

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO OESTE
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SEAA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – MESTRADO EM GEOGRAFIA

ÉDERSON DIAS DE OLIVEIRA

**IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA GEOMETRIA HIDRÁULICA DE CANAIS
FLUVIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASCAVEL, GUARAPUAVA/PR**

GUARAPUAVA/PR

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO OESTE
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SEAA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – MESTRADO EM GEOGRAFIA

ÉDERSON DIAS DE OLIVEIRA

**IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA GEOMETRIA HIDRÁULICA DE CANAIS
FLUVIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CASCAVEL, GUARAPUAVA/PR**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Geografia (Área de Concentração: Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos).

Orientador: Prof. Dr. Leandro Redin Vestena

GUARAPUAVA/PR

2011

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da UNICENTRO, Campus Guarapuava

Oliveira, Éderson Dias de
O48i Impactos da urbanização na geometria hidráulica de canais fluviais da bacia hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava/PR / Éderson Dias de Oliveira. – – Guarapuava, 2011
xvii, 158 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos, 2011

Orientador: Leandro Redin Vestena

Banca examinadora:

Bibliografia

1. Urbanização. 2. Canalização. 3. Sedimentos tecnogênicos. 4. Regime fluvial. 5. Geomorfologia fluvial. 6. Rio Cascavel – Guarapuava (PR). I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

CDD 711.4098162



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO CEDETEG
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SEAA/G
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGG



TERMO DE APROVAÇÃO

ÉDERSON DIAS DE OLIVEIRA

IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA GEOMETRIA HIDRÁULICA DE CANAIS
FLUVIAIS DA BACIA DO RIO CASCAVEL, GUARAPUAVA/PR

Dissertação **APROVADA** em 3/8/2011 como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geografia, na área de concentração Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Leandro Redin Vestena – presidente
Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

Prof. Dr. Edivaldo Lopes Thomaz
Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

Prof. Dr. Irani dos Santos
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Éderson Dias de Oliveira

Dedico este trabalho a Deus por mais essa vitória, e às pessoas mais importantes em minha vida:

... a memória do meu pai Cícero, por tudo o que representa em minha vida ...

... a minha mãe Hortência, a tudo o que enfrentou sempre buscando o melhor para seus filhos ...

... aos meus irmãos Leandro, Leidiane e Émerson por existirem e serem tão especiais.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa resulta de um sonho gestado ainda nos bancos da Faculdade de Jandaia do Sul (FAFIJAN), na qual conclui a minha graduação em Geografia no ano de 2008. Por meio dessa instituição tive oportunidade e apoio na minha caminhada rumo a Pós-Graduação no Mestrado em Geografia na UNICENTRO, onde pude desvendar um pouco mais do quão amplo é o conhecimento científico.

Gostaria de manifestar meu reconhecimento e minha gratidão a todas aquelas pessoas e instituições que, direta e indiretamente, me auxiliaram na construção dessa dissertação, e em especial:

Ao Prof^o. Dr. Leandro Redin Vestena que, com presteza e clareza, cedeu-me seu precioso tempo para orientar-me a seguir pelos caminhos científicos corretos, visando, sobretudo a conclusão desta produção científica. À ele, o meu muito obrigado!

A nossa coordenadora, Prof^a. Dr^a. Márcia da Silva, por sua dedicação com todos os alunos.

A banca de qualificação, composta pelos professores Edivaldo Lopes Thomaz, Irani dos Santos e o professor suplente Adalto Gonçalves de Lima, pelas críticas, sugestões e contribuições debatidas.

Aos demais professores do Programa Pós-Graduação em Geografia da UNICENTRO pelos momentos de debate e de aprendizagem acadêmica ao longo do curso.

Aos colegas de turma, Nilvam, Márcia, Aline, Cleiton, Edson, Mônica, Johann e Lucélia. À eles, a certeza da retribuição e companheirismo dispensados.

Ao Grupo de Pesquisa Hidrogeomorfologia onde adquiri companheiros (João, Fagner, Wolliver, Willian Alexandre, Willian Tosetto, Aline, José Carlos, Márcia e Aparecido), que partilharam das alegrias e dificuldades na execução desta pesquisa.

Dentre esta equipe, agradeço de forma especial ao Willian Alexandre, Willian Tosetto, Aline e o Alessandro, os quais participaram diretamente dos trabalhos de campo e

das análises laboratoriais; cabe ressaltar também a Luciana que coletou os dados de cota da régua linimétrica no Arroio Monjolo e os funcionários (Sr, João, Sr. Aparecido, Sr^a Evanilda e outros) da UNICENTRO da guarita na entrada do CEDETEG, no Arroio Carro Quebrado.

A Prefeitura Municipal de Guarapuava, em especial a Engenheira Cartográfica Mônica Rodrigues Brisolla Rubio do Centro de Planejamento Urbano de Guarapuava (CEPLUG), pela parceria e disponibilidades de dados sobre Guarapuava que muito contribuíram a pesquisa.

A CAPES e ao Programa de Pós-Graduação pela bolsa de estudo que me possibilitou a dedicação com mais afinco à vida acadêmica e à dissertação.

Se és capaz de aceitar o louvor sem vaidade, serás também
capaz de aceitar a correção sem ofender-te.

(Santo Agostinho)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo identificar os impactos da urbanização em Guarapuava na morfologia de cursos fluviais na bacia hidrográfica do Rio Cascavel. As discussões foram centradas em cinco aspectos metodológicos principais sendo: mensuração dos aspectos geométricos das seções transversais abertas e fechadas; coleta e caracterização de sedimentos de leito; monitoramento do regime fluvial; identificação das classes de canalização e o mapeamento da expansão urbana de Guarapuava e das seções interceptadas por arruamento. A bacia do Rio Cascavel possui cerca de 40% da sua área ocupada pela urbanização de Guarapuava, sendo que vários canais de primeira ordem apresentam áreas de nascentes urbanizadas e/ou semi-urbanizadas. Esses canais fluem em subsuperfícies, revelando alteração não apenas pontuais das seções, mas também ao longo do perfil longitudinal. Os levantamentos revelaram que cerca de 30% dos trechos fluviais urbanos encontram-se canalizados, com alterações morfológicas que alteram a dinâmica dos fluxos. Várias seções fechadas sobrepostas por ruas apresentaram acúmulo de sedimentos (tecnogênicos e naturais), e de arbustos, favorecendo a diminuição da capacidade das seções, formando zonas de retenção de água nos eventos de chuva. A percentagem de sedimentos tecnogênicos das amostras de leito coletadas na área urbana apresentou pouca variação com uma mediana de 18,01%. Os levantamentos das propriedades geométricas dos canais urbanos evidenciaram desajustes morfológicos, com alargamento dos trechos urbanos cerca de três vezes maiores que os rurais. Os dados do monitoramento da vazão mostraram que a área urbana apresentou uma vazão específica 2,66 vezes a vazão da área rural, o que condiciona maior energia no fluxo e vazões máximas superiores potencializando alteração na geometria dos canais e a ocorrência de enchentes e inundações urbanas.

Palavras Chaves: Urbanização, Canalização, Sedimentos Tecnogênicos, Regime Fluvial, Geomorfologia fluvial.

ABSTRACT

The study aimed to identify the impacts of urbanization in the morphology of Guarapuava waterways in the Rattlesnake River basin. The discussions were focused on five main methodological aspects being: measurement of geometric aspects of open and closed cross sections, collection and characterization of sediment bed; monitoring of river system, identification of piping classes and mapping urban sprawland sections of Guarapuava intersected by streets. The Cascavel River watershed has about 40% of its area occupied by the urbanization of Guarapuava, of which multiple canals of first-order present headwater areas urbanized and/or semi-urbanized. These canals flow into sub-surfaces, revealing changing not only on specific sections, but also along the longitudinal profile. The surveys revealed that about 30% of the urban fluvial stretches are canalized, with morphological changes that alter the dynamic of the flux. Several enclosed sections overlaid with streets showed accumulation of sediment (technogenic and natural), and of bushes, favoring to reduce the capacity of sections, forming zones of water retention in the events of rain. The percentage of technogenic sediments of bed samples collected in urban areas showed little variation with an average of 18,01%. The surveys of the geometric properties of urban canals showed morphological misfits, with enlargement of urban stretches about three times higher than rural. The data of the flow monitoring showed that the urban area presented a specific flow rate 2.66 times the flow rate of the rural area, what conditions more energy in the flux and maximum flow rates higher leveraging change in the canal geometry and in the occurrence of flooding and urban inundation.

Keywords: Urbanization, Canalization, Technogenic Sediments, Fluvial Regime, Fluvial Geomorphology

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.01– Modelo Esquemático do Ciclo Hidrológico.....	5
Figura 2.02 - Modelo de uma bacia hidrográfica	6
Figura 2.03 – Modelo conceitual de uma zona ripária	7
Figura 2.04 – Impactos da urbanização da bacia hidrográfica no ciclo da água	14
Figura 2.05 – Efeitos no sistema fluvial em decorrência do avanço urbano	18
Figura 2.06 - Hidrograma de uma bacia rural e outra urbana.....	19
Figura 2.07 - Leito de vazante; enchente e inundação	21
Figura 2.08 – Variação do hidrograma unitário em relação ao grau da sinuosidade fluvial	25
Figura 2.09 - Morfometria do canal de escoamento.....	28
Figura 2.10 - Variáveis morfológicas de uma seção transversal.....	28
Figura 2.11 - Ciclo de ajustamento de um canal fluvial	30
Figura 2.12 - Tipos de leito de um canal fluvial.....	33
Figura 2.13 – Vazões nos perfis de montante e jusante e leitos de vazante e cheia	35
Figura 2.14 - Representação da variação nas propriedades do canal numa BH.....	39
Figura 3.01 - Localização da área de estudo	44
Figura 3.02 - Evolução da população no município de Guarapuava (1940-2010).....	46
Figura 3.03 - Bloco diagrama da estrutura geológica da área urbana de Guarapuava	48
Figura 3.04 - Curva Clinográfica da BHRC	50
Figura 3.05 – Perfil Pedológico dos solos predominantes na BHRC	51
Figura 3.06 - Divisão do clima no Estado do Paraná	53
Figura 3.07 - Climatograma de Guarapuava (1976 – 2009).....	54
Figura 4.01 - Localização das sub-bacias como áreas pilotos para o monitoramento.....	57
Figura 4.02 – Trecho do baixo curso do Arroio Carro Quebrado.....	59
Figura 4.03 – Trecho do médio curso do Arroio Carro Quebrado.....	60
Figura 4.04 – Trecho do alto curso do Arroio Carro Quebrado.....	60
Figura 4.05 – Coleta de sedimentos de leito.....	61
Figura 4.06 – Levantamento das variáveis da seção transversal	62
Figura 4.07 - Régua linimétrica: A - Arroio Monjolo e B - Arroio Carro Quebrado.....	65
Figura 4.08 – Medição de Vazão no Arroio Monjolo	66
Figura 5.01 – Localização das seções mensuradas na sub-bacia do Arroio Monjolo	68
Figura 5.02 – Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial principal e a área	

de drenagem.....	69
Figura 5.03 – Trecho fluvial com acúmulo de sedimentos no leito do Arroio Monjolo	70
Figura 5.04 – Localização das seções mensuradas na sub-bacia do Arroio Barro Preto.....	72
Figura 5.05 – Trecho da seção transversal 04.....	74
Figura 5.06 - Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial e a área de drenagem	75
Figura 5.07 - Relações das propriedades geométricas dos principais trechos fluviais do Arroio Barro Preto com a área de drenagem.....	76
Figura 5.08 – Localização das seções transversais fechadas mensuradas na sub-bacia do Arroio Barro Preto	77
Figura 5.09 - Relações entre a capacidade das seções fechadas e a área de drenagem no Arroio Barro Preto.....	79
Figura 5.10 - Relações entre a capacidade da seção e a área de drenagem	80
Figura 5.11 – Localização das seções mensuradas na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado...	82
Figura 5.12 – Trecho canalizada a montante da seção 18	83
Figura 5.13 – Trecho fluvial retificado - Parque das Crianças	84
Figura 5.14 – Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial e a área de drenagem	85
Figura 5.15 – Trecho fluvial com alteração da planície por terraplanagem	86
Figura 5.16 - Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial principal e a área de drenagem.	87
Figura 5.17 – Localização das seções transversais fechadas mensuradas na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado.....	88
Figura 5.18 - Relações entre a capacidade das seções fechadas e a área de drenagem no Arroio Carro Quebrado	90
Figura 5.19 - Relações entre a capacidade da seção e a área de drenagem	91
Figura 5.20 – Localização das seções mensuradas na sub-bacia Arroio do Engenho	93
Figura 5.21 - Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial e a área de drenagem	95
Figura 5.22 - Relações entre as propriedades geométricas do trecho fluvial inferior e a área de drenagem	95
Figura 5.23 – Localização das seções transversais fechadas mensuradas na sub-bacia do Arroio do Engenho	96
Figura 5.24 - Relações entre a capacidade das seções fechadas e a área de drenagem no Arroio	

do Engenho	98
Figura 5.25 - Relações entre a capacidade da seção e a área de drenagem	99
Figura 5.26 – Comparação do r^2 das relações geométricas de seção transversal em sub-bacias da BHRC	100
Figura 5.27 - Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial e a área de drenagem	101
Figura 5.28 – Comparação da Amp da sub-bacia do Engenho com a equação da sub-bacia Monjolo	107
Figura 5.28 – Modelo empírico da relação Amp versus área de drenagem.....	102
Figura 5.29 – Comparação da Amp da sub-bacia Barro Preto com a equação da sub-bacia Monjolo	103
Figura 5.30 – Comparação da Amp da sub-bacia Carro Quebrado com a equação da sub-bacia Monjolo	103
Figura 5.31 – Comparação da Amp da sub-bacia do Engenho com a equação da sub-bacia Monjolo	104
Figura 5.32 – R^2 das propriedades geométricas das seções transversais urbanas	105
Figura 5.33 – Comparação da Amp nas sub-bacias urbanas com a área de drenagem	106
Figura 5.33 – Localização das seções onde foram coletados sedimentos de leito na sub-bacia do Arroio Barro Preto	110
Figura 5.34 – Comparação da área de seções fechadas das sub-bacias urbanas com a equação da sub-bacia Monjolo	107
Figura 5.35 – Seção transversal aberta e fechada com resíduos tecnogênico	109
Figura 5.37 – Relação entre a quantidade de materiais tecnogênicos e a área de drenagem .	111
Figura 5.38 – Distribuição em porcentagem dos sedimentos tecnogênicos nas amostras	112
Figura 5.39 – Materiais tecnogênicos retidos na vegetação do arroio e amostras de sedimentos classificadas	113
Figura 5.40 – Localização dos pontos de coleta de sedimentos de leito na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado	114
Figura 5.41 – Relação entre a quantidade de materiais tecnogênicos e a área de drenagem .	115
Figura 5.42 – Distribuição em porcentagem dos sedimentos tecnogênicos nas amostras	116
Figura 5.43 – Locais descarte de efluentes e retenção de materiais tecnogênicos	117
Figura 5.44 – Localização das seções onde foram coletados sedimentos de leito na sub-bacia do Arroio do Engenho	118
Figura 5.45 – Relação entre a quantidade de materiais tecnogênicos e a área de drenagem .	119

Figura 5.46 – Distribuição em porcentagem dos materiais tecnogênicos nas amostras.....	119
Figura 5.47– Mediana e média da taxa de sedimentos tecnogênicos nas sub-bacias urbanas	121
Figura 5.48 – Distribuição percentual dos materiais tecnogênicos nas sub-bacias urbanas...	121
Figura 5.49 – Relação entre a quantidade de materiais tecnogênicos e a área de drenagem nas sub-bacias urbanas	122
Figura 5.51 – Moradores tentando retirar galhos retidos na ponte e terreno de casa alagado	125
Figura 5.51 – Ponte sobre o Arroio Carro Quebrado, Rua Camargo Varela de Sá, em frente à entrada do CEDETEG.	125
Figura 5.53 – Total das vazões acumuladas na sub-bacia urbana e rural	126
Figura 5.54 - Monitoramento da precipitação e vazão entre abril de 2010 e março de 2011.	127
Figura 5.55 – Perfil transversal no setor inferior do Rio Cascavel traçado pela ADCP.....	128
Figura 5.56 – Expansão urbana de Guarapuava na BHRC.....	129
Figura 5.57 - Expansão físico-territorial urbana de Guarapuava (1910-2010).....	132
Figura 5.58 – Modificações na rede de drenagem das três principais sub-bacias urbanas de Guarapuava (1910-2010), onde os pontos assinalados indicam cobertura da rede de drenagem por ruas	132
Figura 5.59 – Alterações na rede de drenagem da sub-bacia do Arroio Barro Preto.....	134
Figura 5.60 – Seções fechadas com entulho e alteradas pela desestabilização do solo	135
Figura 5.61 – Classes de canalização na sub-bacia do Arroio Barro Preto	136
Figura 5.62 – Modificação na rede de drenagem da sub-bacia Arroio Carro Quebrado.....	138
Figura 5.63 – Moradia construída sobre tributário do Arroio Carro Quebrado.....	138
Figura 5.64 – Classes de canalização na sub-bacia do Carro Quebrado	139
Figura 5.65 – Área de despejo de efluentes.....	141
Figura 5.66 – Classes de canalização na sub-bacia do Arroio do Engenho	143
Figura 5.67 – Porcentagem de canalização nos arroio em sub-bacias urbanas de Guarapuava	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.01 - Impactos na rede de drenagem em função da urbanização	13
Tabela 2.02- Variáveis geométricas que descrevem a morfologia de uma seção transversal...	29
Tabela 2.03 - Relação dos critérios adotados para identificação do nível de margens plenas .	32
Tabela 3.01 - Índices morfométricos da BHRC	49
Tabela 4.01 - Valores para calcular o coeficiente de rugosidade pelo método Cowan.....	63
Tabela 5.01 – Aspectos fisiográficos do setor de montante da sub-bacia do Arroio Monjolo	67
Tabela 5.02 – Parâmetros geométricos das seções mesuradas no Arroio Monjolo	68
Tabela 5.03 – Aspectos fisiográficos da sub-bacia do Arroio Barro Preto	72
Tabela 5.04 – Parâmetros geométricos das seções mesuradas no Arroio Barro Preto	73
Tabela 5.05 – Parâmetros geométricos das seções fechadas no Arroio Barro Preto	78
Tabela 5.06 – Aspectos fisiográficos da sub-bacia do Arroio Carro Quebrado.....	81
Tabela 5.07 – Propriedades geométricos amostradas na sub-bacia Carro Quebrado	83
Tabela 5.08 – Parâmetros geométricos das seções fechadas no Arroio Carro Quebrado	89
Tabela 5.09 – Aspectos fisiográficos da sub-bacia do Arroio do Engenho	92
Tabela 5.10 – Propriedades geométricos da sub-bacia do Arroio do Engenho	94
Tabela 5.11 – Parâmetros geométricos das seções fechadas no Arroio do Engenho.....	97
Tabela 5.12 – Quantidade de sedimentos tecnogênicos e naturais	112
Tabela 5.13 – Quantidade de sedimentos de leito tecnogênicos e naturais no Arroio Carro Quebrado	116
Tabela 5.14 – Quantidade de materiais tecnogênicos e naturais	120
Tabela 5.15 - Quantidade de materiais tecnogênicos e naturais nas sub-bacias urbanas	122
Tabela 5.16 – Expansão urbana e aumento de interceptação do arruamento no canal fluvial	130
Tabela 5.18 – Tamanho das classes de canalização na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado	137
Tabela 5.19 – Tamanho das classes de canalização na sub-bacia do Arroio do Engenho	140
Tabela 5.20 - Classes de canalização em sub-bacias urbanas de Guarapuava	143

LISTA DE ABREVIATURAS

a.C.	Antes de Cristo
BH	Bacia Hidrográfica
BHACQ	Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Carro Quebrado
BHAE	Sub-bacia Hidrográfica do Arroio do Engenho
BHAM	Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Monjolo
BHRC	Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel
BHBP	Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Barro Preto
BHs	Bacias Hidrográficas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEDETEG	Centro de Desenvolvimento Tecnológico de Guarapuava
CEPLUG	Centro de Planejamento Urbano de Guarapuava
CNDU	Conselho Nacional de Desenvolvimento Urbano
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
DSG	Diretoria de Serviços Geográficos do Exército
DWG	Format Drawing Web
FAMEPAR	Fundação de Assistência aos Municípios do Paraná
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MINEROPAR	Minerais do Paraná S.A.
SEDU	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SUDESUL	Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul
UTM	Projeção Transversal de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área molhada da Seção transversal
A_D	Área de drenagem
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler.
D	Profundidade média
D_{mp}	Profundidade média em nível de margens plenas
N	Coefficiente de rugosidade
n_0	Coefficiente de rugosidade que representa o valor básico para um canal uniforme, retilíneo e com superfícies planas, de acordo com o material associado à superfície de contato;
n_1	Coefficiente de rugosidade que corresponde às irregularidades do canal
n_2	Coefficiente de rugosidade que corresponde à frequência de ocorrência de variações de forma, conforme as possibilidades de causar perturbações no fluxo
n_3	Coefficiente de rugosidade que corresponde à presença de obstruções no canal
n_4	Coefficiente de rugosidade que representa a influência da vegetação no escoamento, segundo o tipo, altura e densidade da vegetação;
n_5	Coefficiente de rugosidade que representa o grau de meandrização do curso d'água.
P	Perímetro úmido do canal
P_{mp}	Perímetro do canal em nível de margens plenas
Q	Vazão ou débito
Q_{ef}	Descarga efetiva
Q_{ir}	Descarga com um determinado intervalo de recorrência
Q_{mp}	Descarga de margens plenas
r^2	Coefficiente de correlação
R_h	Raio Hidráulico
R_{hmp}	Raio Hidráulico em nível de margens plenas
S	Declividade da linha d'água
V	Velocidade
W	Largura do canal
W_{mp}	Largura do canal em nível de margens plenas

