17	Terras arroxeadas barrentas com concreções de sílex, apelidadas de bonecas, dos folhelhos e siltitos da formação Irati, quase todas cultivadas. Topografia ondulada. Exemplos: Assistência, Piracicaba, Rio das Pedras, Saltinho, Maristela, Laranjal.	10	20	60	10	-
18	Terras arenosas com seixos arredondados, por vezes estriados (glaciais), ora espalhados quando a rocha mãe é tilito, ora formando camada quando se trata de conglomerato. Exemplos: entre Moji-Mirim, Conchal, Artur Nogueira e Limeira.	50	25	15	10	-
	ZONA ECOLÓGICA DEPRESSÃO PALEOZÓICA DPf					
19	Como o tipo 13, porém menos frequente. Exemplos: nos municípios de Taquarituba, Cel. Macedo, Taguaf, Tejupá, Fartura e no vizinho município paranaense de Carlópolis; também no vale do rio Itapetininga.	-	-	30	40	30
20	Como o tipo 14, porém de maior expansão e variabilidade, havendo até casos de larga predominância de areias grossas sobre as finas, como na região de Itapetininga. Outros exemplos abundam no quadrilátero Itararé-Itaí-Itapetininga-Gramadinho.	50	35	15	-	-
21	Solos arenosos rasos do Devoniano, por vezes mal recobridos extensas lajes de arenito. Só ao S e a SE de Itararé. Topografia suave, exceto onde as lajes formam degraus e até escarpas muito irregulares.	55	25	-	20	-
22	Como o tipo 15, mas com inverno mais frio e menos seco. Quase exclusivamente nos municípios de Timburi, Fartura, Taguaf, Taquarituba e Cel. Macedo.	-	-	70	20	10
23	Como o tipo 16, mas com inverno mais frio e menos seco; e não somam mais de 100 km ² , as manchas mais conspícuas sendo perto das cidades de Capela do Alto, Tatuí, Angatuba, Buri, Barão de Antonina, e ao N de Itararé e de Capão Bonito.	45	35	20	-	-
24	Como o tipo 18, mas com inverno mais frio e menos seco, os solos sendo de cores mais pálidas, amareladas e acinzentadas. Ocorrem nas áreas do tipo 20.	50	30	10	10	-

n.º do tipo de solo	descrição do tipo de solo	GRUPO HIDROLÓGICO				
		A	B	C	D	E
percentagens						
ZONA ECOLÓGICA COMPLEXO CRISTALINO CCq						
25	Solos de granito, quartzito, quartzoxisto e gnaiss leucocrático ou bastante escuro, mas profusamente injetado de vieiros de quartzo. Alto teor de areia grossa com bastante elevado teor de argila (15-20%) da decomposição de feldspatos e micas. À pequena profundidade é muito comum camada densificada ou horizonte de seixos rolados. Topografia acidentada a montanhosa. Quase só pastagens com capões de mato em grotas, mas já foi quase tudo plantado com café que arruinou o solo pela erosão. Exemplos: entre Jundiá e Itu, entre Valinhos e Amparo, entre Atibaia e Bragança, nos trajetos Bragança-Amparo-Mte. Alegre-Socorro e Amparo-Serra Negra-Santo Antônio de Posse-Itapira.	5	35	10	20	30
26	Solos de gnaisses mesocráticos, micaxistos quartzosos, pegmatitos, quartzodioritos. São geralmente solos mais escuros que os do tipo anterior, com o alaranjado tendendo para o acastanhado e o vermelho para marrom. O teor de areia grossa é bem menor e o de argila maior (20-30%). Horiz. de seixos menos comum mas o argiloso ainda mais frequente. O cultivo é bastante intenso apesar da topografia acidentada. Exemplos: de permeio com os solos do tipo anterior, nos trajetos citados.	-	20	30	30	20
27	Solos de gnaisses melanocráticos (alto teor de biotita e hornblenda), anfibolitos, intrusivas alcálicas com quartzo (só no planalto de Poços de Caldas), granodioritos, calcários silicosos, micaxistos, rochas com pouco quartzo, formando solos argilosos (30-40% de argila total) quase sem areia grossa, denominados massapés na nomenclatura popular. As camadas com seixos rolados são ainda mais frequentes que no caso anterior, mas não são menos frequentes camadas quase impermeáveis. O cultivo só não é intenso onde a topografia é montanhosa ou faltam vias de acesso. Além da área indicada no mapa, estes solos ocorrem também ao pé das serras do Mar e Paranapiacaba subindo até altitudes de 400-450 m no litoral N e na ilha de São Sebastião, e 250-300 m no litoral S. (acima destas altitudes é CCf)	-	10	40	20	30