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS	xvi
LISTA DE SÍMBOLOS	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. O ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica	4
2.2. As zonas ripárias e o canal fluvial	6
2.3. O processo de urbanização e seus impactos	10
2.3.1. Materiais tecnogênicos nos cursos fluviais	15
2.3.2. Impermeabilização do solo: alterações na dinâmica dos processos hidrológicos ..	18
2.3.3. Enchentes e inundações	20
2.3.4. Canalização	23
2.4. Aspectos da geomorfologia fluvial: considerações sobre a geometria hidráulica	26
2.4.1. Seção transversal	28
2.4.2. Margens plenas (<i>bankfull</i>)	31
2.4.3. Leitos fluviais	33
2.4.4. Regime do canal fluvial: algumas considerações	34
2.4.5. Vazão dominante e vazão de margens plenas	35
2.4.6. Geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal fluvial	36
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.1. Localização e aspectos históricos da ocupação de Guarapuava	43
3.2. Aspectos litológicos e geomorfológicos	46
3.3. Aspectos pedológicos	50
3.4. Aspectos climáticos	52
3.5. Aspectos florísticos e o uso da terra	54
4. MATERIAIS E MÉTODOS	57
4.1. Base cartográfica	57
4.2. Restituição da drenagem urbana e levantamento das seções canalizadas	58
4.3. Análise em planta da canalização dos cursos fluviais	59
4.4. Coleta e identificação das características de sedimentos de leito	60

4.5 Levantamento das propriedades geométricas nas seções transversais	61
4.6 Dados de chuva e vazão.....	64
5. DISCUSSÕES E RESULTADOS	67
5.1. Análise da geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal.....	67
5.1.1. Arroio Monjolo (área rural)	67
5.1.2. Arroio Barro Preto (área urbana).....	72
5.1.2.1. Seções transversais abertas	72
5.1.2.2. Seções transversais fechadas	78
5.1.3. Arroio Carro Quebrado	82
5.1.3.1. Seções transversais abertas	82
5.1.3.2. Seções transversais fechadas	89
5.1.4. Arroio do Engenho	92
5.1.4.1. Seções transversais abertas	92
5.1.4.2. Seções transversais fechadas	97
5.1.5. Discussão geral dos dados das seções transversais abertas	100
5.1.6. Discussão geral dos dados das seções transversais fechadas	106
5.2. Análise dos materiais tecnogênicos coletados no leito.....	109
5.2.1. Arroio Barro Preto	109
5.2.2. Arroio Carro Quebrado	114
5.2.3. Arroio do Engenho	117
5.2.4. Discussão geral dos resíduos tecnogênicos	121
5.3. Análise dos dados pluviométricos e fluviométricos	124
5.4. Expansão da área urbana e de seções canalizadas.....	129
5.5. Trechos fluviais canalizados.....	134
5.5.1. Arroio Barro Preto	134
5.5.2. Arroio Carro Quebrado	138
5.5.3. Arroio do Engenho	141
5.5.4. Discussão geral das classes de canalização fluvial.....	144
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	146
7. REFERÊNCIAS	151

1. INTRODUÇÃO

Os cursos fluviais são recursos essenciais do território, e a sua importância é irrefutável, quer para o quotidiano das populações humanas quer para os ecossistemas fluviais. Os ambientes lóticos possuem uma dinâmica que se caracterizam por apresentar uma heterogeneidade espaço-temporal. As dinâmicas espaciais dos ecossistemas fluviais se hierarquizam de acordo com as bacias hidrográficas, onde os processos naturais interagem com os ecossistemas terrestres ao seu redor. As dinâmicas temporais estão associadas principalmente aos processos hidrometeorológicos, que permitem a atuação de distintos estágios (estiagens e cheias) no regime fluvial ao longo do ano hidrológico. Desta maneira, todas as propriedades ambientais (físicas, biológicas e sociais) dos sistemas lóticos refletem as interferências tanto antrópicas como naturais nesses sistemas.

Os rios se caracterizam como um dos principais agentes modeladores da paisagem, sendo que desde os primórdios das civilizações, o homem tem explorado os recursos hídricos, nas suas variadas funções e disponibilidade na natureza como: abastecimento, irrigação, geração de energia, navegação, aquicultura, turismo entre outras atividades. No entanto, com o desenvolvimento humano, principalmente a partir do século XVIII os recursos hídricos têm sido impactados, em decorrência de atividades que geram consumos de recursos naturais e energia, além de produzir significativas quantidades de produtos residuais.

Drew (1994) sustenta que um dos impactos que mais alteram as características dos sistemas fluviais são as instalações/expansões dos núcleos urbanos. Nessas áreas os fluxos de energia e massa estão concentrados, sendo a maior parte da energia importada. Assim, os aspectos do ambiente são alterados pela urbanização e a industrialização, inclusive o relevo, o uso da terra, a vegetação, a fauna, o clima, a dinâmica hidrológica e a morfologia dos rios. Muito embora os núcleos urbanos se estendam por pequena área de uma grande bacia de drenagem, as alterações no ambiente fluvial potencializam impactos para extensas áreas a jusante da cidade.

Tucci (2000) argumenta que na maioria dos casos, a expansão dos núcleos urbanos ocorre no sentido de jusante para montante, devido às características do relevo. Quando os órgãos públicos de planejamento não controlam essa urbanização, a combinação dos impactos dos diferentes loteamentos aumenta a ocorrência de enchentes e alagamentos à jusante. As consequências da carência de planejamento e regulamentação são sentidas em, praticamente, todas as cidades de médio e grande porte do Brasil.

Vários trabalhos científicos têm demonstrado que o crescimento espacial urbano

potencializa alteração na dinâmica morfológica e hidrológica dos canais fluviais. As mudanças nos tipos de uso do solo e na drenagem, em especial com relação ao encurtamento dos canais e mudanças no tipo de padrão fluviais, redução da capacidade do canal e ocorrência de inundações, acúmulo de resíduos sólidos e lançamento de efluentes tem se tornado frequente. Dessa maneira, na atualidade, o interesse pelo reconhecimento das características dos rios tem aumentado em virtude das alterações impostas pelas diversas transformações antrópicas. Portanto os estudos dos canais urbanos se tornam relevante para compreender sua funcionalidade e subsidiar os projetos de manejo e planejamento dos canais fluviais e bacias hidrográficas.

Essa temática integra-se nos conteúdos do trabalho desenvolvido no curso de mestrado em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste de Guarapuava - UNICENTRO, e justifica a escolha do tema desenvolvido nesta dissertação intitulada de Impactos da urbanização na geometria hidráulica de canais fluviais da bacia hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava/PR, haja vista as lacunas de estudos regionais que investigam os impactos urbanos nos canais fluviais, principalmente em cidades médias.

A bacia hidrográfica do Rio Cascavel (BHRC), localizada no município de Guarapuava-PR, foi escolhida como área de estudo, por possuir cerca de 40% da sua área ocupada pela malha urbana de Guarapuava. Essa característica pode potencializar significativos impactos nos canais urbanos da bacia como: alteração da morfologia dos canais fluviais, poluição dos cursos fluviais com incremento de materiais tecnogênico, ocorrência de enchentes e alagamentos, expansão das áreas impermeáveis, entre outros. Trata-se de problemas ambientais advindos de um planejamento insuficiente e do aumento do nível de “pressão antrópica”.

Peres et al. (2008) em estudo sobre os aspectos qualitativos da água do Rio Cascavel ao longo do seu perfil longitudinal apontaram que ocorreu aumento no nível de poluição no sentido montante/jusante e depuração próxima à exutória. A elevada “pressão antrópica” devido à área urbana de Guarapuava principalmente no trecho intermediário do Rio Cascavel tem contribuído para a degradação da qualidade da água e outros problemas associados.

Os impactos nos canais fluviais devido aos processos de urbanização também refletem no surgimento de áreas de alagamentos comuns em períodos de chuvas concentradas. Em Guarapuava as áreas que mais sofrem com alagamentos rápidos são aquelas próximas ao centro da cidade, com extensas áreas impermeabilizadas (AMARAL e THOMAZ, 2008).

No presente estudo foi realizado o monitoramento das vazões em uma sub-bacia

urbana e noutra rural da bacia do Rio Cascavel, a fim de iniciar os primeiros estudos hidrológicos em distintos tipos de uso do solo. Na bacia também foram mensuradas as propriedades morfológicas dos canais, e os materiais de leito, a fim de compreender os impactos urbanos na geometria hidráulica dos canais fluviais, em Guarapuava.

A importância da presente dissertação está na comparação das relações existentes entre distintos tipos de uso do solo. O conhecimento desta relação subsidia ações que podem vir a prevenir e/ou minimizar os efeitos negativos da urbanização na alteração das características naturais dos rios.

1.1. Objetivos

Geral:

- Avaliar os impactos da urbanização em Guarapuava na seção transversal de cursos fluviais na bacia hidrográfica do Rio Cascavel.

Específicos:

- Mapear os trechos fluviais canalizados nas sub-bacias urbanas dos Arroios: do Engenho, Carro Quebrado e Barro Preto.
- Comparar a geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal em nível de margens plenas em sub-bacias com uso do solo urbano (seções transversais abertas e fechadas) e rural (seção transversal aberta).
- Analisar preliminarmente a dinâmica hidrológica em sub-bacia com uso do solo predominante urbano e rural.
- Caracterizar e quantificar os tipos de material de leito em sub-bacias urbanas.
- Mapear a expansão urbana e a evolução das seções transversais canalizadas na bacia hidrográfica do Rio Cascavel.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica

A água no seu estado líquido e doce trata-se de um dos recursos naturais mais importantes que o homem dispõe. Esse recurso tem sido fundamental ao longo da história da humanidade sendo palco de várias discussões estratégicas como estabelecimento das povoações, localização de certas indústrias, geração de energia, agricultura entre outras atividades vitais ao homem (DREW, 1994). No entanto sua disponibilidade está atrelada aos condicionantes naturais que compõem o ciclo hidrológico. Para Tucci (2000) o ciclo hidrológico se refere a um fenômeno global de circulação, que tem sua funcionalidade atrelada ao intercâmbio entre as movimentações da água na superfície terrestre e da atmosfera, impulsionado basicamente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

No ciclo hidrológico a água está presente nos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. Para melhor compreensão deste ciclo pode-se interpretá-lo como tendo início com a evaporação da água dos oceanos (VILLELA e MATTOS, 1975, p. 01):

O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Sob determinadas condições, o vapor é condensado, formando as nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação. A precipitação que ocorre sobre a terra é dispensada de várias formas. A maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e finalmente retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água restante escoar sobre a superfície do solo, ou através do solo para os rios, enquanto que a outra parte, penetrando profundamente no solo, vai suprir o lençol d'água subterrâneo. Devido à influência da gravidade, tanto o escoamento superficial como o subterrâneo são realizados em direção a cotas mais baixas e podem, eventualmente, ser descarregados nos oceanos. Entretanto, quantidades substanciais da água superficial e subterrânea retornam à atmosfera por evaporação e transpiração antes de atingirem o oceano.

Os principais processos envolvidos no ciclo da água são: a evaporação, a transpiração, a precipitação, a condensação, a infiltração/percolação e o escoamento superficial/subterrâneo (Figura 2.01).

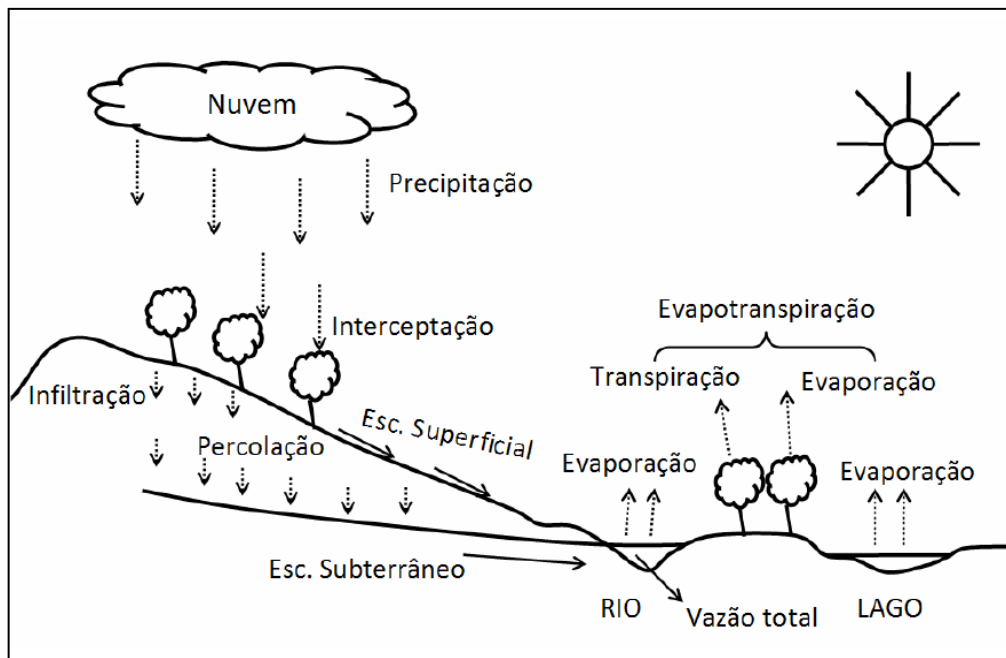


Figura 2.01 – Modelo Esquemático do Ciclo Hidrológico
 Fonte: Kobiyama, et al., (2008)

Os aspectos geomorfológicos são um importante condicionante do intercâmbio da água no ciclo hidrológico. Dentre as regiões hidrológicas de importância prática para os estudos envolvendo a análise hidrogeomorfológica destaca-se a bacia hidrográfica (BH).

Por meio da Lei Federal nº 9.433 de 1997, a BH foi definida como Unidade de Planejamento e Implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Inseridos nesse recorte, os recursos hídricos passaram a ser um bem de domínio público, tornando-se necessário para sua exploração a implementação de um planejamento de uso da água. Pela Lei ficou estabelecido também à participação pública dos usuários e da comunidade nos planos de manejo e planejamento dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica pode ser definida como uma determinada área da superfície terrestre que tem seu recorte espacial delimitada topograficamente, esta apresenta canais que drenam materiais sólidos e líquidos em direção a um ponto de saída numa determinada seção transversal do canal fluvial (exutória). Sua configuração resulta de uma série de elementos (geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos, climáticos, fauna, flora e ocupação antrópica) que se sobrepõem no espaço constituindo uma dinâmica própria (SILVA et. al. 2003). Ainda segundo Lima (1989), a bacia se trata de um sistema geomorfológico aberto, que recebe energia por meio de agentes climáticos e perde no deflúvio (Figura 2.02).

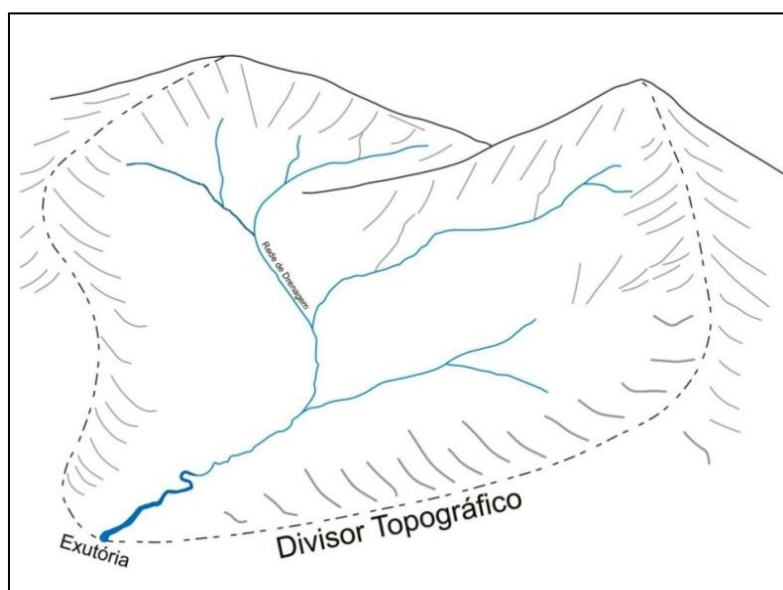


Figura 2.02 - Modelo de uma bacia hidrográfica

Fonte: Adaptado de Charlton (2008)

As bacias hidrográficas (BHs) têm sido muito utilizadas como recorte espacial nos estudos do âmbito da Geografia e outras ciências, sendo que vários autores apontam este recorte como uma unidade ambiental que possibilita tratar dos componentes e da dinâmica das inter-relações necessárias ao planejamento e a gestão ambiental. Seu conceito tem sido ampliado, abrangendo além dos aspectos hidrológicos, as relações entre os elementos, o seu contexto, a quantidade de matéria e energia movimentada, bem como sua estrutura.

Por se arranjar de forma sistêmica, qualquer interferência significativa em algum dos componentes da BH pode desencadear alterações, efeitos e/ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (descarga, cargas sólidas e dissolvida) (CUNHA e GUERRA, 2009).

Nos últimos anos as ações envolvendo a derrubada das florestas para implantação de atividades agropecuárias e/ou urbano industrial no país têm sido crescente. Destarte, tem sido potencializadas alterações na dinâmica dos cursos fluviais que está intimamente atrelada às características ambientais da BH. Entre os elementos essenciais que constituem os sistemas fluviais cabe destacar as zonas ripárias. Estas são fundamentais na manutenção e equilíbrio dos aspectos hidrogeomorfológicos da BH, assim a seguir será destacado o conceito de zona ripária e sua funcionalidade.

2.2. As zonas ripárias e o canal fluvial

As zonas ripárias se referem às áreas adjacentes ao longo dos rios e lagos que são ocupadas pela vegetação. A denominação deste ecossistema é muito diversificada no Brasil

em função do regionalismo e das variadas definições da literatura especializada. Dessa maneira, são comuns os termos mata ciliar, vegetação ripária, zona ripária, floresta de galeria, mata aluvial, mata ripária entre outros. No entanto, Kobiyama (2003) com base numa considerável discussão teórica sobre o assunto, sugere a utilização do termo zona ripária. Esta é definida como um espaço tridimensional que contém vegetação, solo e rio, com extensão horizontal até o alcance da inundação e vertical do regolito até o topo da copa da floresta (Figura 2.03).

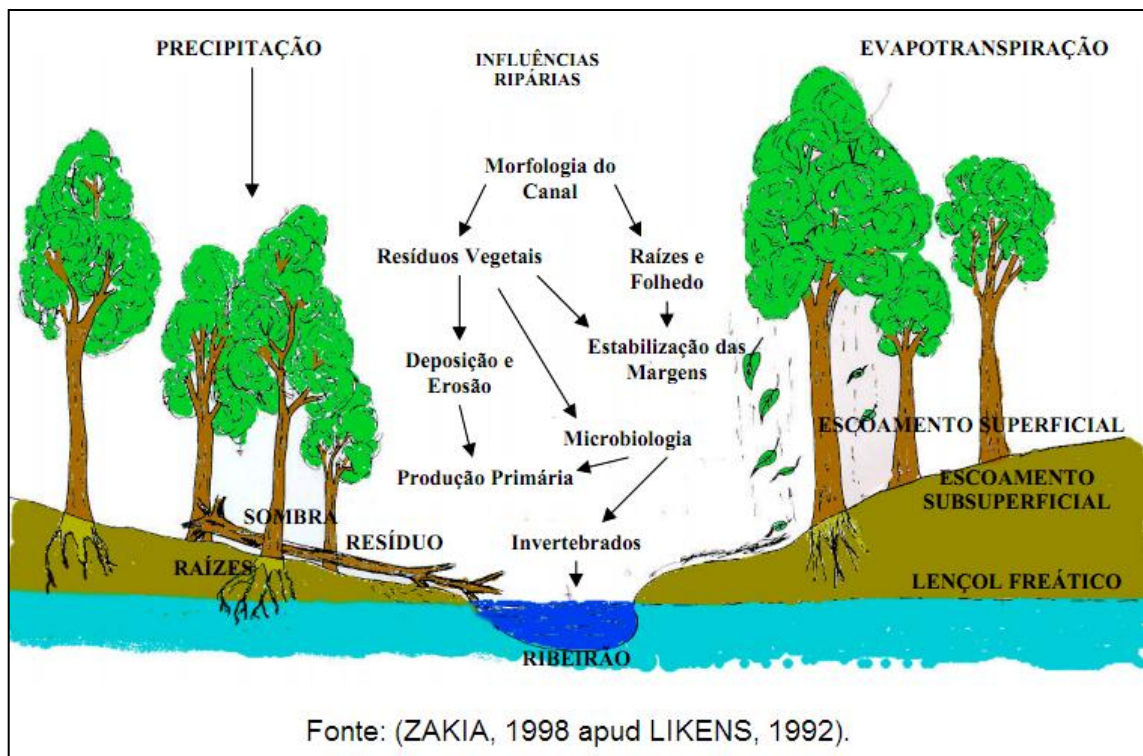


Figura 2.03 – Modelo conceitual de uma zona ripária

Contudo, cabe destacar que em virtude da complexidade dos ecossistemas e da própria dinâmica dos processos envolvidos (precipitação, infiltração, percolação, escoamento superficial, erosão, deposição de sedimentos, etc.) a área de abrangência da zona ripária varia consideravelmente.