28	Solos de rochas insaturadas do Cristalino ou isentas de quartzo, como filitos, gabros, diabásios, dioritos, peridotitos (ex.: ao N de Serra Negra), fonolitos e outras alcálicas sem quartzo. Excluindo os solos filíticos, que podem ser alaranjados ou vermelhos por terem sido decapitados em consequência da impermeabilidade, os derivados das outras rochas são desde marrons a cinzentos escuros, mas a decapitação em declives fortes pode clarear fortemente estas cores. O cultivo é o mais intenso da zona ecológica. Os diabásios que quase sempre ocorrem em veios e diques estreitos, não concorrem na formação de solos por falta de expressão horizontal.	-	-	50	15	35
ZONA ECOLÓGICA COMPLEXO CRISTALINO CCf						
29	Como o tipo 25, porém são geralmente solos mais escuros graças à decomposição mais lenta dos detritos orgânicos por causa de temperaturas mais baixas o ano inteiro. O inverno é bem mais úmido, mas temperaturas médias inferiores a 15°C (junho a agosto) não favorecem a atividade microbiana. A camada densificada é no geral ainda menos permeável que no tipo 25 pelo aumento de seixos e da umidade graças à menor evapotranspiração e, no geral, maior pluviosidade que na zona CCq. É relativamente maior a área dedicada à pastagem e menor ao cultivo por que este tipo de solo	5	30	15	20	30

n.º do tipo de solo	descrição do tipo de solo	GRUPO HIDROLÓGICO				
		A	B	C	D	E
		percentagens				
	abrange as terras mais altas das serras da Mantiqueira, da Bocaina, do Mar e Paranapiacaba.					
30	Como o tipo 26, mas com diferença semelhante à que existe entre o tipo anterior e o 25, porém com área menor dedicada à pastagem e maior ao cultivo por que geralmente o tipo 30 não ocorre no alto das serras citadas, e portanto a topografia não é tão montanhosa e o acesso mais fácil.	-	10	30	25	30
31	Como o tipo 27, mas com diferença semelhante à que existe entre os tipos 29 e 25, porém o tipo 31 é mais raro que o 27 por motivos puramente geológicos, mas quase totalmente cultivado, exceto no maciço de Itatiaia, de solos excessivamente rasos, montanhosos e frios, e no alto da ilha de São Sebastião e da serra de Araçoiaba por serem áreas montanhosas, de difícil acesso e de solos rasos. Os calcários são lentos quase verticais e porisso estreitas, sem expressão horizontal.	-	5	30	20	45
32	Como o tipo 28, mas ainda mais procurado para o cultivo. Assim mesmo há áreas de filito tão tremendamente erodidas em declives fortes que tiveram de ser reflorestadas ou abandonadas à pastagem, como entre Nazaré e Pirapora do Bom Jesus, entre Caieiras e Santana do Parnaíba e ao longo das margens setentrionais da represa de Itupararanga.	-	-	50	10	40
	ZONA ECOLÓGICA VALE DO PARAÍBA VPq					
33	Solos pretos de várzea praticamente sem escoamento superficial devido ao empoçamento, evaporação e infiltração graças à ausência de declividade, cultivo intenso e com rede de canais. São terras argilosas e com camada densificada, mas geralmente não impermeável graças à grande porosidade que pode ultrapassar 80%.	-	-	90	-	10