A vegetação componente das zonas ripárias tem uma importância significativa no equilíbrio dos sistemas fluviais, com destaque no ajuste dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos.

Entre suas principais funções cabe destacar: a estabilização da qualidade e quantidade da água, retenção de parte do material sedimentar proveniente das encostas, filtragem dos poluentes derivados da agricultura mecanizada, abastecimento do canal com

material orgânico, estabilização da morfologia fluvial e o conseqüente ajuste do canal, atenuação da radiação solar, estabelecimento de habitat para várias espécies proporcionando a manutenção da vida ecológica, entre outras (LIMA, 1989; GREGORY et al., 1991; CICCIO e ARCOVA, 1999, HINKEL, 2003; KOBAYAMA, 2003).

A manutenção e recuperação da vegetação ao longo dos canais fluviais favorecem o aumento da capacidade de armazenamento da água na bacia hidrográfica, o que proporciona a regularização de uma vazão mínima nos regimes de vazante no canal fluvial. Assim, supõe que a alteração ou retirada da vegetação ripária potencializa a diminuição da capacidade de armazenamento de água na bacia e conseqüentemente uma “vazão crítica” durante os regimes de vazante (HINKEL, 2003).

Além de favorecer o armazenamento de água, as zonas ripárias também são fundamentais para a manutenção da qualidade da água. Portanto, esse corredor de vegetação bordejando as superfícies de água, desempenha uma ação eficaz de filtragem superficial de sedimentos. Neste contexto, cabe destacar também o papel da vegetação ciliar na minimização da concentração de defensivos agrícolas nos cursos d'água nas bacias que desenvolvem atividades com uso de agrotóxicos (HINKEL, 2003).

Outro aspecto a ser destacado quanto ao papel das zonas ripárias na qualidade dos recursos hídricos, é seu abastecimento contínuo com matéria orgânica e o equilíbrio térmico para com os cursos d'água. O material de serapilheira (galhos, frutas, raízes, etc.) que por vezes são descartados pelas zonas ripárias nos rios, se constitui em fonte nutricional para a biota aquática, além de favorecer o retardamento da velocidade do fluxo. Com relação à temperatura, nos trechos com zonas ripárias ajustadas a radiação solar é abrandada, favorecendo o equilíbrio térmico do rio, influenciando positivamente na produção primária do ecossistema lótico (GREGORY et al., 1991).

As zonas ripárias graças ao desenvolvimento e manutenção do sistema radicular da vegetação de margens e talude ainda funcionam como uma malha de tecido lenhoso que estrutura os solos (resistência mecânica do solo) auxiliando na estabilização da geometria hidráulica do canal (morfologia fluvial). Dessa forma a rugosidade causada pela vegetação do canal favorece o retardamento do escoamento superficial, sub-superficial e também do fluxo do canal. Como conseqüência os processos de erosão são minimizados além de favorecer a infiltração da água no solo durante as inundações. Os processos de obstrução do fluxo d'água, também criam zonas de turbulência com deposição de partículas e sedimentos, favorecendo o surgimento de micro habitats adequado a alguns organismos aquáticos (GREGORY et al.,

1991; CICCIO e ARCOVA 1999).

Lima (1989) destaca que os sistemas aéreos das zonas ripárias protegem o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, minimizando os efeitos dos escoamentos superficiais e conseqüentemente o arraste direto de partículas existente na superfície para o canal fluvial. As zonas ripárias também auxiliam na manutenção da biodiversidade dos ecossistemas aquáticos e terrestres, por meio dos corredores ecológicos. Como geralmente tornaram-se os últimos redutos de florestas a serem suprimidas, essas áreas são extremamente importantes para o movimento da fauna silvestre assim como para a dispersão vegetal.

As zonas ripárias contêm um dos recursos naturais mais utilizados para suprimento das necessidades biológicas do homem. Assim, sob o aspecto de ocupação do solo para fins urbanos, é importante que a água dos rios seja garantida em qualidade e quantidade necessária aos usos para os quais se destinam, sendo crucial a sua conservação para a manutenção de níveis satisfatórios de vida das comunidades humanas e silvestres.

No entanto, observando o dia-a-dia dos centros urbanos no Brasil a realidade é outra, pois com o avanço das sociedades tem aumentado a demandas pelos recursos hídricos (suprimento de indústrias, irrigação, consumo humano, produção de energia, recreação, entre outras). Pois as áreas de vegetação ao longo dos rios têm sido suprimidas, quando não pelas atividades agropecuárias, pelo adensamento urbano e ocupação das planícies fluviais. Nas áreas citadinas, muitos trechos das zonas ripárias têm servido para a retenção de resíduos sólidos e a proliferação de vetores de doença.

Além dos impactos dos aspectos qualitativos dos ecossistemas lóticos, as morfologias dos canais fluviais também têm sido alteradas (PRANDINI et al., 1976). Entre os impactos morfológicos nas zonas ripárias e rios, tem sido prática comum à retificação dos canais a fim de aumentar a eficiência do débito fluvial (maior velocidade, menor rugosidade, maior raio hidráulico). Contudo diversos trabalhos já têm demonstrado que a retirada da vegetação ribeirinha e a instalação de obras setoriais no canal, não é a melhor alternativa na gestão fluvial, pois a vegetação ripária auxilia no equilíbrio da morfologia fluvial, permitindo a manutenção dos meandros e da profundidade dos canais.

Segundo Darby (1999) o desenvolvimento dos meandros é mais efetivo no retardamento da velocidade das cheias do que a retificação do rio. Pois ao diminuir a velocidade do escoamento há mais tempo para que as águas das cheias sejam absorvidas pela vegetação/leito, além da manutenção da água do nível de base.

De maneira geral, os estudos têm demonstrado que as zonas ripárias se tratam de um

ecossistema essencial para a conservação e a manutenção dos recursos hídricos de uma bacia de drenagem, considerando suas diversas funções. No entanto, deve-se ter em mente que a mera presença da zona ripária não é suficiente para sanar todos os problemas dos impactos antrópicos nos canais fluviais e áreas adjacentes. O monitoramento dessas áreas, além de outras medidas complementares de manejo adequado de uso da terra ao longo da BH é essencial para a minimização dos problemas ambientais.

Cabe destacar que a ocupação das zonas ripárias tem potencializado riscos ambientais. As ocupações ilegais e até mesmo legalmente instituídas pelo poder público têm acompanhado o crescimento urbano desordenado/acelerado associado a conflitos no uso e ocupação dos fundos de vales e encostas. Esses tipos de ordenamento do espaço urbano se referem às políticas de gestão das cidades, que em muitos casos tem privilegiado a função econômica da terra em lugar das suas particularidades ecológicas e ambientais.

Enfim as áreas ripárias têm sido alteradas pelas ações antrópicas nas últimas décadas, interferindo nos processos hidrogeomorfológicos da BH, potencializando alterações na sua fisiografia. Portanto cabe ao homem enquanto agente “racional” do ambiente compreender as implicações associadas às práticas de uso da terra, as demandas do crescimento populacional e suas interações nos ecossistemas.

Neste contexto, a fim de prosseguir com os debates envolvendo a relação conflituosa homem *versus* rio, serão destacados a seguir alguns aspectos do processo da expansão urbana com base na evolução histórica das cidades e dos principais impactos nos canais fluviais associados.

2.3. O processo de urbanização e seus impactos

O processo de urbanização surgiu juntamente com os primeiros núcleos de povoamento que emergiram a cerca de 3.500 a.C. na Mesopotâmia. Porém as características urbanas até a Revolução Industrial tiveram forte dependência das atividades ligadas ao setor primário (SPOSITO, 1988; CORREA, 1995). Com as novas técnicas e ferramentas surgidas principalmente a partir da Revolução Industrial, as principais atividades e oportunidades passaram a ocorrer nas cidades, destarte se iniciou a migração do homem para os centros urbanos. As grandes descobertas científicas também possibilitaram uma melhor qualidade de vida à população permitindo que essa se expandisse de forma significativa.

Com a consolidação das áreas urbano-industriais, surgiram os centros metropolitanos, sendo que ao longo de todo o século XX se observou a migração da

população rural para as cidades de forma crescente. Destarte as cidades passaram a enfrentar inúmeros problemas relacionados à saturação de sua capacidade de suporte revertendo em impactos negativos no ambiente.

Segundo Giraldo et al., (2009) na América Latina a urbanização vêm se intensificando nas últimas três décadas, sua população urbana aumentou cerca de 240%, ao passo que a população rural teve um aumento de apenas 6,1%. Os autores estimam que os 71% de população urbana atual passarão para 81% em 2015, chegando a 607,7 milhões em números absolutos em 2030 de pessoas morando em centros urbanos na América Latina.

Quanto à realidade brasileira, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010) indicam que entre 1950 e 2010 a população urbana passou de 18,7 milhões para 160,8 milhões de habitantes. Em valores percentuais, o país passa a ter mais de 84% da população concentrada nas cidades, enquanto que em 1950 esse número era de apenas 36,16%. Os dados demonstram que houve um crescimento significativo da população urbana no século XX, com tendências a se concentrar cada vez mais no atual século.

Christofoletti (1997) enfatiza que o fenômeno da urbanização na região tropical do planeta pode ser classificado como espontâneo, a exceção de alguns casos de implantação urbana planejada. Essa concentração populacional cada vez mais densa intensificou as transformações do uso dos recursos naturais. As consequências dessa mudança no modo de viver têm provocado desequilíbrios na dinâmica dos processos naturais. Pois o ambiente urbano se desenvolve sobre um substrato físico que apresenta uma complexa distribuição espacial de suas propriedades, dependentes da escala tempo-espacial. Dessa maneira, a urbanização contribui na manifestação de marcas permanentes que se traduzem nas respostas dos processos hidrogeomorfológicos. Para Drew (1994, p. 177):

As áreas urbano-industriais representam a mais profunda modificação humana da superfície da Terra, da atmosfera e do ecossistema terrestre. Ao contrário dos efeitos das atividades agrícolas, os efeitos urbanos são altamente intensivos e localizados. Nas zonas urbanas os fluxos de energia e de massa estão concentrados, sendo a maior parte da energia importada. [...] Virtualmente, todos os aspectos do ambiente são alterados pela urbanização e a industrialização, inclusive o relevo o uso da terra, a vegetação, a fauna, a hidrologia e o clima. Regra geral, a intensidade da mudança está ligada à densidade da área edificada e à extensão da industrialização, principalmente da indústria extrativa ou pesada.

Cada centro urbano possui uma dinâmica própria com relação ao seu surgimento e expansão. No entanto, considerando o desenvolvimento urbano e seus impactos, os mesmos

apresentam certas similaridades entre si. Wolman (1967) definiu três etapas para o desenvolvimento e consolidação das áreas urbanas:

Fase I – é aquela relacionada com o estágio de equilíbrio quando não há alterações significativas no ambiente, condicionada pela estabilidade, a paisagem é caracterizada pela agricultura e florestas;

Fase II – se refere ao estágio onde é implantada a infraestrutura urbana, se trata do período de construção durante o qual a terra nua é exposta a erosão, potencializando o início da produção de sedimentos, devido à erosão das superfícies nuas levando à sedimentação nos cursos fluviais.

Fase III – a última fase se dá quando há consolidação da urbanização, nessa se tem um ambiente dominado por casas, telhados, calhas, e esgotos. Diante disso, há o predomínio de superfícies impermeáveis favorecendo o aumento do escoamento superficial, e da capacidade erosiva dos canais fluviais. Quanto à produção de sedimentos, as áreas urbanas consolidadas podem ainda introduzir quantidades significativas de partículas em águas pluviais, atingindo córregos urbanos. Todavia, há uma redução global na produção de sedimentos dada a pavimentação urbana.

Wolman e Schick (1967) relataram que os cursos fluviais urbanos vêm sendo impactados, em parte devido à produção excessiva de sedimentos provenientes das atividades de construções, que tem potencializado o assoreamento do leito e a redução na capacidade dos canais. Os autores também apontam um aumento notável na produção de sedimentos, principalmente nas áreas desmatadas para posterior ocupação urbana.

Trata-se de alterações complexas sentidas na dinâmica dos processos hidrogeomorfológicos. Os impactos da urbanização potencializam desequilíbrios nesses processos, favorecendo a ocorrência de enchentes/inundações cada vez mais comuns, o desequilíbrio da carga de sedimentos fluviais, o incremento de resíduos sólido-líquidos nos rios e a consequente contaminação dos recursos hídricos, o rebaixamento das reservas subterrâneas, a canalização em massa dos rios urbanos e também o incremento de doenças de veiculações hídricas (TUCCI, 2003).

Araujo et al., (2007) consideram que o crescimento urbano se dá por meio de estágios, sendo cada um responsável por um tipo de impacto, na tabela 2.01 é apresentado uma síntese desse processo.

Tabela 2.01 - Impactos na rede de drenagem em função da urbanização

Estágio	Principais Impactos
1. Transição do estágio pré-urbano para o urbano inicial	
A - Remoção de árvores ou vegetação;	Redução na transpiração e aumento no fluxo de chuvas;
B - Perfuração e retirada de água de poços;	Rebaixamento do lençol freático;
C - Construção de fossas sépticas, etc.	Aumento na umidade do solo e possível contaminação.
2. Transição do urbano inicial para o urbano médio	
A - Retirada total da vegetação;	Erosão hídrica;
B - Construção maciça de casas, etc.;	Redução na infiltração;
C - Uso descontínuo e abandono de alguns poços rasos;	Elevação do lençol freático;
D - Desvio de rio próximo para o fornecimento público de água;	Diminuição da vazão a jusante dos pontos desviados.
E - Esgoto sanitário não tratado ou tratado inadequadamente despejado em rios e poços.	Poluição de rios e poços.
3. Transição do urbano médio para completamente urbano	
A - Urbanização da área completada pela adição de mais prédios;	Redução na infiltração e rebaixamento do lençol freático, picos mais altos de alagamentos e fluxo d'água com picos rápidos de cheias e longos períodos de vazante.
B - Quantidades maiores de resíduos não tratados em cursos d'água locais;	Aumento da poluição;
C - Abandono dos poços rasos remanescentes;	Elevação do lençol freático;
D - Aumento da população necessitando do estabelecimento de novos sistemas de distribuição de água;	Aumento no fluxo dos cursos d'água locais se o suprimento é proveniente de uma bacia externa;
E - Canais de rios restritos, pelo menos em parte, por canais e túneis artificiais;	Estágio mais alto para um dado fluxo d'água, portanto, um aumento dos danos por alagamentos.
F - Construção de sistemas de drenagem sanitária e estação de tratamento de esgoto;	Retirada de mais água do local;
G - Melhoramento do sistema de drenagem pluvial;	Impacto positivo;
H - Perfuração de poços industriais mais profundos e com maior capacidade.	Pressão d'água mais baixa, subsidência, salinização da água.

Fonte: Adaptado de Araujo et al., (2007, p. 66)

Enfim, os variados estágios do processo de urbanização respondem de maneira diferenciada no ambiente. Chin (2006) após estudos sobre os impactos da urbanização nos ambientes fluviais em diferentes partes do planeta notou profundas alterações nas características morfológicas dos canais fluviais. Para o autor os núcleos urbanos têm alterado os regimes hidrológicos e sedimentológicos, causando uma série de adaptações morfológicas, sendo que em 75% dos estudos observaram o alargamento dos canais fluviais nas áreas urbanas. Outra consequência da urbanização é o aumento no tamanho do material do leito e de substâncias químicas e biológicas. O diagrama da figura 2.04 apresenta de forma sintética os principais impactos potencializados pelo avanço da urbanização.

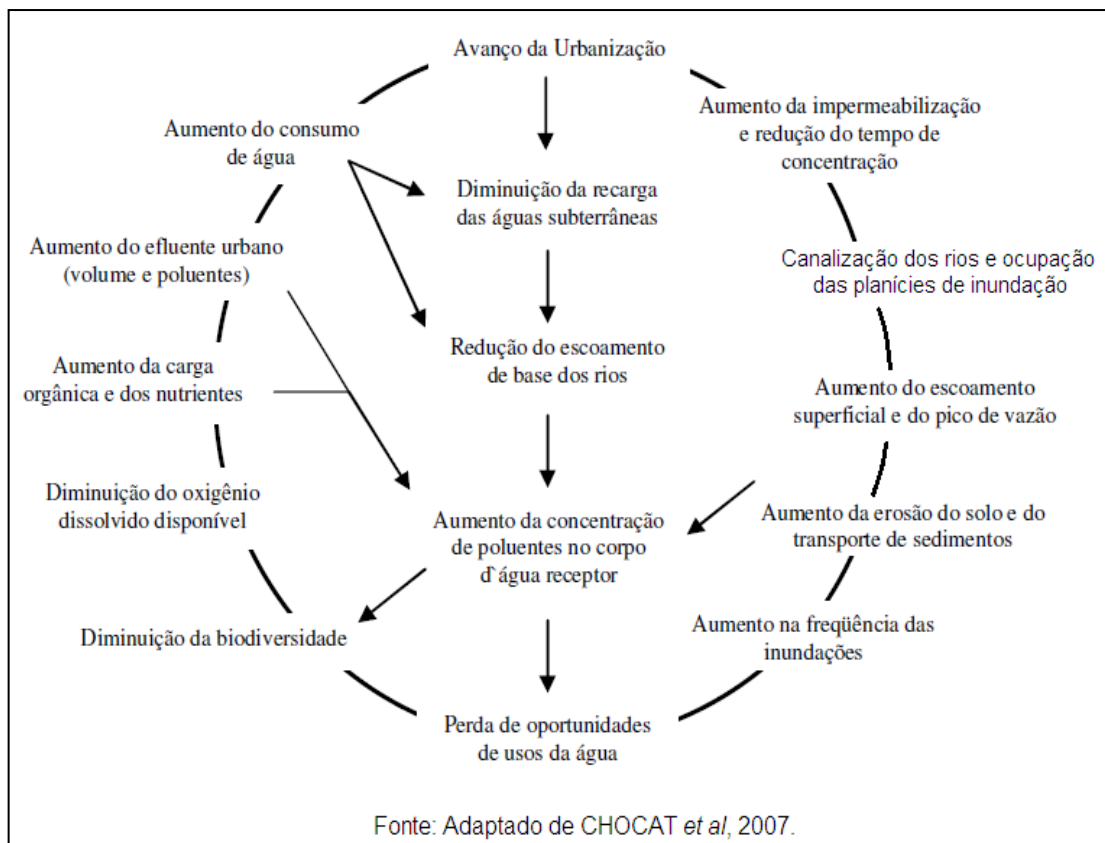


Figura 2.04 – Impactos da urbanização da bacia hidrográfica no ciclo da água

De maneira geral, verifica-se a existência de vários trabalhos sobre os impactos da urbanização nos processos naturais (infiltração, escoamento superficial, percolação nos aquíferos, dinâmica de massas de ar em áreas urbanas, entre outros). No entanto, são ainda incipientes os trabalhos no Brasil sobre os impactos da urbanização na geometria hidráulica e suas consequências.

Os trabalhos de geometria hidráulica envolvem as relações quantitativas das

propriedades geométricas da seção transversal (largura, profundidade média, velocidade, carga sedimentar, rugosidade e o fluxo). Estas se estruturam de maneira alométrica num canal fluvial ajustado, ou seja, mantêm certa proporcionalidade nas suas medidas (LEOPOLD e MADDOCK, 1953). Destarte, a fim de melhor compreender os impactos na geometria dos canais fluviais potencializado pela urbanização, serão destacados alguns dos principais aspectos que alteram a dinâmica dos processos naturais nos sistemas fluviais. O foco será dado aos materiais tecnogênicos comuns nos canais fluviais urbanos; a impermeabilização do solo; as obras de engenharia (canalização) no canal fluvial e os fenômenos de enchentes e inundações em áreas urbanas. Posteriormente, serão enfatizados os aspectos da geomorfologia fluvial, principalmente, no que tange as propriedades geométricas dos cursos fluviais.

2.3.1. Materiais tecnogênicos nos cursos fluviais

A apropriação do espaço geográfico pelo homem possibilitou o surgimento de novas feições na paisagem, que tem modificado a maneira de compreender o tempo geológico. Com o incremento de novos instrumentos de trabalho e técnicas as características do ambiente foram significativamente alteradas. O elemento “homem” passou a ser tão atuante, que na atualidade é visto como um agente geomorfológico, que age na dinâmica do relevo. Pellogia (1997, p. 257) aponta que as ações antrópicas têm ocorrido de forma tão intensa “a ponto de ter sido proposta a designação de um novo período geológico para caracterizar tal época: o Quinário ou Tecnógeno”. No entanto, Rossato et. al. (2002) salientam que esta denominação é ainda conflituosa na ciência. Para os autores a Geologia questiona essa denominação, haja vista interpretar o tempo profundo, não se permitindo em quase toda a sua totalidade, aceitar que se possa individualizar na evolução da superfície terrestre um período tão curto como o Quinário.

Para Casseti (1991) a dinâmica do relevo na escala de tempo humano resulta de fatores exógenos e de intervenções antrópicas, ao passo que os fatores endógenos com exceção dos fenômenos catastróficos desenvolvem-se em escala de tempo geológica. Quanto às atividades humanas, Guerra e Marçal (2006, p. 77) evidenciam o papel do homem como agente geomorfológico:

As encostas possuem uma evolução natural, mas nos ambientes que o homem ocupa e, na maioria das vezes, provoca grandes transformações, praticando extração mineral, construindo rodovias, ferrovias, casas e prédios, ruas, represas, terraços etc., são produzidas encostas artificiais, podendo abalar o equilíbrio anterior à ocupação humana.

Marques (1995) afirma que o homem tem acelerado e diversificado sua atuação na natureza, onde tem intervindo e até controlado processos geomorfológicos. O ambiente urbano, talvez seja a melhor forma de elucidar o papel do homem na alteração da natureza. Nesta perspectiva Gonçalves e Guerra (2006, p. 189) destacam que:

As áreas urbanas, por constituírem ambientes onde a ocupação e concentração humana se tornam intensas e muitas vezes desordenadas, tornam-se locais sensíveis às gradativas transformações antrópicas, à medida que se intensificam em frequência e intensidade o desmatamento, a ocupação irregular, a erosão e o assoreamento dos canais fluviais, entre outras coisas.

Neste enfoque o homem passa a ser visto como agente geológico, capaz de alterar a paisagem em curto espaço de tempo, se comparado com o tempo geológico. Os testemunhos da ação desse novo “agente” podem ser visualizados analisando os depósitos tecnogênicos. Para Oliveira e Queiroz Neto (1994), os depósitos tecnogênicos abrangem uma série de resíduos elaborados a partir de obras de engenharia, como os aterros de diversas espécies, principalmente, no espaço urbano.

Outro tipo comum de depósitos tecnogênicos, são os induzidos, como os corpos aluvionares resultantes de processos erosivos, desencadeados pelo uso do solo. Estes são transportados ao longo da encosta em direção ao fundo de vale, e também ao longo do canal, sendo depositado geralmente nas planícies fluviais e fundos de reservatórios. Esses depósitos são constituídos basicamente por um estrato de sedimentos com variadas granulometrias, além de artefatos antrópicos como metais, plásticos, vidros, borrachas, madeiras entre outros.

Com essa diversidade de materiais tecnogênicos encontrados facilmente nas áreas urbanas, Fanning e Fanning (1989)¹ apud Casseti (2001) propuseram uma classificação para os depósitos tecnogênicos, sendo distinguidos quatro tipos de materiais:

- Materiais “úrbicos” (do inglês *urbic*): referem-se aos detritos urbanos, materiais terrosos que apresentam artefatos manufaturados pelo homem moderno, frequentemente em fragmentos, como tijolos, concreto, vidro, asfalto, pregos, plástico, metais diversos, cinzas, pedra britada e outros, provenientes, por exemplo, de detritos de edifícios demolidos.
- Materiais “gárbicos” (do inglês *garbage*): trata-se de detritos como o lixo orgânico, de origem humana e que, apesar de conterem artefatos em quantidades menores que a dos materiais úrbicos, são suficientemente ricos em matéria orgânica que produz

¹ FANNING, D. J; FANNING, M. C. B. Soil: morphology, genesis and classification. New York: John Wiley & Sons, 1989.

metano em condições anaeróbicas.

- Materiais “espólicos” (do inglês *spoil*): correspondem aos materiais escavados e redepositados por operações de terraplanagem em minas a céu aberto, rodovias ou outras obras civis, sendo incluídos também os depósitos de assoreamento induzidos pela erosão acelerada. Enfim, contêm muito pouca quantidade de artefatos, sendo assim identificados pelas peculiaridades texturais e estruturais em seu perfil.
- Materiais “dragados”: são os materiais terrosos provenientes da dragagem de canais fluviais e comumente depositados em diques topograficamente alçadas em relação a planície aluvial.

O incremento desses materiais no ambiente altera a dinâmica dos processos hidrogeomorfológicos no sistema encosta, ficando os solos mais suscetíveis a processos torrenciais de erosão e escoamento. Os canais fluviais localizados em áreas urbanas mal planejadas recebem grande quantidade de material tecnogênico. Tucci (2000) menciona que à medida que se consolida a urbanização a tendência é haver uma redução na produção da carga de sedimentos. Contudo em áreas com urbanização estabilizada se nota um acréscimo na deposição de resíduos favorecendo a obstrução dos canais de drenagem e o assoreamento do leito fluvial. Essa problemática se agrava nos períodos de chuvas, pois maiores volumes de escoamento são gerados, intensificando o arraste de materiais tecnogênicos e poluentes.

O escoamento das águas pluviais e o lançamento de efluentes nas áreas ribeirinhas também acarretam alterações na composição dos materiais. Benetti e Bidone (2001) afirmam que as águas pluviais têm um efeito de lavagem sobre o solo, conduzindo aos fundos de vales, impurezas e detritos encontrados em ruas e pavimentos. Os autores mencionam que os primeiros quinze minutos de precipitação fornecem a maior quantidade de materiais poluentes, podendo essa água (escoamento superficial urbano) estar mais poluída que o próprio esgoto *in natura*. Portanto, a qualidade da água pluvial também está relacionada com fatores como: a limpeza urbana e sua frequência; a intensidade da precipitação e sua distribuição (temporal e espacial); a época do ano e o tipo de uso da área urbana.

No presente trabalho, será dando enfoque nos materiais tecnogênicos encontrados ao longo dos leitos fluviais, pois se trata de um relevante indicador do impacto das atividades humanas na geomorfologia do canal fluvial. Os materiais tecnogênicos resultam do transporte de variados materiais ao longo das vertentes, até a calha dos cursos fluviais, onde potencializam diversos impactos na dinâmica do canal. Entre eles destacam-se: a poluição dos recursos hídricos, a alteração das propriedades geométricas dos cursos fluviais e a obstrução

em seções transversais fechadas (pontes e cursos canalizados) favorecendo o extravasamento da água em episódios pluviométricos concentrados (TUCCI, 2003; VIEIRA e CUNHA, 2006).

2.3.2. Impermeabilização do solo: alterações na dinâmica dos processos hidrológicos

Para Vieira e Cunha (2006) a expansão das áreas impermeáveis e as alterações nos canais fluviais decorrentes do desenvolvimento urbano, são os principais responsáveis pelos impactos dos sistemas fluviais urbanos. As transformações ambientais na bacia hidrográfica como a compactação e impermeabilização do solo, alteram o equilíbrio hidrodinâmico das vertentes, interferindo no processo natural da precipitação – infiltração – percolação – escoamento superficial. Dessa maneira o comportamento sazonal do escoamento fluvial, o volume da carga detrítica e conseqüentemente a estabilidade das margens, alteram a morfologia dos canais fluviais e as áreas adjacentes (SANTOS e PINHEIRO, 2002).

Os rios passam a enfrentar prolongados regimes de vazante nos períodos de estiagem em virtude da diminuição da recarga do lençol freático. Por outro lado, nos períodos de chuva os canais apresentam uma acentuada concentração de vazão contribuindo para um maior poder erosivo e picos de cheias/inundações maiores. Leopold (1968) evidencia que pode haver um aumento em mais de seis vezes nas vazões máximas, devido ao aumento da capacidade de escoamento por meio de condutos e da impermeabilização das superfícies.

A figura 2.05 trata de um modelo que mostra a influência da urbanização no aumento do débito fluvial, sendo nítido o aterramento das margens (área listrada) e sua ocupação, favorecendo o aumento médio do nível d'água durante os eventos extremos.

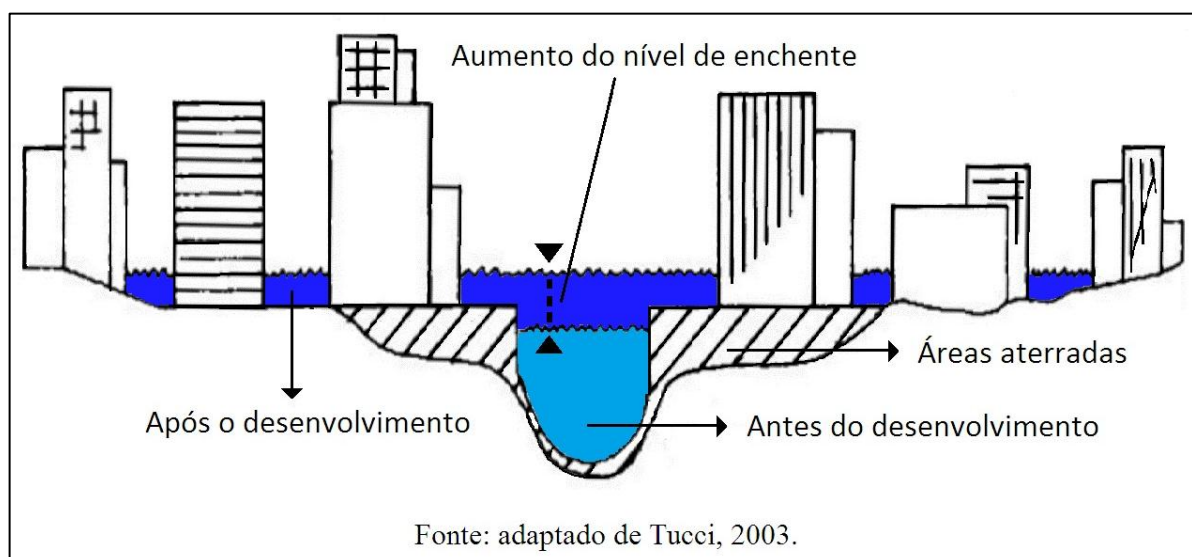


Figura 2.05 – Efeitos no sistema fluvial em decorrência do avanço urbano

A urbanização potencializa a obstrução do escoamento e a impermeabilização do solo acelera o fluxo superficial, contribuindo no incremento da quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem. Os problemas decorrentes das inundações tornam-se mais críticos, quando as planícies fluviais (áreas de amortecimento de cheias) são ocupadas por residências, fator que tem aumentado a frequência/intensidade das inundações em áreas que anteriormente não sofriam com tais problemas.

Portanto, os efeitos adversos no ciclo hidrológico terrestre são maximizados à medida que os processos de uso e ocupação do solo ocorrem de forma inadequada, ou seja, sem práticas conservacionistas.

Nas bacias rurais, de modo geral a taxa de interceptação e infiltração é maior e o escoamento superficial menor do que nas bacias urbanas. No entanto, mesmo em áreas sem urbanização o ciclo hidrológico pode ser afetado caso a ocupação seja feita de forma indiscriminada. Entre essas práticas destacam-se: o uso intensivo do solo, o assoreamento progressivo dos rios, o desmatamento, as queimadas entre outras. Quanto às áreas urbanas os impactos são maiores, a impermeabilização e o desmatamento produzem o aumento na frequência de inundações nas cheias de pequenas e médias magnitudes, pois há uma redução no seu tempo de concentração por ter seus escoamentos confinados em galerias, que escoam rapidamente para os fundos de vale.

Dessa maneira, a comparação entre os deflúvios nas áreas rurais e urbanas apresenta uma grande diferença quanto ao seu comportamento. Isso é nítido quando se analisa a dinâmica do hidrograma (relação da vazão x tempo) nas duas situações em eventos idênticos (Figura 2.06).

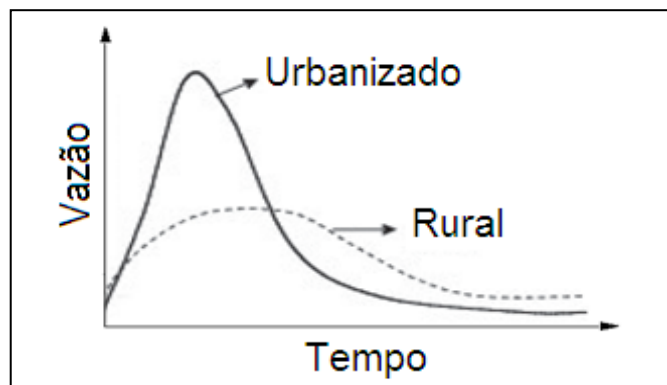


Figura 2.06 - Hidrograma de uma bacia rural e outra urbana

Fonte: TUCCI (2003).

O comportamento da vazão no hidrograma em bacias com distintos tipos de uso da terra, no caso urbano e rural são diferentes, pois no urbano ocorre a antecipação da ocorrência da vazão de pico com aumento do volume de escoamento superficial e também da vazão máxima. Comparando o comportamento das duas curvas, é possível observar a disparidade que há entre a área urbana com a rural. Enfim as curvas só vêm confirmar as discussões já realizadas anteriormente, pois cada qual a sua maneira “responde” as alterações feitas na área de drenagem à montante da seção transversal de análise. Portanto, os vários processos de derivação antropogênica, com destaque para a urbanização, potencializam alterações na dinâmica dos processos hidrológicos.

2.3.3. Enchentes e inundações

O débito do canal fluvial é condicionado pelos processos hidrometeorológicos que influencia na dinâmica do regime fluvial ao longo do ano hidrológico. Não menos importante, também se destaca os condicionantes hidrogeomorfológicos, que podem ser naturais e artificiais.

As condições naturais são aquelas definidas pelas características da bacia hidrográfica em seu estado natural. Entre elas se destacam: geometria da bacia, relevo/declividade, tipo de solo, cobertura vegetal, tipo de precipitação, capacidade e densidade de drenagem (TUCCI, 2000). Já as artificiais são aquelas provocadas pela ação do homem, sendo algumas dessas condições: urbanização, obras hidráulicas, desmatamento, reflorestamento e uso agrícola do solo. Portanto, os vários processos tanto antrópicos como naturais estão intimamente relacionados com a dinâmica hidrológica dos rios.

Os canais fluviais apresentam uma dinâmica própria com relação à variação dos níveis das águas e das respectivas vazões ao longo do ano junto a uma determinada seção. O período em que o leito fluvial é ocupado pelas águas baixas se refere ao débito fluvial de vazante, esse tipo de vazão acompanha a linha de maior profundidade do canal (talvegue) e ocorre na maior parte do ano (GUERRA, 1993). Contudo, quando há o acréscimo significativo da vazão, surgem algumas incertezas quanto aos termos enchentes, inundações e cheias.

Os termos enchentes e cheias possuem o mesmo significado, correspondendo, portanto as mesmas magnitudes de vazões fluviais, no entanto o termo inundação é diferente, apesar de ser tomado frequentemente como sinônimo de enchente ou cheia (FISRWG, 1998).

Para melhor esclarecimento desses termos é preciso observar as feições morfológicas do canal fluvial (Figura 2.07).

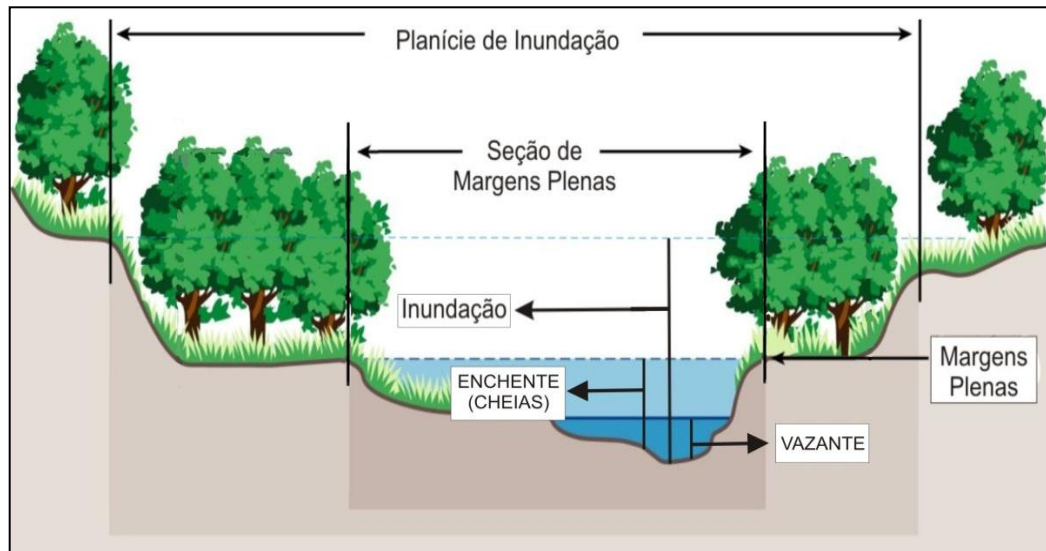


Figura 2.07 - Leito de vazante, enchente e inundação

Fonte: Adaptado de Fisrwg (1998)

Kobiyama e Goerl (2011, p. 48-49) salientam que;

As palavras cheia e enchente têm como origem o verbo encher, do Latim *implere*, que significa: ocupar o vazio, a capacidade ou a superfície de; e tornar cheio ou repleto. Quando as águas do rio elevam-se até a altura de suas margens, contudo, sem transbordar nas áreas adjacentes, é correto dizer que ocorre uma enchente. A partir do momento em que as águas transbordam, ocorre uma inundação.

As enchentes (ou cheias) referem-se a um fenômeno natural que faz parte da dinâmica natural do curso fluvial. Estas ocorrem em períodos de chuvas mais prolongados, quando há um acréscimo da descarga fluvial, permitindo que o leito de vazante (ocupado pelo rio a maior parte do ano) seja extrapolado. Como decorrência disso o leito menor é todo preenchido pelo débito fluvial, contribuindo para uma elevação temporária do nível d' água normal (Figura 2.07).

Já a inundação em termos gerais, trata-se de um fluxo relativamente alto que ultrapassa a capacidade do canal. Uma das suas características é o extravasamento das águas da seção de margens plenas para as planícies adjacentes, em virtude de o débito ser superior a capacidade de descarga da calha principal (leito menor).

A Defesa Civil classifica as inundações em função da sua magnitude (pequena magnitude, regular ou normal, grande magnitude e excepcionais) e do seu padrão evolutivo (inundações graduais, inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas) (CASTRO,

2003). Contudo, ainda que sejam vários os tipos de inundações, a maior parte das situações de emergência ou estado de calamidade pública é causada pelas inundações graduais e bruscas.

Para Castro (2003) as inundações graduais ocorrem quando as águas se elevam de forma paulatina e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante algum tempo e, escoam gradualmente a seguir. Aparentemente, esse tipo de inundação não é tão grave, mas sua área de impacto é extensa.

No entanto, as inundações bruscas se caracterizam por apresentarem elevações dos caudais rápidas (em tempo próximo ao evento pluviométrico) com o escoamento violento, acarretando maiores fatalidades, apesar da área de impacto ser bem menor do que as inundações graduais. Esse tipo de inundação (brusca) é geralmente provocado por chuvas intensas e concentradas em regiões de relevo acidentado (CASTRO, 2003).

A definição do termo inundação não é consenso entre os pesquisadores, inexistindo uma unanimidade no seu conceito. O que se nota é uma grande divergência sobre as definições do termo inundação adotadas, haja vista variadas percepções e terminologias empregadas. Portanto, as inundações se referem a um desastre natural com elevada complexidade exigindo do pesquisador uma significativa fundamentação teórica do conceito, a fim de tornar viável sua aplicabilidade na prática.

No presente trabalho as enchentes serão definidas como a elevação do nível de água de um rio, acima do débito de vazante, em períodos de chuvas não muito concentrada, que pode gerar vazões que ocupem todo o leito menor. Por sua vez, inundações se referirão ao excesso do volume de água que não consegue ser drenado pelo canal principal, inundando as áreas ribeirinhas (leito maior). De acordo com a topografia esse avanço muitas das vezes em áreas urbanas atingem vias de circulação e transporte, áreas residenciais, recreativas, comerciais, industriais, entre outras (ECKHARDT, 2008).

Enfim, tanto as enchentes como as inundações não são necessariamente sinônimas de desastre, mas se referem a processos hidrológicos dos ambientes lóticos. Esses eventos são por si só, fenômenos naturais que apresentam certa regularidade (período de retorno), com uma área de atuação ao longo dos rios. No entanto, quando esses têm suas áreas adjacentes ocupadas pelo homem, os riscos e desastres as populações aí residentes são potencializados (ENOMOTO, 2004).

2.3.4. Canalização

Em decorrência das insuficientes políticas de planejamento e gestão da ocupação e uso do solo nas cidades, as áreas urbanas têm enfrentado inúmeros problemas com as inundações, sendo estas controladas comumente por meio de obras de canalizações.

Segundo Wesche (1985) e Brookes (1988) a canalização se refere a um conjunto de obras de engenharia tradicionalmente usadas para controlar enchentes; drenar áreas alagadas a fim de utilizar terrenos marginais em agricultura ou para diminuir a proliferação de insetos; adequar o canal para a navegação; reduzir o tempo de retenção da água no canal; controlar a erosão das margens provocada pela dinâmica natural de erosão-deposição que ocorre em margens opostas do rio; aperfeiçoar o transporte de sedimentos; diminuir os efeitos das ondas de cheia a jusante, e atenuar a evapotranspiração.

De modo geral, canalização se trata de um termo amplo que inclui uma variada gama de técnicas de engenharia que alteram de alguma forma a sinuosidade natural do rio. Brookes (1988) salienta que em décadas passadas havia algumas controvérsias quanto à aplicação desse conceito, pois seu significado era utilizado de diferentes maneiras dependendo do setor da sociedade que abordava o assunto. Nas ciências da engenharia, o termo se refere a qualquer trabalho que venha a alterar o canal fluvial, enquanto que para o público a canalização é definida em geral como à construção de um canal artificial trapezoidal, largo e retificado (WYLLIE et al²., 1985 apud JARAMILLO-VILLA, 2010). Enfim, são interpretações distintas que evidentemente tem provocado confusão quando se aborda a canalização fluvial. Segundo Jaramillo-Villa (2010, p. 9-10).