34	Solos argilosos alaranjados a vermelhos de sedimento cenozóico encaixante da várzea, quimicamente pobres e muito maltratados pela erosão devido à topografia fortemente ondulada e permeabilidade fraca. A ocupação humana é quase só pastagem com alto teor de ervas daninhas. A área contorna a várzea desde Cachoeira até Jacaré, continuando para SW ao longo da encosta direita do rio Parateté até penetrar no município de Moji das Cruzes.	-	-	40	5	55
35	Solos arenosos alaranjados claros do mesmo sedimento cenozóico. Antigamente eram campos-cerrados e ainda ostentam elementos xerófitos fora de trechos adubados. A maior área de solos deste tipo acha-se na região de São José dos Campos e, sendo altamente valorizada, sua aguda pobreza química está sendo dominada a poder de calcário e adubos, mas o cultivo ainda é pouco, predominando largamente a pastagem.	45	50	5	-	-
	ZONA ECOLÓGICA VALE DO PARAÍBA VPf					
36	Solos do Complexo Cristalino semelhantes ao tipo 25, distinguindo-se deste por estiagem mais longa e mais quente, enquanto o verão é menos chuvoso e também mais quente, portanto de bem maior evapotranspiração, principalmente entre a serra do Mar e a zona VPq, penetrando até Igaratá. A pastagem predomina largamente sobre o cultivo que é muito pouco. As cores são tão claras como no caso dos solos do tipo 25.	5	25	10	40	20
37	Solos do Cristalino semelhantes ao tipo 26. A diferença é a que distingue o tipo 36 do tipo 25. Cultiva-se mais que o tipo anterior, mas a pastagem ainda predomina largamente. O reflorestamento é ainda mais raro que no tipo de solo anterior.	-	10	30	25	35
38	Solos do Cristalino semelhantes ao tipo 27, porém não há	-	-	40	25	35

nº do tipo de solo	descrição do tipo de solo	GRUPO HIDROLÓGICO				
		A	B	C	D	E
		percentagens				
	rochas alcálicas e prevalece a diferença que distingue o tipo 25 do 36. O tipo 38 é mais cultivado que os dois anteriores, mas a pastagem ainda predomina por ser mais nutritiva que nos dois tipos anteriores. Como nesta área não existem filitos e as rochas alcálicas e gabros ainda não foram descobertos, o tipo 38 torna-se pouco diferente do 27. E assim o tipo 39 já pode pertencer à ZONA ECOLÓGICA BAIXADA LITORÂNEA BLq					
39	Solos arenosos das areias marinhas de antigas praias, pois o mar já lambeu o sopé das serras do Mar e da Paranapiacaba; bem como de todas as montanhas e morros cristalinos existentes entre as praias atuais e as serras marítimas. São solos de cor creme a acinzentada, extremamente arenosos e pobres devido à lavagem por precipitação abundante sem estiagem e fortalecida por altas temperaturas. Mesmo onde houve mangues centenas de séculos atrás, com a regressão marinha ou elevação do continente (mais provável) do alto teor de húmus apenas sobrou a cor acinzentada e por vezes minúsculos restos de conchas. As tentativas de cultivo são muito raras.	90	10	-	-	-
40	Solos barrentos da sedimentação continental flúviolacustre que cobrira as areias praianas por vezes com camada tão delgada que a areia aparece na profundidade de 1½ a 2 m. São os solos mais cultivados da zona BLq, mas a ocupação humana é fraca por ser o clima insalubre na Baixada Litorânea: demasiadamente úmido e quente. Daí a quase inexistência de pecuária.	-	20	60	5	15
	ZONA ECOLÓGICA BAIXADA LITORÂNEA BLf					
41	Solos como tipo 40, porém afastados do mar ou atrás de serras, de modo que sofrem menor pluviosidade e a estiagem está bem esboçada, porém ainda sem deficiência hídrica. São por isso os solos mais cultivados de toda a Baixada Litorânea. Na região de Registro a chuva média anual não atinge 1.500 mm, enquanto no litoral N alcança o dobro. As cores são alaranjadas com tonalidade entre acastanhada e acinzentada; topografia suave.	-	15	60	5	20

Fonte: Setzer e Porto, (1979).