Apenas na língua inglesa existem os termos *channelization / channelisation* e *canalization / canalisation* (inglês norteamericano/inglês britânico) para se referir ao primeiro ou ao segundo significado, respectivamente. Esta falta de consistência nos termos tem se estendido para outras línguas, pois muitas vezes a literatura científica é elaborada em inglês ou a partir de publicações nesse idioma. Na atualidade, a literatura científica parece ter uniformizado o emprego do termo canalização para se referir à prática geral de alteração do canal que inclui diversas técnicas de construção. Entretanto, o uso coloquial do termo está associado à imagem de um canal completamente artificial, retificado e com margens recobertas por material impermeável.

No presente trabalho o conceito de canalização será entendido como toda a obra de engenharia que altera a morfologia natural do canal fluvial. As práticas mais comuns

WYLLIE, P. J., WOJCIK, D. K., RAVEN, P., *et al.* 1985, "The Impact of River Channelization: Discussion", *The Geographical Journal*, v. 151, n. 1 (Mar), pp. 69-74

empregadas que provocam alterações nas propriedades morfológicas dos rios são: (KELLER, 1981; WESCHE, 1985; CUNHA, 2009).

- Retificação: diminuição do comprimento do canal (eliminação dos meandros), incluindo a construção de um novo canal cujo alinhamento coincida com o do canal natural, alterando o padrão de drenagem.
- Limpeza do canal: retirada das obstruções do canal e das margens incluindo vegetação e material acumulado, provocando o amortecimento da rugosidade do leito e aumento na declividade longitudinal. A retirada (dragagem) excessiva de material do leito pode também alcançar o nível de base local, desencadeando a retomada erosiva nos afluentes.
- Alargamento e aprofundamento: ampliação das dimensões do canal, alterando as propriedades geométricas da seção transversal.
- Construção de diques e margens artificiais: recobrimento da margem usando materiais impermeáveis ou semi-impermeáveis como estruturas de concreto, rochas ou madeira.

Num ambiente fluvial equilibrado, os processos de erosão, transporte e deposição que ocorrem ao longo do perfil longitudinal atuam de forma a estabelecer o equilíbrio dinâmico do sistema fluvial.

Allan (1995) assinala que os processos de retificação natural nos canais fluviais podem ocorrer quando o rio buscando o equilíbrio rompe algum meandro, dessa forma o canal aumenta a energia do fluxo em decorrência do acréscimo na declividade longitudinal. Numa escala cronológica ampla esse processo é responsável pela mobilidade do rio na planície de inundação.

Com as intervenções antrópicas nos sistemas fluviais, a sinuosidade do canal é suprimida em função de obras de engenharia. Além do aumento do fluxo, há também acréscimo de sua velocidade, haja vista a redução da sinuosidade e rugosidade dos canais. Em comparação com os canais retificados artificialmente, os canais naturais apresentam uma configuração de sinuosidade com extensão nos trechos fluviais de 10 a 100 vezes maiores (PETTS e AMOROS, 1996).

Dessa maneira, há um desequilíbrio do sistema fluvial com a instabilidade da dinâmica do fluxo, haja vista o aumento na capacidade e velocidade do escoamento fluvial. A aceleração do escoamento contribui na intensificação dos processos erosivos tanto a montante

como a jusante dos trechos retificados, reduzindo o tempo de concentração na BH, com aumento nos picos do hidrograma de jusante (Figura 2.08).

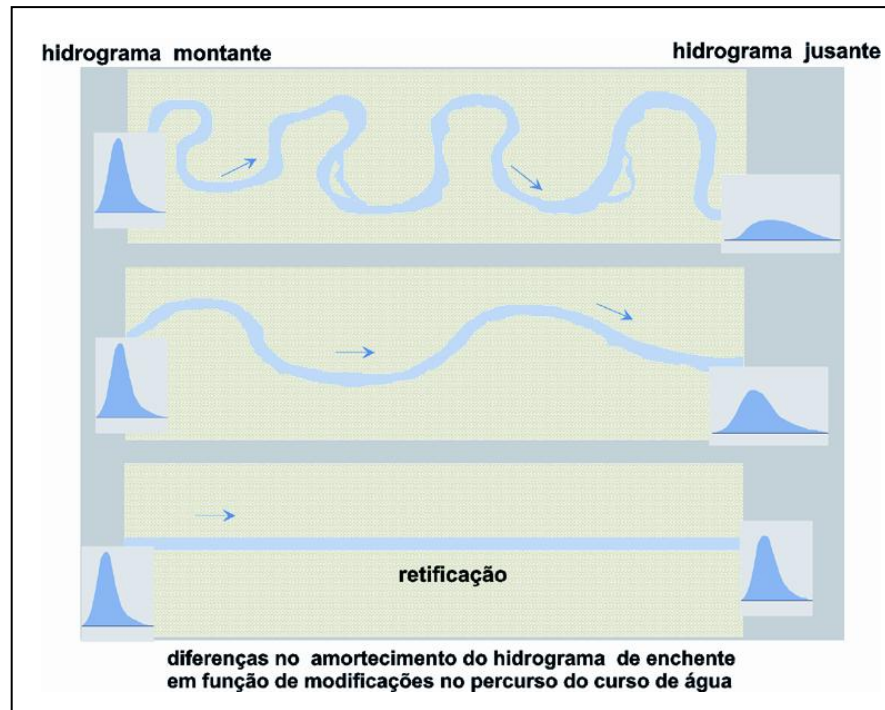


Figura 2.08 – Variação do hidrograma unitário em relação ao grau da sinuosidade fluvial

Fonte: Netto (2004)

Segundo Dunne e Leopold (1978), os canais urbanos têm sido cobertos por placas de concreto, aterrados, canalizados e desviados sem nenhum critério, provocando alterações nas propriedades morfológicas dos pequenos rios. Obras urbanas como construções e ruas têm sido implantadas na superfície, simplesmente “encobrimo” os canais fluviais de primeira e segunda ordem. Esses impactos alteram os processos hidrológicos, pois esses canais têm um papel importante no retardamento dos efeitos das enchentes, compondo a complexidade do regime fluvial da BH.

Apesar dos impactos das obras de canalização, muitos dos gestores públicos ainda fazem uso da tradicional política da implantação de obras setoriais nos rios. Estas se baseiam apenas na transferência para jusante das inundações, sendo que além da não resolução do problema acarreta acréscimos dos custos (impostos e taxas) para manutenção e implantação das obras de drenagem.

A fim de minimizar os efeitos das obras de engenharia Pinheiro (2005) destaca que é possível realizar uma canalização alternativa objetivando amenizar certos efeitos negativos da canalização. O autor sugere algumas possibilidades a fim de diminuir seus efeitos como: a

conservação das árvores, que produzem a estabilização das margens; a minimização das mudanças na forma do canal; o emprego de técnicas de estabilização das margens e minimização da dragagem do fundo e das margens, exceto onde ocorram assoreamento e manutenção das declividades naturais.

Cabe destacar também o emprego de dispositivos ou medidas de controle dos escoamentos na fonte. Essas medidas, conhecidas como técnicas alternativas de drenagem urbana procuram controlar os escoamentos por meio da recuperação da capacidade de infiltração ou da detenção do escoamento adicional gerado nas áreas urbanas. Para Castro (2002), essas técnicas podem assumir múltiplas formas como trincheiras, poços, fossas, valas, pavimentos permeáveis, bacias de detenção secas ou com água, telhados armazenadores e outros.

Além dos canais naturais que tem sido alterado nas áreas urbanas, cabe destacar também o incremento de redes artificiais de drenagem nas cidades, construídas para drenar os efluentes e as águas pluviais acumuladas que não infiltram nas áreas impermeáveis. Chin (2006) menciona que os estudos em ambientes tropicais disponíveis até o momento apontam o aumento da densidade de drenagem resultante da implantação de redes artificiais, que ocorre em virtude do acréscimo da concentração de água, principalmente durante as chuvas.

As principais redes de drenagem artificiais nas áreas urbanas são redes de escoamento pluvial e cloacal. Essas redes podem ser unitárias (esgoto cloacal e pluvial no mesmo conduto) ou separadoras (esgoto cloacal e pluvial em diferentes condutos). Contudo, o que se nota em boa parte das redes no Brasil são as redes unitárias, além da existência de inúmeras ligações clandestinas nas redes separadoras. Essas redes de drenagem urbana potencializam o incremento de efluentes domésticos e industriais lançados diretamente no canal. A entrada desses efluentes no canal se dá em muitos casos sem medidas mitigadoras dos seus variados impactos, como o assoreamento ou erosão dos canais, poluição da biota fluvial, e incremento de efluentes contaminantes nos recursos hídricos (TUCCI, 2003).

A seguir serão destacados alguns conceitos trabalhados pela geomorfologia fluvial, que vem se destacando nos estudos da drenagem urbana. Trata-se de algumas considerações sobre a geometria hidráulica que apresenta ainda poucos estudos sendo realizados no país.

2.4. Aspectos da geomorfologia fluvial: considerações sobre a geometria hidráulica

Os sistemas fluviais se caracterizam por serem dotados de uma dinâmica própria que reflete na esculturação do relevo, sendo a geomorfologia fluvial a ciência capaz de subsidiar

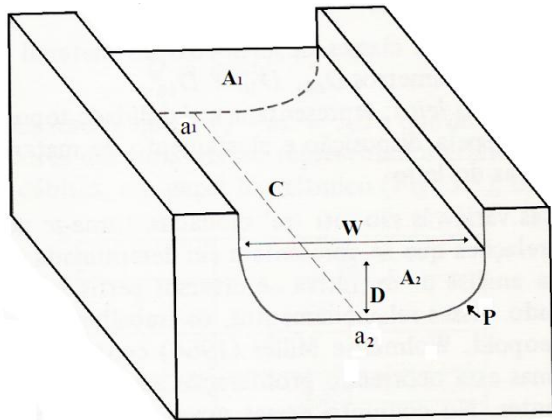
uma análise consistente desse sistema. Para Guerra e Cunha (2009) a geomorfologia fluvial é definida como sendo o estudo dos cursos de água (processos fluviais), as formas resultantes do escoamento das águas, as características geológicas, hidrológicas, climáticas e de ocupação do solo que condicionam o regime hidrológico. Nesse ínterim, o conhecimento da fisiografia fluvial (os tipos de leito, de canal, dos elementos das seções transversais, dos débitos fluviais, do ciclo hidrológico, da rede de drenagem bem como dos processos fluviais de erosão, transporte e deposição) é de suma importância para a compreensão da morfologia fluvial.

O sistema fluvial muda em resposta aos aspectos climáticos, aos eventos geológicos e as características e dinâmicas geomorfológicas (incluindo as ações antrópicas) que ocorrem ao longo do tempo nos diversos pontos da bacia hidrográfica. A escala temporal varia desde milhões de anos (tempo geológico) até os intervalos menores como da escala humana, com destaque para as intervenções antrópicas que tem se acentuado a partir do século XVIII. Além da escala cronológica, os sistemas fluviais também apresentam uma diversidade espacial, podendo ser constituídos por áreas de drenagem e canais fluviais de milhares de quilômetros até áreas e canais de apenas alguns metros.

Na BH os canais se ajustam aos débitos que fluem por meio de determinada seção transversal. As suas dimensões são controladas pelo equilíbrio entre as forças erosivas de entalhamento e os processos agradacionais que se depositam ao longo das margens e leitos dos canais. Sua dinâmica também está atrelada ao ciclo hidrológico, que por meio dos escoamentos superficiais e subterrâneos, possibilitam o suprimento dos débitos fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Com relação aos aspectos fisiográficos do canal, algumas pesquisas têm trabalhado com a geometria hidráulica, que investiga as características geométricas que compõem os canais fluviais. É considerada como um modelo empírico, desenvolvido inicialmente por Leopold e Maddock (1953), objetivando analisar as características de comportamento do canal.

A geometria hidráulica considera que a vazão é uma variável independente e dominante que age como modificadora dos possíveis ajustamentos sofridos pelo canal fluvial. Portanto, o fluxo juntamente com o material sedimentar (granulometria do material e a rugosidade do leito) são elementos importantes na estruturação fisiográfica dos canais fluviais. Os estudos da geometria hidráulica envolvem as variáveis da seção transversal como: largura, profundidade, velocidade, vazão, declividade superficial da água e do leito, área, perímetro molhado e raio hidráulico (Figura 2.09).



LEGENDA: A largura (W) e a profundidade (D) do canal referem-se às grandezas ocupadas pelas águas. O perímetro úmido (P) é a linha que assinala o encontro do nível d'água e o leito. A seção transversal (A) é a área do perfil transversal de um rio. Dividindo-se a área pelo perímetro úmido obtém-se o raio hidráulico ($R=A/P$). A declividade do canal é a diferença altimétrica entre dois pontos (a_1 e a_2) dividida pela distância horizontal entre elas (C). A velocidade é a descarga por unidade de área.

Fonte: Adaptado de Christofolletti, 1981.

Figura 2.09 - Morfometria do canal de escoamento

No curso fluvial no sentido montante jusante, à medida que seus tributários são encontrados ocorre o aumento da área de drenagem e acréscimo de sua vazão. Ao mesmo tempo, ocorrem mudanças na declividade, no transporte de sedimentos, tipo de material do leito, entre outras mudanças nas propriedades geométricas do canal fluvial (LEOPOLD et al., 1992). A fim de melhor interpretar a dinâmica dos canais fluviais e seus aspectos morfológicos, serão destacadas a seguir algumas considerações sobre as características geométricas dos canais fluviais como: margens plenas; leitos fluviais e seção transversal.

2.4.1. Seção transversal

Ao longo de uma seção transversal há elementos geométricos de importância básica para o estudo do sistema fluvial. Leopold e Maddok (1953) foram os pioneiros a trabalhar com essas variáveis, sendo amplamente utilizados pela geometria hidráulica. A Figura 2.10 e a Tabela 2.02 apresentam os principais aspectos geométricos da seção transversal e sua descrição.

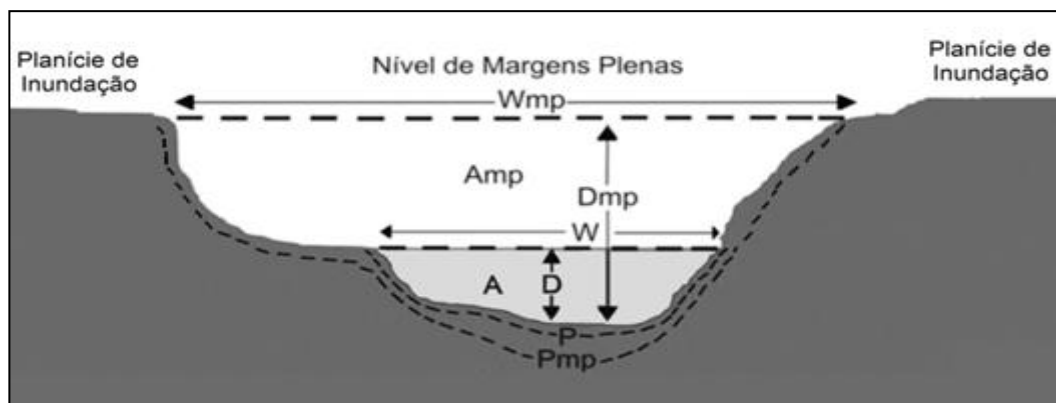


Figura 2.10 - Variáveis morfológicas de uma seção transversal

Fonte: Fernandez (2004)

Tabela 2.02 - Variáveis geométricas que descrevem a morfologia de uma seção transversal

Variável	Símbolo	Definição	Observações	Unidade
Referência: nível d'água				
Largura superficial	W		Comprimento da linha horizontal da área molhada.	Metros
Profundidade média do fluxo	D	$(\sum Di)/n$	Di são valores da profundidade do fluxo obtidos ao longo da seção transversal e n o número de medições.	Metros
Área molhada	A	W. D	Área da seção transversal ocupada pela água.	Metros ²
Perímetro molhado	P		Comprimento da linha de contato entre a superfície molhada e o leito.	Metros
Raio hidráulico	Rh	A/P	Quociente da área molhada pelo perímetro molhado.	Metros
Declividade da linha d'água	S		Declividade da linha d'água no sentido longitudinal em metros por metros	Metros
Referência: cota do nível de margens plenas				
Largura do canal	Wmp		Wmp é medida em nível de margens plenas.	Metros
Profundidade média do canal	Dmp	$(\sum Di)/n$	Di são valores de profundidade do canal medidos com referência ao nível de margens plenas e n o número de medições.	Metros
Área da seção transversal	Amp	Wmp.Dmp	Amp indica a área da seção transversal em nível de margens plenas.	Metros ²
Perímetro do canal	Pmp		Comprimento do leito ao longo da seção transversal, medido abaixo do nível de margens plenas.	Metros
Raio hidráulico	Rhmp	Amp/ Pmp	Quociente da área da seção de margens plenas pelo perímetro em nível de margens plenas.	Metros

Fonte: Fernandez (2004)

Com relação às variáveis geométricas contidas na seção transversal, as suas dimensões não são arbitrárias, ou seja, resultam da interação de fatores relacionados à carga de detritos, suas dimensões médias, quantidade, litologia, formas deposicionais e fluxo d'água. Quando as características das águas ou detritos de um canal são alteradas por mudanças: antrópicas; climáticas ou da cobertura vegetal na BH, o sistema do canal se ajusta para um novo conjunto de condições. A variação do ajuste do canal favorece o avanço do débito fluvial na direção das planícies adjacentes ao longo do leito principal durante os eventos de inundações (DUNNE e LEOPOLD, 1978).

Rosgen (1996) afirma que o equilíbrio do canal, se dá quando a dinâmica envolvendo a vazão e a carga de sedimentos produzidos na BH ocorrem de tal forma que os processos agradacionais e degradacionais do canal se equivalem. Os ajustes verticais do canal estão

relacionados com os processos de degradação (entalhamento) e agradação (deposição). Portanto, a dinâmica envolvendo o escoamento é composta basicamente por uma fase líquida (vazão) e por uma sólida (carga de sedimentos), sendo a interação entre essas duas fases, num balanço dinâmico (erosão – transporte – sedimentação) determinante na estruturação morfológica dos canais fluviais (SILVA et al., 2007). Para Christofolletti (1981, p. 85):

À medida que se eleva o nível das águas, há aumento da velocidade e da força de cisalhamento que criam possibilidades para as forças erosivas remanejarem o material sedimentar do leito, promovendo o entalhamento do canal. Inversamente, como a carga detrítica que passa pela seção transversal é fornecida pela área montante, a diminuição gradativa no volume do fluxo vai permitindo a deposição da carga sedimentar transportada pelo rio, favorecendo a elevação do nível do leito.

Enfim, o ajustamento da calha fluvial é definido pela resistência do leito, a estabilidade das margens e a geometria do canal. O seu equilíbrio está atrelado aos ajustes das entradas no sistema que se acomodam por meio dos movimentos laterais e verticais da geometria do canal. Na Figura 2.11 é possível observar o comportamento de um sistema fluvial em equilíbrio e desequilíbrio, sendo que qualquer que for a dinâmica que atuar no canal, esse sempre buscará um novo equilíbrio por meio de ajustes nas suas margens e leito (RICHARD, 2001).

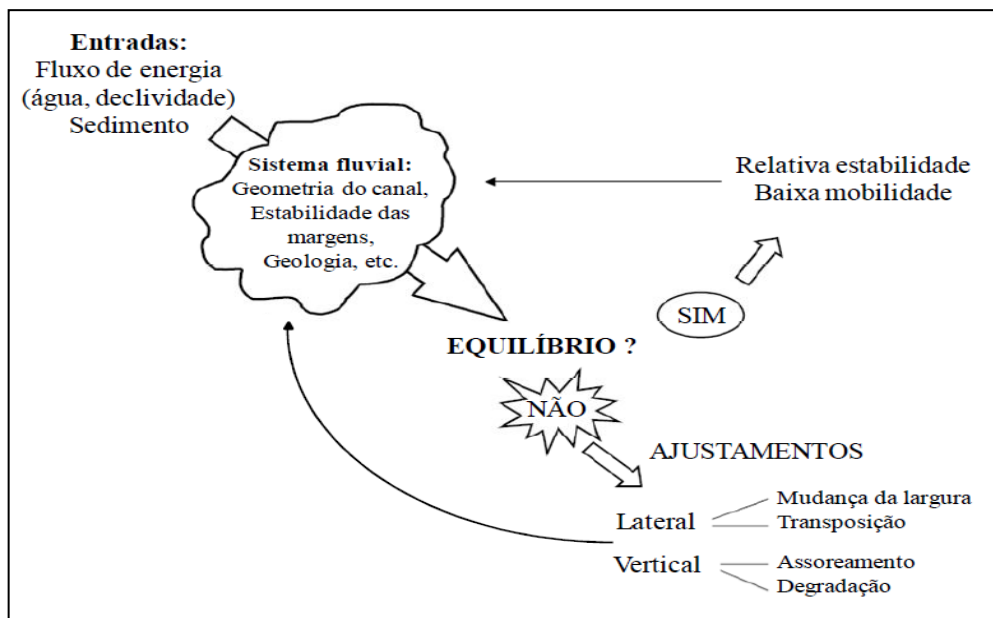


Figura 2.11 - Ciclo de ajustamento de um canal fluvial

Fonte: adaptado de Richard (2001)

2.4.2. Margens plenas (*bankfull*)

Na análise das seções transversais do canal fluvial uma das características mais importantes se refere ao nível de margens plenas (*bankfull*). Para Fernandez (2003) esse nível demarca o limite entre os processos fluviais que modelam o canal e os que constroem a planície de inundação. Segundo, Wolman e Leopold (1957) o nível de margens plenas corresponde a um plano horizontal no qual a descarga líquida preenche na medida justa a seção do canal fluvial antes de ultrapassar em direção à planície de inundação (Figura 2.06).

Trata-se de um nível com grande significado hidrogeomorfológico, sendo possível identificar em campo, pois ao contrário do nível do fluxo fluvial as margens plenas possuem certa “estabilidade”, sendo, portanto apropriado os estudos que as levem em consideração. Fernandez (2004) destaca que as margens plenas, bem como a sua vazão correspondente são de grande importância prática e científica já que nesse estado o rio controla suas dimensões físicas devido aos processos erosivos e deposicionais.

A definição de margens plenas é relativamente simples, no entanto quando se busca interpretar sua aplicabilidade e delimitação em campo surgem muitas dificuldades. Williams³, (1978) apud Fernandez (2010) analisou várias metodologias relacionadas às definições para o nível de margens plenas. Trata-se de vários critérios cada qual com suas vantagens e desvantagens, sendo que a escolha de um em função de outro reside na prioridade do pesquisador e na finalidade da pesquisa. O autor com base em inúmeros trabalhos definiu onze possíveis maneiras para determinar o nível de margens plenas, resumidas na tabela 2.03.

Christofolletti (1981) defende que o tempo de retorno de 1,58 anos de intervalo no sistema fluvial, corresponde ao estágio das cheias, sendo definido como o nível de margens plenas. Isto significa que em determinado ano há uma chance de cerca de 63% de o rio ocupar sua capacidade máxima (*bankfull*).

³ WILLIAMS, G. P. Bankfull discharge of rivers. *Water Resources Research*, 14(6): 1978, p.1141–1154.

Tabela 2.03 - Relação dos critérios adotados para identificação do nível de margens plenas

Critérios baseados nas superfícies deposicionais	
1. A superfície do fundo do vale	(Nixon, 1959; Woodyer, 1968; Kellerhals et. al., 1972; Dury, 1973).
2. O nível da planície de inundação ativa	(Wolmam e Leopold, 1957; Leopold e Skibitzke, 1967; Emmmett, 1975).
3. O nível do patamar inferior	(Schumm, 1960).
4. O nível do patamar intermediário	(Woodyer, 1968).
5. O nível do patamar superior	(Kilpatrick e Barner Jr., 1964).
6. O nível médio das partes mais altas nas barras de canal	(Wolmam e Leopold, 1957; Hickin, 1968; Lewis e McDonald, 1973).
Critérios baseados nas características botânicas ou sedimentológicas	
7. Limite em que a vegetação se estabelece de maneira contínua e definitiva	(Schumm, 1960; Sigafoos, 1964; Speigth, 1965; Nunnally, 1967; Leopold, 1994; Radecki-Pawlik, 2002).
8. O nível do limite superior de deposição de sedimentos tamanho areia	(Nunnally, 1967; Leopold e Skibitzke, 1967).
Critérios baseados na característica da seção transversal do canal	
9. Estágio associado com o valor mais baixo da relação entre a largura e a profundidade (W/D),	(Wolman, 1955; Harvey, 1969; Pickup e Warner, 1976).
10. Nível correspondente ao primeiro máximo no índice de Riley (bench index, BI)	(Riley, 1972).
11. O nível correspondente ao brusco aumento da relação área da seção transversal e largura do canal	(Williams, 1978).

Fonte: Williams (1978) apud Fernandez (2010)

De maneira geral, o nível de margens plenas e a vazão correspondente se mostram extremamente variadas, haja vista a grande disparidade dos seus valores dependendo do critério adotado para sua identificação. Portanto os mesmos devem ser interpretados de maneira cautelosa, sendo conveniente na aplicação de determinado critério, uma análise cuidadosa do objetivo do trabalho a fim de apresentar dados os mais fidedignos possíveis.

A definição das margens plenas trata-se de um conceito muito complexo exigindo uma consistente fundamentação do pesquisador para definir os critérios na sua aplicação teórica e prática. No presente trabalho a definição das margens plenas será focado nas características morfológica da seção transversal do canal fluvial. Estas foram definidas como o nível topográfico situado na parte superior do canal fluvial, onde é nítida a formação da

planície, na área adjacente a este nível. Trata-se do nível superior do leito principal capaz de dar suporte a vazão que preenche a capacidade total do canal fluvial.

2.4.3. Leitos fluviais

Os leitos fluviais se referem a uma feição morfológica com uma dinâmica própria. Considerando a frequência das descargas e a conseqüente topografia dos cursos fluviais, os leitos são classificados de acordo com o nível que ocupam na seção transversal (GUERRA e CUNHA, 2009). Dessa forma, ao longo da seção transversal há os leitos de vazante, leito menor (cheia) e o leito maior (inundação), correspondendo estes ao espaço ocupado pelo escoamento das águas. Na Figura 2.12, é possível notar por meio do perfil transversal, a maneira como estão dispostos os leitos no sistema fluvial.

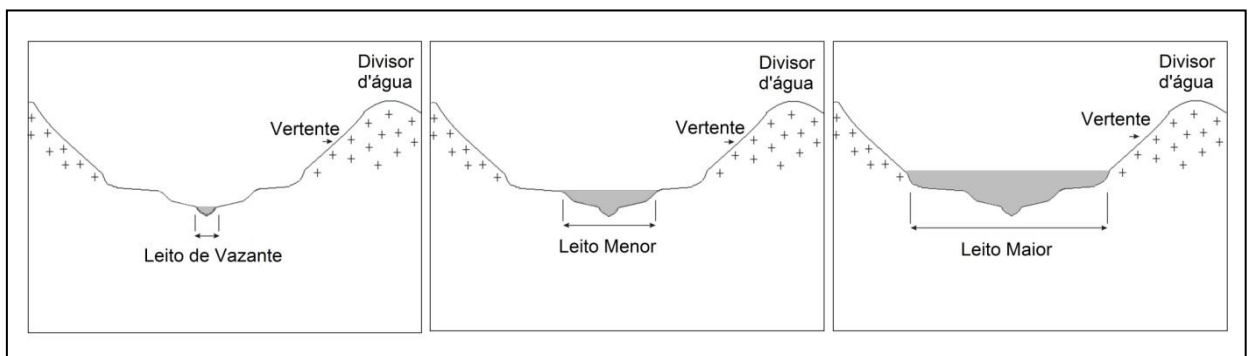


Figura 2.12 - Tipos de leito de um canal fluvial

O leito de mais fácil visualização é aquele ocupado pela vazão fluvial de baixa magnitude, ou seja, o leito de vazante. Este leito se refere à calha onde o rio percorre a maior parte do ano, sendo utilizado para o escoamento fluvial de pequena magnitude, serpenteando entre as margens do leito menor, acompanhando o talvegue. Fora deste, têm-se o leito menor também denominado de calha principal, sendo a área de abrangência das cheias, trata-se de um leito bem delimitado, encaixados entre as margens.

Com a ocupação de uma área mais abrangente ainda há o leito maior (também denominado de calha secundária, área marginal, planície de inundação, leito periódico ou sazonal, planície aluvial ou várzea). Esse leito é ocupado pelas inundações, que se trata de enchentes extraordinárias com longo período de retorno (ENOMOTO, 2004; ECKHARDT, 2008). Portanto, o limite entre o leito menor e maior corresponde ao nível de margens plenas, sendo este teoricamente o limite entre as enchentes e as inundações.

2.4.4. Regime do canal fluvial: algumas considerações

A dinâmica dos processos fluviais é complexa sendo influenciada por vários fatores como: condições climáticas (precipitação; evapotranspiração; radiação solar); geomorfologia; geologia; litologia; cobertura vegetal; uso do solo e ações antrópicas. A vazão ou débito do canal se refere a uma das propriedades mais importantes que atua nos processos fluviais, sendo definido como o volume de água por unidade de tempo que passa sob determinada seção transversal. A variação do nível das águas do canal durante o ano determina o regime fluvial ou hidrográfico. Portanto, o mesmo não é uniforme, havendo mudanças no volume de vazão, que se comporta de acordo com os distintos períodos do ano (regime de vazante – cheia – vazante).

Por meio da análise do comportamento das vazões médias, mínimas e máximas durante o ano, podem-se identificar os períodos de secas, estiagem e cheias. Essas informações são importantes para variados setores como: a produção de energia elétrica, construção de obras de engenharia, irrigação, navegação, abastecimento e planejamento dos recursos hídricos que se bem utilizadas revertem em benefício ao homem (TUCCI, 2003).

O regime fluvial apresenta várias classes de vazão ao longo do ano, e considerando a frequência das várias classes de vazão é possível determinar uma curva acumulativa de diferentes vazões, chamada de curva de permanência. Esta curva é utilizada em vários estudos hidrológicos, relacionando a vazão com a sua probabilidade de ocorrência ao longo do tempo, sendo a mesma definida base em vazões médias diárias para o período da série histórica.

Além da variação dos débitos fluviais na seção transversal individualizada, o canal fluvial também apresenta variações considerando as seções transversais ao longo do perfil longitudinal (Figura 2.13). Nessas é clara a distinção entre o comportamento das seções de montante e jusante, com um aumento das médias de largura e profundidade, e conseqüentemente do débito fluvial no perfil longitudinal (LEOPOLD e MADDOCK, 1953).

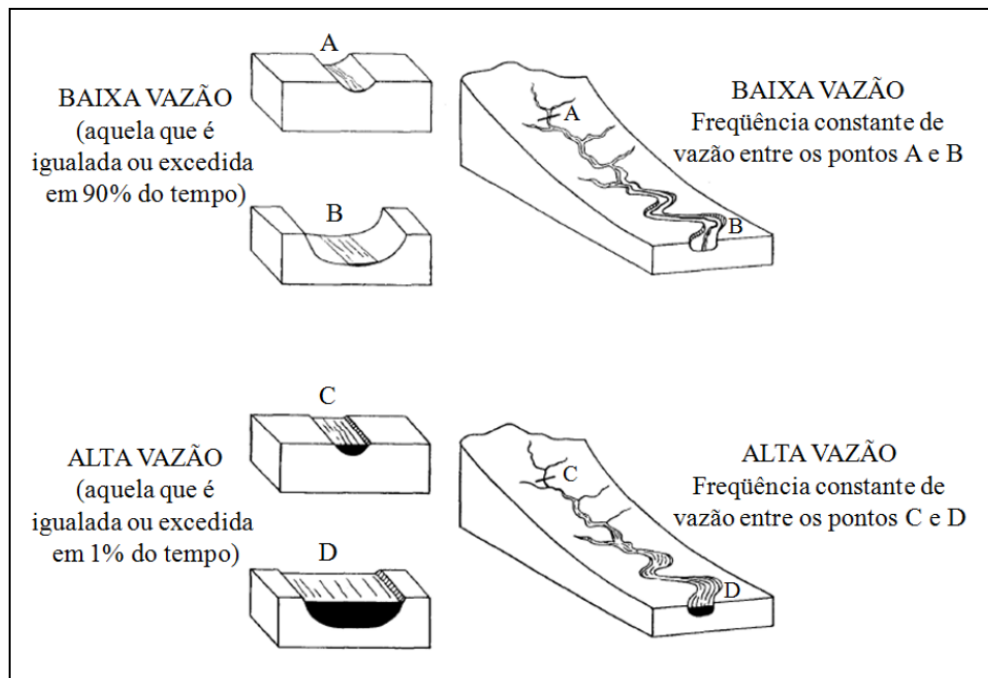


Figura 2.13 – Vazões nos perfis de montante e jusante e leitos de vazante e cheia

Fonte: Leopold e Maddock (1953)

O débito fluvial da seção transversal do canal está relacionado principalmente com o regime fluvial (vazante ou cheia) e com a localização da seção em análise ao longo do perfil longitudinal (setor de montante; intermediária ou jusante da BH).

Christofolletti (1981) assevera que a variabilidade da vazão numa determinada seção transversal e na direção de jusante é importante para o estabelecimento de obras de engenharia e planejamento dos recursos hídricos. Cabe destacar também as relações que os variados tipos de vazão possuem com a erosão e o transporte de carga sedimentar ao longo da bacia de drenagem (GRISON, 2010).

2.4.5. Vazão dominante e vazão de margens plenas

De todos os elementos envolvidos no sistema fluvial, a descarga líquida pode ser considerada como um dos principais condicionantes no dimensionamento do canal fluvial. As dimensões físicas dos canais são produtos de uma categoria de vazão que é muito efetiva no transporte de sedimentos. Esta vazão é denominada de descarga dominante (*dominant discharge*), sendo considerada a vazão modeladora ou modificadora do canal (FERNANDEZ, 2003).

O conceito de descarga dominante é amplamente discutido na geomorfologia fluvial e na engenharia hidráulica. No entanto, se mostra extremamente complexo sua definição,

sendo motivo de várias controvérsias entre os pesquisadores, com vários critérios para representar seu conceito na prática.

Segundo Martin (2007) a descarga dominante se apresenta em três categorias de descargas: descarga efetiva (Q_{ef}); descarga de margens plenas (Q_{mp}) e a descarga com um determinado intervalo de recorrência (Q_{ir}). Para o autor esses três tipos de vazões são teoricamente semelhantes em canais geomorfologicamente estáveis, no entanto há várias controvérsias quanto a esta similaridade. Veja a seguir suas principais características.

- Descarga efetiva: é a descarga líquida capaz de transportar o maior volume de sedimentos do leito de um curso d'água próximo a um estado estacionário (PICKUP e WARNER, 1976).
- Vazão com um determinado intervalo de recorrência: esta pode ser definida por meio do tempo de retorno do débito fluvial considerando a série histórica das estações fluviométricas. Contudo, apesar de ser uma maneira extremamente confiável, a sua determinação é muitas das vezes prejudicado, haja vista, à carência de estações fluviométricas e de históricos de monitoramento. Dessa maneira, nos canais onde os dados de monitoramento de vazões são precários, ou inexistentes, podem ser aplicados métodos indiretos para estimar a vazão da descarga dominante. Um dos métodos muito utilizado é o de Manning, que leva em consideração os aspectos geométricos do canal e as características da seção transversal (FERNANDEZ, 2003, 2004). Contudo, o conceito de um período de retorno universal para a descarga dominante que possa ser aplicado a todos os rios é controverso. Williams (1978) observou variações na frequência dessa vazão, e concluiu ser a mesma muito variável. Os valores mais comum para esse tipo de vazão está no intervalo entre 1 e 2 anos de recorrência, contudo são comuns valores superiores a estes.
- Vazão de margens plenas: está relacionada com as feições morfológica que podem ser identificadas em campo ao longo da seção transversal do canal fluvial. Segundo Wolman e Leopold (1957) a descarga de margens plenas é definida como a vazão líquida que preenche o canal ao nível da planície de inundação ativa.

2.4.6. Geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal fluvial

Os métodos de trabalhos envolvendo a geometria hidráulica podem ser estudados de duas maneiras: em determinada seção transversal ou ao longo do perfil longitudinal do canal fluvial. A primeira prevê as mudanças na largura, profundidade e velocidade com a variação

da vazão, enquanto a geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal prevê a adaptação do tamanho e da forma do canal de acordo com a variação da vazão ao longo do canal (montante-jusante) (FERGUSON, 1986⁴ apud GRISON, 2010).

Os canais fluviais quando não têm suas propriedades geométricas alteradas, tendem a manter certa proporcionalidade nas variáveis contidas na seção transversal e no perfil longitudinal. Os sistemas fluviais apresentam alguns elementos que auxiliam no ajuste do canal como: zonas ripárias; rugosidade da seção transversal; sinuosidade (meandros); material de leito e suspensão; cobertura vegetal do solo na bacia hidrográfica, entre outros.

As zonas ripárias conservam as margens fluviais e áreas adjacentes bem estabilizados graças ao desenvolvimento e manutenção do sistema radicular da vegetação. A rugosidade do canal também auxilia no equilíbrio morfológico, nesses contribuem também a vegetação marginal e os materiais de aluvião do canal fluvial. Os rios naturais também apresentam um complexo arranjo dos trechos fluviais que se caracterizam por apresentar variados gradientes de sinuosidade da rede de drenagem, sendo essenciais na diminuição da velocidade do fluxo fluvial.

Outra variável importante no equilíbrio morfológico do canal é a cobertura vegetal da bacia hidrográfica. Pois estas protegem o solo contra os impactos direto das gotas de chuva nos solos, além de filtrar e diminuir a entrada de sedimentos das encostas na calha fluvial. As dinâmicas climáticas e seus reflexos no ambiente também condicionam os ajustes nos sistemas fluviais. Enfim, se trata de uma série de elementos que contribuem para o equilíbrio da morfologia fluvial.

Todas essas variáveis citadas quando alteradas, provocam desajustes/desequilíbrios na geometria dos canais fluviais. Contudo, nos últimos anos o homem vem intervindo na estabilidade desses elementos responsáveis pelo equilíbrio dos sistemas fluviais. Em decorrência dos grandes avanços tecnológicos e conseqüentemente da capacidade de alteração do ambiente, os principais impactos tem sido oriundos da expansão das cidades. Os rios sofrem com a instalação de estruturas urbanas tanto nas áreas sobrejacentes (canalização, pontes e etc.) como adjacentes (impermeabilização, terraplanagem e etc.) do canal fluvial. Nesse contexto, a configuração morfológica dos canais fluviais depende da dinâmica dos fatores autóctones e alóctones que constroem e moldam, ao longo do tempo, diferentes feições no canal fluvial.

Além das áreas urbanas, cabe destacar também os impactos nos canais fluviais nas

⁴ FERGUSON, R. I. Hydraulics and hydraulic geometry. Progress in Physical Geography, v.10, p.1-31, 1986.

áreas rurais, onde o uso mal planejado da terra tem favorecido à entrada excessiva de sedimentos no canal além de substâncias químicas proveniente dos defensivos agrícolas aplicados nas lavouras. As pequenas obras estruturais (barragens; desvio do rio; lagos e etc.) são comuns, e favorecem na instabilidade do regime fluvial. Nas áreas rurais, as zonas ripárias também têm sido suprimidas para usos da pecuária e agricultura. Os rebanhos acabam criando caminhos preferenciais para o acesso a água de animais, potencializando os processos erosivos com desembocadura direta no canal, e conseqüentemente na carga sólida no curso fluvial.

Portanto, a configuração morfológica dos canais fluviais apresenta um complexo arranjo estruturado de forma sistêmica. Para atender os objetivos propostos da pesquisa, o presente trabalho focará a geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal. A análise da geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal em nível de margens plenas é muito valiosa para engenheiros, hidrólogos, geomorfólogos e biólogos, que participam dos processos de restauração e proteção dos rios (FERNANDEZ, 2003).

As modificações de vazão mais expressivas ao longo de um canal ocorrem quando o rio atinge o nível de margens plenas (*bankfull*). Leopold e Maddock (1953) definiram que a geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal pode ser estabelecida somente a frequência de vazão em nível de margens plenas. Nessa, as descargas fluviais aumentam em direção à jusante, progressivamente, com uma maior área de captação. A fim de acomodar os crescentes volumes de fluxo, as dimensões do canal (largura e profundidade) normalmente crescem a jusante, e muitas vezes são acompanhados por um ligeiro aumento na velocidade. A maneira como esses parâmetros aumentam no sentido montante-jusante pode ser descrito pela geometria hidráulica do canal (Figura 2.14) (CHARLTON, 2008).

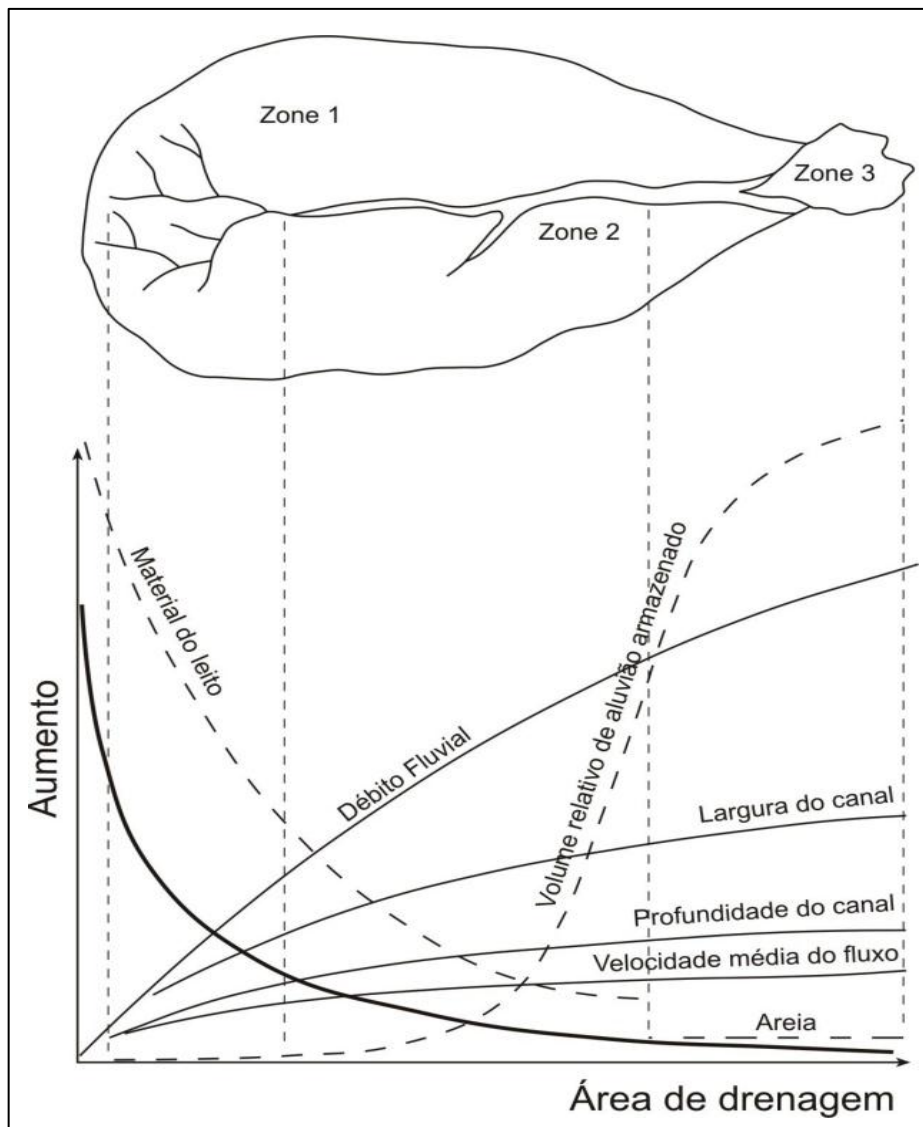


Figura 2.14 - Representação da variação nas propriedades do canal numa BH

Fonte: Charlton (2008)

As propriedades geométricas da seção transversal mais comumente empregadas nos estudos de geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal é a largura; profundidade; velocidade e vazão. As suas relações podem ser expressas mediante funções potenciais:

$$W = aQ^b \quad (1)$$

$$D = cQ^f \quad (2)$$

$$V = kQ^m \quad (3)$$

Onde **W** é a largura superficial, **D** a profundidade média, **V** a velocidade do fluxo e **Q** a vazão. As letras **a**, **c** e **k** são coeficientes **b**, **f** e **m** expoentes. Devido que $Q = W.D.V$, a soma dos expoentes (**b**, **f**, **m**) e o produto dos coeficientes (**a**, **c**, **k**) é igual a 1,0.

As correlações também podem ser feitas entre as propriedades geométricas de um

total de seções transversais representativas de determinada rede de drenagem, com a área da BH correspondente a cada seção. Leopold e Maddock, (1953) definem que há correlação positivas bem ajustadas entre os parâmetros geométricos do canal fluvial, contudo cabe lembrar que as maiores correlações são encontradas em ambientes naturais, pois nos ambientes antrópicos a morfologia fluvial muitas das vezes não condiciona um bom ajuste nessa relação. Para Vieira e Cunha (2006), o aumento da descarga num sistema fluvial ajustado deve ser proporcional ao aumento da área de drenagem, assim como da largura e profundidade média do canal. Dessa maneira, ao se empregar a geometria hidráulica, é possível estabelecer o grau de desajuste dos canais fluviais e suas potencialidades em interferir no ambiente.

A relação das propriedades geométricas obtidas em nível de margens plenas, com a área da BH foi denominada por Dunne e Leopold (1978) de curvas regionais ou geometria hidráulica em nível de margens plenas, as equações gerais que representam essas correlações são:

$$Q_{mp} = \alpha_1 A_D^{\alpha_2} \quad (4)$$

$$W_{mp} = \alpha_3 A_D^{\alpha_4} \quad (5)$$

$$D_{mp} = \alpha_5 A_D^{\alpha_6} \quad (6)$$

$$A_{mp} = \alpha_7 A_D^{\alpha_8} \quad (7)$$

Sendo: **Q_{mp}** a vazão em nível de margens plenas (m³/s); **W_{mp}** a largura de margens plenas (m); **D_{mp}** a profundidade com margens plenas (m); **A_{mp}** a área da seção transversal com margens plenas (m²); **A_D** a área de drenagem (km²); $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_5, \alpha_7$ coeficientes e $\alpha_2, \alpha_4, \alpha_6, \alpha_8$ expoentes de regressão.

Os estudos da geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal permitem inferir o estado de ajuste dos canais fluviais. Esses estudos são essenciais para tratar da dinâmica envolvendo o débito fluvial e conseqüentemente a descarga de sedimentos, além de possibilitar avaliações do ajuste das propriedades hidráulicas dos canais fluviais, principalmente, em áreas urbanas. Apesar dos trabalhos envolvendo essa temática estarem recebendo crescente atenção por parte de vários ramos da ciência, os mesmos é ainda incipiente no Brasil.

Gregory e Park (1974) investigaram as mudanças de vazões e ajustes de um canal fluvial a jusante de um reservatório, por meio da teoria da geometria hidráulica. Nessa pesquisa foi relacionado à área da seção transversal do canal fluvial e o débito fluvial com a área de drenagem em períodos de vazante e cheia, onde se observou alterações morfológicas

do canal com a construção da barragem. Os pesquisadores notaram uma diminuição substancial da capacidade do canal (Amp) a jusante da barragem, em aproximadamente onze quilômetros. Outra mudança foi à diminuição das vazões de cheias em 40% com relação ao período anterior a construção da obra.

Vieira e Cunha (2006) ao avaliarem a capacidade dos canais da BH do Rio Paquequer, localizado na área urbana de Teresópolis-RJ identificaram grandes diferenças nas proporcionalidades do tamanho dos canais em direção à jusante causada por obras setoriais e pela presença de pontos assoreados. Na bacia, as relações geométricas foram desajustadas em sete sub-bacias pesquisadas, sendo que destas, três apresentaram correlações fracas e negativas. Dessa maneira, os coeficientes de determinação variaram de $r^2 = -0,6762$ à $r^2 = 0,2851$. Os resultados demonstram o quanto os rios foram modificados pela urbanização, de maneira que não há proporcionalidade entre as seções transversais e as respectivas áreas da BH. Os autores destacaram ainda, que a área tem sofrido com inundações potencializadas pelos desajustes na geometria hidráulica dos canais.

Cunha (2008) após analisar vários trabalhos envolvendo BHs urbanas no Estado do Rio de Janeiro elencou alguns dos principais impactos na rede de drenagem: a alteração da morfologia dos canais com a implantação de obras setoriais e o acúmulo de sedimentos/resíduos ao longo das margens e leitos; alargamento dos canais em trechos naturais além dos desastres naturais que tem sido potencializado pelo aumento na magnitude das vazões; canalização dos cursos fluviais em decorrência das obras de infraestrutura urbana que têm contribuído na alteração dos valores da densidade de drenagem dos canais fluviais.

Fernandez (2004) empregou a geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal em nível de margens plenas em canais urbanos na cidade de Marechal Cândido Rondon/PR. Os resultados mensurados apresentaram baixas correlações nas relações geométricas dos canais. Para o autor, esses desajustes são influenciados pelos impactos da urbanização que provocam alterações na forma dos canais e geram desajuste nas relações entre a área da BH e as propriedades geométricas das seções transversais.

Harman et al., (2007) estabeleceram as equações regionais da geometria hidráulica para cursos d'água na área rural na Carolina do Norte–EUA. As equações mostraram uma forte relação entre o nível de margens plenas dos cursos d'água juntamente como as variáveis: profundidade, largura, vazão dominante e a área de drenagem dos cursos d'água.

Os estudos envolvendo a geometria hidráulica são, portanto fundamentais para analisar as características morfológicas dos canais fluviais. Para Christofolletti (1981) as

propriedades geométricas do canal apresentam um ajustamento alométrico, pois os seus valores se alteram conforme as transformações que acontecem no todo. Os estudos sobre a geometria hidráulica possibilitam a comparação entre áreas, a fim de analisar a influência do uso da terra nas BHs aos canais fluviais. Com relação aos impactos na morfologia hidráulica, Cunha e Guerra (1996, p. 362-363), destacam que as:

Atividades humanas desenvolvidas em trecho do rio podem alterar, de diferentes formas e escalas de intensidade, a dinâmica desse equilíbrio. São exemplos, as obras de engenharia como as construções de reservatórios e canalizações, a substituição da mata ciliar por terras cultivadas, o avanço do processo de urbanização e a exploração de alúvios. Uma das formas que o rio encontra para retornar ao equilíbrio anterior refere-se à intensa erosão das margens, assim como a mudança na topografia do fundo do leito.

Nas áreas urbanas o conhecimento das características geométricas dos canais fluviais, pode contribuir significativamente nos projetos envolvendo a drenagem urbana, à medida que possibilitam ações no sentido de minimização dos efeitos das enchentes e inundações; e do dimensionamento e redimensionamento das seções fluviais alteradas (obras de infraestrutura). Pois, as obras de infraestrutura são primordiais ao desenvolvimento urbano. Por fim cabe ressaltar que apesar dos desajustes geométricos induzidos principalmente pelas ações antrópicas nos canais fluviais, os processos hidrogeomorfológicos sempre buscarão a manutenção do equilíbrio e o ajustamento entre as variáveis geométricas do canal.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização e aspectos históricos da ocupação de Guarapuava

O município de Guarapuava situa-se no terceiro planalto paranaense, na mesorregião centro sul do Estado do Paraná, sendo delimitado pelos paralelos 25° 03' 29'' e 25° 38' 16'' de latitude Sul e os meridianos 51° 42' 40'' e 50° 48' 17'' de longitude Oeste de Greenwich. O município conta com uma população aproximada de 166.195 habitantes, segundo dados publicados pelo IBGE no Diário Oficial da União em 04 de novembro de 2010 (BRASIL, 2010). Sua área territorial é de aproximadamente 3.117,598 km², limitando-se com os seguintes municípios: ao norte com Turvo e Campina do Simão, ao sul com Pinhão e Foz do Jordão, a leste com Prudentópolis e Inácio Martins e a oeste com Cantagalo e Cândói (IPARDES, 2011).

A BHRC, área de estudo tem uma área de aproximadamente 81,03 km², sendo tributária da BH do Rio Jordão, que por sua vez, deságua na BH do Rio Iguaçu. A área urbana de Guarapuava, está quase que totalmente situada na bacia hidrográfica do Rio Cascavel que tem cerca de 40% da sua área urbanizada, sendo necessário, portanto, uma breve caracterização do processo de ocupação e urbanização em Guarapuava, a fim de melhor entender o contexto atual da área de estudo (Figura 3.01).

A ocupação da região ao longo da história quase sempre obedeceu além dos interesses político-econômicos, também as características fisiográficas do terreno (tipo de solo, recursos hídricos, aspectos climáticos, entre outras). Nesse contexto, o município de Guarapuava teve sua criação e desenvolvimento atrelado ao desenvolvimento da economia colonial brasileira, passando a integrar os objetivos geopolíticos entre Portugal e Espanha aos interesses de exploração dos recursos naturais. Stefenon (2003) destaca que anteriormente aos projetos de colonização dos campos de Guarapuava, a região já era ocupada pelos índios Caingangues. Estes se dividiam em três tribos principais: Camé, Votorões e Cayeres. Como primeiros habitantes da região e participantes do processo de formação étnica de onde hoje é o município de Guarapuava, os indígenas contribuíram significativamente para efetivar costumes, hábitos e termos linguísticos, que aos poucos, foram incorporados à cultura e ao cotidiano da região.

A localização geográfica da BHRC, está compreendida entre os paralelos 25° 18' 03'' e 25° 26' 19'' latitude Sul e os meridianos 51° 24' 49'' e 51° 32' 07'' longitude Oeste (Gw) (Figura 3.01).

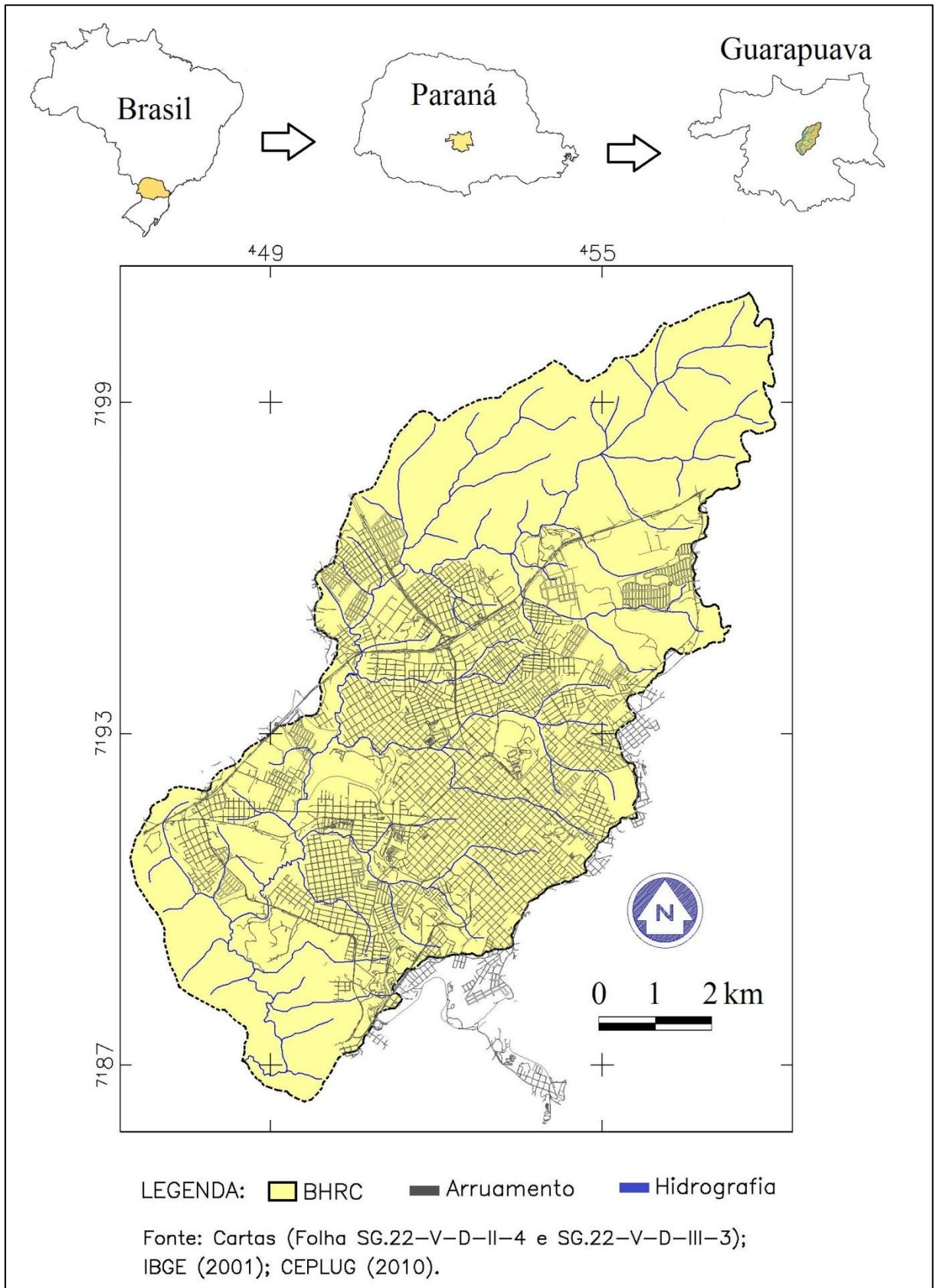


Figura 3.01 - Localização da área de estudo

Uma das primeiras levas de colonizadores chegou a região em 1810, tratava-se da Real Expedição Colonizadora que criou o povoado do Atalaia. Em 9 de dezembro de 1819 o povoado foi instalado oficialmente com o nome de Freguesia de Nossa Senhora de Belém. Em 17 de julho de 1852, a freguesia foi elevada à categoria de Vila, passando a ser chamada de Vila de Guarapuava alcançando autonomia municipal. Neste mesmo ano instalou-se a Câmara Municipal, e em 12 de abril de 1871 por meio da Lei Provincial nº. 271 a cidade foi então denominada de Guarapuava (GOMES, 2009).

Num primeiro momento Guarapuava teve uma ocupação atrelada ao sistema de exportação de produtos primários baseado no extrativismo. A consolidação da sua ocupação ocorreu com a implementação da economia pecuária no Paraná. Dessa forma, Guarapuava se insere na economia colonial por meio da ocupação dos Campos de Guarapuava com a expansão da atividade tropeira (SILVA, 1995). No entanto, no início do século XX o tropeirismo entrou em decadência, sendo substituída por outros ciclos econômicos. Entre eles se destaca o ciclo da erva mate que foi elemento importante no desenvolvimento da região, contudo desarticulada à economia nacional. Destacam-se também outras atividades como: a agricultura de subsistência; a pecuária nas pequenas propriedades e a exploração madeireira (SILVA, 1995). Porém, essas atividades não foram capazes de reter capital significativo na região, refletindo num cadenciado desenvolvimento. Esses processos econômicos da região contribuíram para que Guarapuava permanecesse como um “apêndice do campo” até praticamente a metade do século XX (LOBODA, 2008).

Essa realidade começa a mudar a partir dos meados do século XX, quando há o incremento na região de um grande contingente populacional aliado a melhora significativa da economia nacional e a integração da cidade a outros centros por meio de ferrovia e rodovia. Entre os períodos de 1950 e 1980 a população urbana apresentou um crescimento expressivo favorecidos por um intenso fluxo migratório. Os anos seguintes a esse período também foram de crescimento haja vista os fluxos migratórios provenientes do campo (SILVA, 1995). Essas mudanças influenciaram de maneira direta o núcleo urbano, favorecendo o surgimento de novos loteamentos em diferentes áreas periféricas. Neste ínterim, a partir de 1960 são criados vários loteamentos a fim de atender a demanda crescente por moradias (Figuras 3.02).

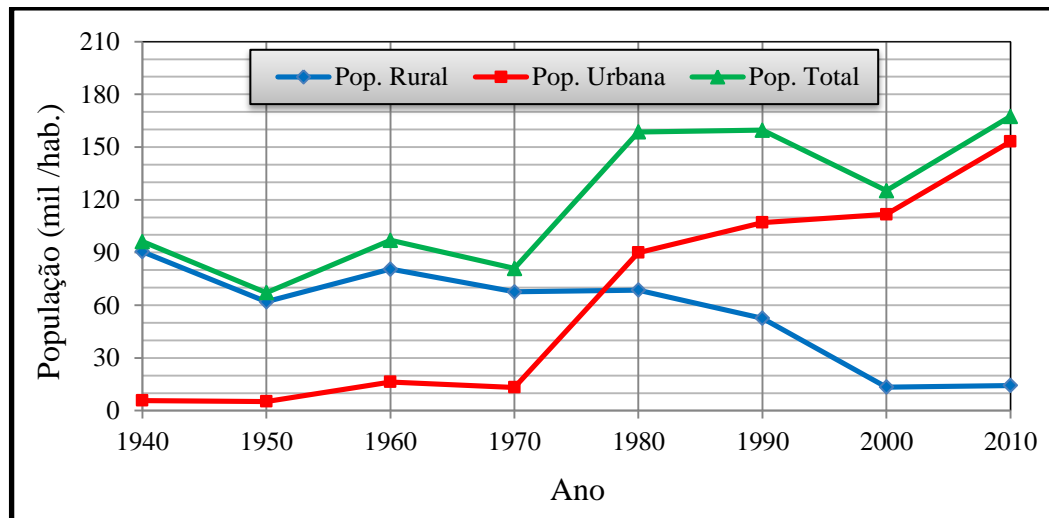


Figura 3.02 - Evolução da população no município de Guarapuava (1940-2010)

Fonte: (BRASIL, 2010)

A cidade de Guarapuava passou por uma expansão física territorial urbana expressiva a partir da década de 1970, quando surge grande número de loteamentos. A partir de 1970 a população citadina cresceu significativamente, superando a população rural, no final da década de 1970, enquanto a população rural manteve sua tendência de queda, que se acelerou após os anos de 1980 (Figura 3.02).

Loboda (2008) menciona que esse desenvolvimento urbano significativo se deve as várias mudanças na forma de apropriação da natureza, como a introdução de novas técnicas na agricultura, via de transporte, relações sociais e de trabalho, no campo e na cidade, que transformaram significativamente sua paisagem. No entanto, apesar do crescimento da cidade, esta apresentou um desenvolvimento insuficiente com relação à infraestrutura urbana, sem a devida atenção quanto às normas de uso e ocupação do solo (SILVA, 1995).

3.2. Aspectos litológicos e geomorfológicos

A BHRC está inserida no Planalto de Guarapuava, que é caracterizado pelos grandes derrames do vulcanismo mesozóico, constituídos pela Formação Serra Geral, do Grupo São Bento (MAACK, 1981). A Formação Serra Geral, é formada por amplos derrames de rochas ígneas, predominando basaltos, que recobrem as rochas sedimentares da Formação Botucatu. Nardy et. al. (2002) apontam que essas rochas foram formadas no final do período Jurássico e início do Cretáceo (entre 140 a 120 milhões de anos), quando ocorreu a extrusão de grande quantidade de material ígneo, proveniente de significativas fendas abertas na crosta terrestre, provavelmente atrelada à separação do continente sul-americano da África, com a

consequente abertura do oceano Atlântico.

As rochas basálticas da Formação Serra Geral na BHRC têm como características uma coloração cinza escura a negra, de composição básica a intermediária com tendência alcalina. Possuem granulação média, sendo compostos por plagioclásios, augita, minerais opacos, pigeonita, filossilicatos finos, apatita, quartzo, carbonatos e piroxênio alcalino (MINEROPAR, 1992).

Em menor área, nota-se também a presença dos riódacitos pórfiros que são rochas pertencentes ao Membro Nova Prata, sobrepostas aos basaltos da Formação Serra Geral. Essas rochas se caracterizam por apresentar:

coloração cinza clara, textura porfírica, com cristais pórfiros idiomórficos e xenomórficos com até 1 centímetro de aresta, imerso na matriz afanítica (fina). Esses cristais mostram coloração esbranquiçada e ressaltam na matriz quando a rocha apresenta-se intemperizada (MINEROPAR, 1992, p. 14).

Além das áreas dominadas pelas rochas de origem vulcânica, nos fundos de vales da bacia, associados às planícies de inundação, ocorrem também sedimentos aluvionares. Estes são compostos predominantemente por turfas e sedimentos enriquecidos com significativa quantidade de matéria orgânica (MINEROPAR, 1992, 2001).

Para Bigarella, et. al. (1994) as características geomorfológicas da área de estudo estão estritamente subordinadas às estruturas de derrames vulcânicos de fissura continental, onde as camadas de basalto deram lugar a plataformas estruturais que regulam a progressão da erosão. Os derrames tabulares são seccionados por falhamentos regionais com evidências de movimentos verticais de blocos. No bloco diagrama da Figura 3.03 podem-se observar as estruturas tectônicas das Falhas do Rio das Pedras e do Rio Cascavel. Essas estruturas se tratam de falhas paralelas entre si, com direção geral 25°NE que condicionam o alinhamento da drenagem e dos divisores topográficos ao longo da BHRC.

Seguindo a classificação geométrica dos padrões de drenagem proposto por Suguiú e Bigarella (1990), a BHRC apresenta característica do padrão de drenagem dendrítica ou arborescente. Essa composição de padrões de drenagem se deve primeiramente ao desenvolvimento dos canais sobre rochas (basalto) com resistência uniforme, que condiciona o padrão arborescente. A rede de drenagem da BHRC também tem sua configuração influenciada pelo controle estrutural, principalmente pela Falha do Rio Cascavel. Esta condiciona uma configuração assimétrica da rede de drenagem, com maior desenvolvimento dos tributários da margem esquerda da bacia.

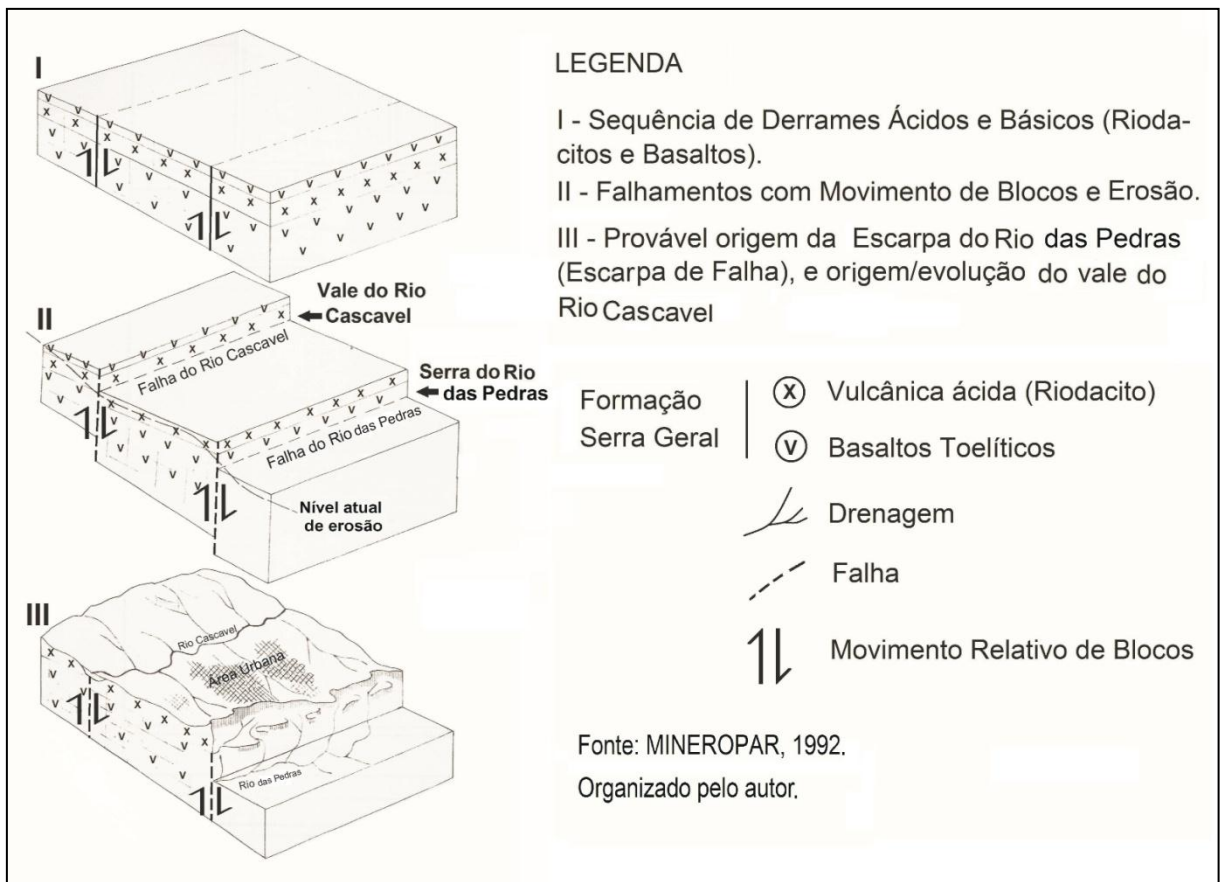


Figura 3.03 - Bloco diagrama da estrutura geológica da área urbana de Guarapuava

Além da Falha principal do Rio Cascavel são comuns também outras lineações estruturais representadas por fraturamentos verticais e horizontais constituindo os falhamentos secundários, que condiciona certo paralelismo em alguns tributários do Rio Cascavel (MINEROPAR, 1992). Essas estruturas de relevo condicionam a presença de significativas rupturas de declives, principalmente no curso inferior do Rio Cascavel onde se observam a presença de corredeira/cachoeiras.

Apesar destes controles estruturais por falhamento na bacia, esta apresenta uma declividade mediana de 6,4% constituindo um relevo pouco dissecado. Pela curva clinográfica da BHRC esta mantém uma ascendência moderada da sua declividade, sendo que as declividades acima dos 20% equivalem a menos de 6% da área total da bacia. (Figura 3.04).

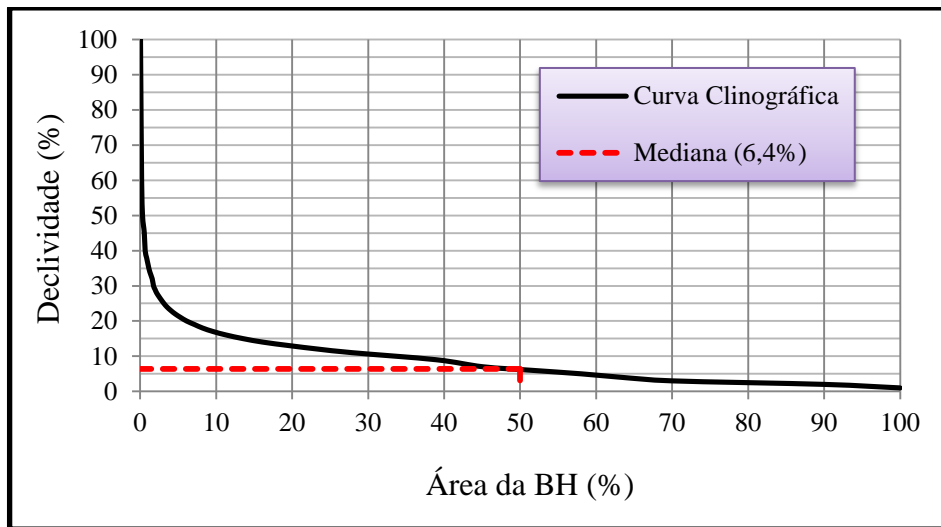


Figura 3.04 - Curva Clinográfica da BHRC

Fonte: Dias-Oliveira et al., (2010)

Na Tabela 3.01 são apresentados os principais parâmetros morfométricos da BHRC.

Tabela 3.01 - Índices morfométricos da BHRC

Índices	Valores	Unidade
Área	81,03	km ²
Perímetro	44,72	km
Comprimento total dos cursos fluviais	124,84	km
Densidade de drenagem	1,54	km/km ²
Comprimento do rio principal	24,4	km
Declividade do canal Principal	10,00	m/km
Amplitude topográfica	256,00	m
Densidade de rios	1,00	km ²
Altitude Média	1048,00	m
Altitude Mediana	1070,00	m
Declividade Mediana	6,40	%
Coefficiente de Compacidade	1,40	adimensional
Fator de Forma	0,30	adimensional

Fonte: Dias-Oliveira et. al. (2010) – Escala utilizada: 1:50.000

Dias-Oliveira et al., (2010), definiram os principais aspectos fisiográficos da BHRC. Ela possui um relevo pouco dissecado com uma declividade mediana de 6,4% e densidade de

drenagem média de $1,54 \text{ km/km}^2$ (Tabela 3.01 e Figura 3.04). O padrão de drenagem é do tipo dendrítico com alto grau de ramificação, condicionado pelo substrato rochoso. A parte central da bacia é na sua maior parte ocupada pela área urbana de Guarapuava, que potencializa alterações nos processos hidrológicos e conseqüentemente a ocorrência de alagamentos e enchentes. Pelos dados do trabalho, os autores concluíram que a morfometria da BHRC restringem áreas a ocupação humana, principalmente nas depressões e planícies de inundações na porção central da bacia.

3.3. Aspectos pedológicos

Os aspectos pedológicos resultam dos processos intempéricos que atuam sobre um determinado material de origem, aliados a outros condicionantes como o clima, a vegetação, o solo, o relevo e o tempo. Na BHRC, os vários processos naturais de meteorização do substrato rochoso condicionaram os seguintes tipos de solo: solos orgânicos (organossolos); Latossolos Brunos e Litossolos (Figura 3.05).

Os Organossolos predominam junto às áreas de várzeas dos fundos de vales da bacia associados às planícies de inundação do Rio Cascavel onde ocorre a presença de sedimentos aluvionares. A formação desses sedimentos está relacionada com a deposição de restos vegetais em grau variáveis de decomposição, acumulados em ambientes aquosos que se caracterizam por apresentar alta plasticidade, cheiro peculiar e cor escura. O material de origem é composto por acumulações orgânicas residuais recentes (Holoceno), cuja composição está relacionada a fatores como: tipo da formação vegetal, ações biológicas processadas e a proporção de sedimentos finos adicionadas ao material. Esse tipo de solo é denominado de turfa, e dependendo das condicionantes que nele atuaram, pode apresentar variações para turfas argilosas, argilas orgânicas e argilas turfosas. Os solos orgânicos são bastante ácidos haja vista seu desenvolvimento em condições de permanente encharcamento, com o nível de base na superfície ou próximo a ela durante a maior parte do ano. A vegetação que predomina nos solos orgânicos são campos de várzeas, com a presença das gramíneas, ciperáceas e arbustos de pequeno porte. São solos que assentam diretamente sobre o substrato rochoso apresentando espessuras que varia de 0,5 a 3,0 metros de profundidade, podendo em alguns locais apresentar espessuras superiores a estas (MINEROPAR, 1992).

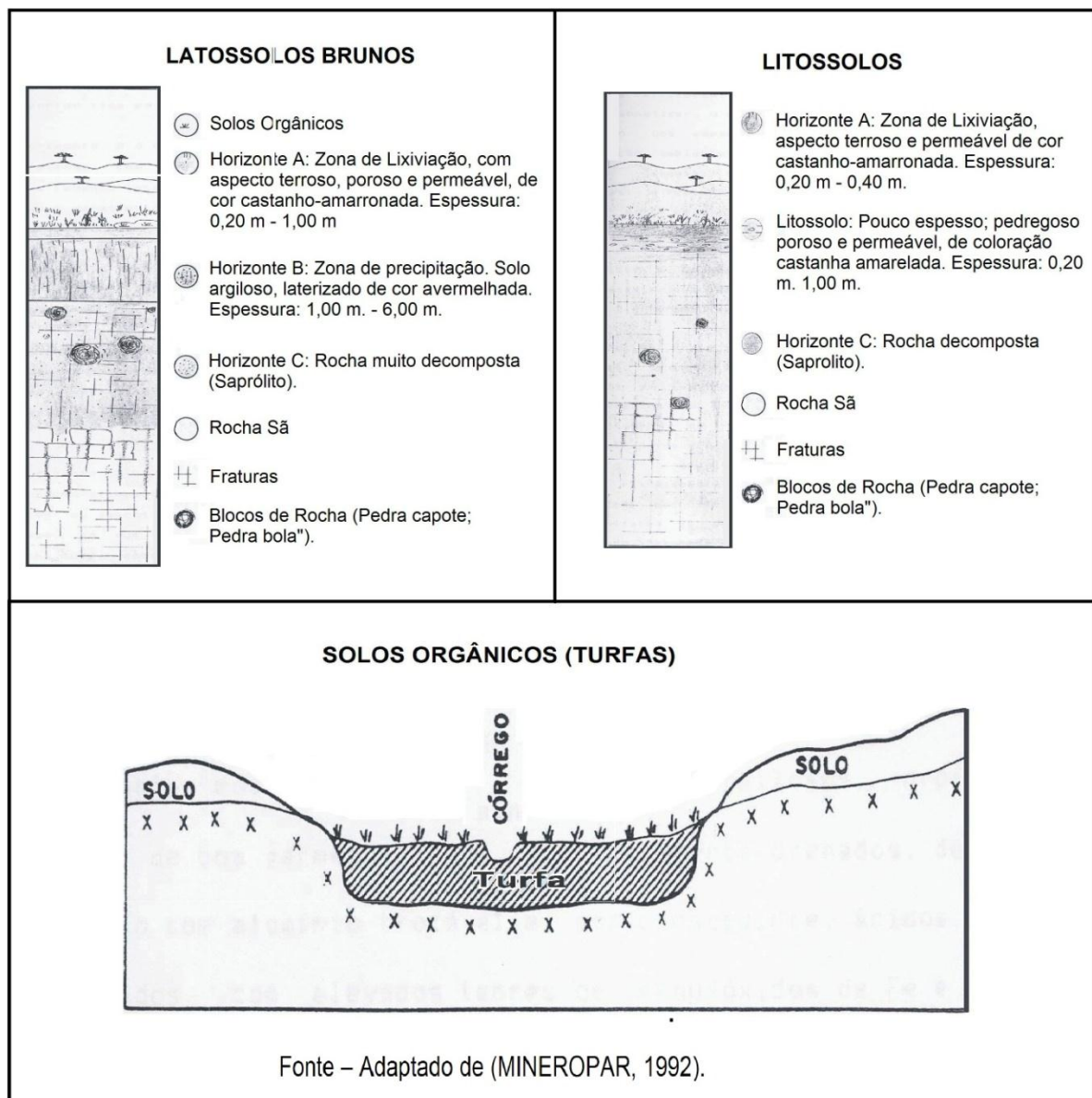


Figura 3.05 – Perfil Pedológico dos solos predominantes na BHRC

Os Latossolos Brunos são solos que predominam nas partes aplainadas dos divisores topográficos e ao longo das vertentes mais suaves/onduladas e alongadas encontrados normalmente entre 800 e 1200 metros. Sua gênese está relacionada aos processos de intemperismo das rochas ígneas ácidas preexistentes. Refere-se a solos minerais não hidromórficos, com argila de baixa capacidade de troca de cátions. Apresentam a sequência de horizontes A, B e C, sendo que a transição de A e B é normalmente gradual. O horizonte A é geralmente pouco desenvolvido, com uma coloração castanho-amarronada, e espessuras entre 0,2 e 1,1 metros. O horizonte B é composto por solo residual avermelhado de matriz argilosa, com comportamento plástico e compreensível. Sua espessura varia de 1,0 a 6,0 metros. Já o

horizonte C representa um estrato com níveis de rochas altamente decompostas com características heterogêneas (solos saprólios) (MINEROPAR, 1992).

Os Litossolos predominam nas porções mais íngremes do relevo, com declividades superiores a 20% sendo também encontrado em relevos mais suaves. Assim como os Latossolos, os solos Litólicos são originados da meteorização do substrato magmático. Todavia, compreendem solos minerais, pouco desenvolvidos pedogeneticamente, com espessuras de no máximo 1,0 metro. Suas características morfológicas se resumem praticamente ao horizonte A que apresenta espessuras entre 0,2 e 0,4 metros, ocorrendo abaixo desse nível camadas inconsolidadas com porcentagens elevadas de fragmentos e blocos (MINEROPAR, 1992).

3.4. Aspectos climáticos

O clima é um agente dinâmico sendo complexa sua caracterização, o mesmo está condicionado a uma variedade de fatores como a altitude, a continentalidade, a vegetação, a latitude, as massas de ar atuantes na região entre outros fatores. Com relação aos aspectos climáticos de Guarapuava, o mesmo é condicionado significativamente pela sua posição geográfica. O município situa-se no centro-sul do Estado do Paraná, sendo esta região área de atuação dos sistemas extratropicais que condiciona climas subtropicais. Portanto, a área de estudo está sob domínio da zona extratropical, favorável a temperaturas com caráter mesotérmico, que se trata de médias anuais entre 16 e 20 °C, com verões amenizados pelas altitudes e invernos frios. Quanto aos regimes pluviométricos estes são abundantes e distribuídos ao longo do ano, não aparentando períodos secos (MONTEIRO, 1963).

Maack (1981) definiu a região de Guarapuava como pertencente à Zona de Clima Quente Temperada Subtropical, fresco até frio no inverno, com uma temperatura média anual de 16,8 °C e precipitação anual de 1653,7 mm com ventos predominantemente na direção leste.

De acordo com o IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná), considerando a classificação climática de Köppen, o clima de Guarapuava é do tipo Cfb – Clima temperado propriamente dito; com temperaturas médias no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), verões frescos e temperaturas médias no mês mais quente abaixo de 22° C, sem estação seca (Figura 3.06). Na região de Guarapuava têm-se precipitações médias compreendidas entre 1800 e 2000 mm (CAVIGLIONE, et al., 2000).

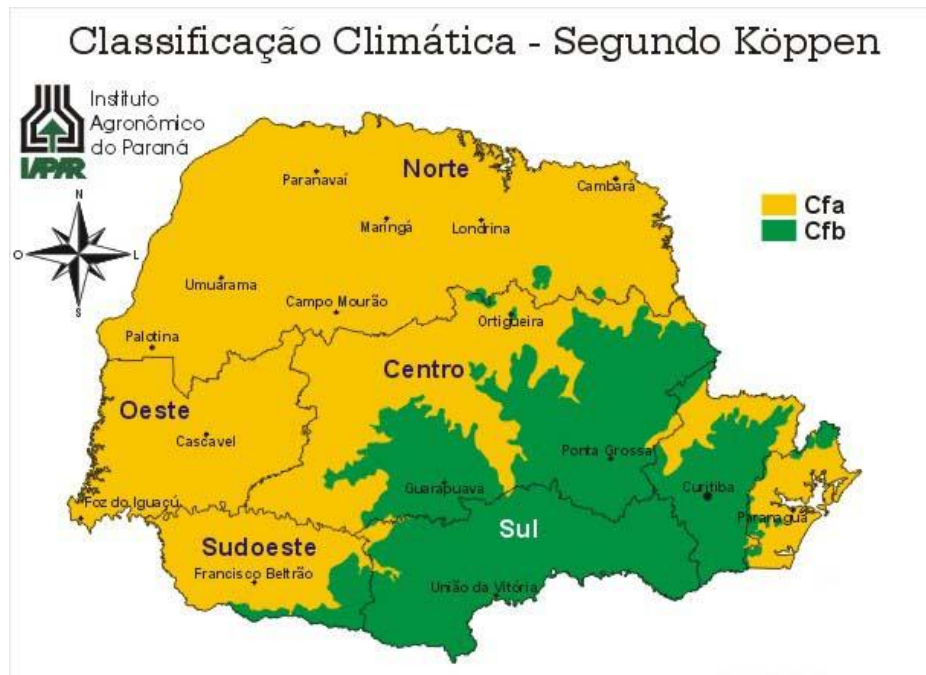


Figura 3.06 - Divisão do clima no Estado do Paraná
Fonte: Caviglione (2000)

Com relação à sazonalidade, as chuvas predominam nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com precipitações entre 500 e 600 mm. Já as médias térmicas anuais estão entre 16°C e 17°C, variando de 11°C a 12°C no inverno e de 22°C e 23°C no verão. A umidade relativa média anual esta fica entre 75 e 80% e a evaporação entre 900 e 1000 mm (CAVIGLIONE, et. al. 2000).

Na classificação de Köppen o tipo climático “Cfb” corresponde a clima temperado, chuvoso e verões moderadamente quentes (AYOADE, 1998).

Estudo local sobre o clima, realizado por Thomaz e Vestena (2003) com base na análise da série histórica de 1976 a 2000 dos dados meteorológicos da Estação Agrometeorológica de Guarapuava-PR, monitorada pelo IAPAR, definiram o clima de Guarapuava como:

[...] subtropical mesotérmico – úmido, sem estação seca, com verões frescos e inverno moderado. A pluviosidade mostra-se bem distribuída ao longo do ano, com precipitações médias mensais acima de 100 mm; a média anual fica em torno de 1961 mm, apresentando variações extremas consideráveis, destaca-se o ano de 1985 (mínima) e 1983 (máxima), com 1262 mm e os menos chuvosos são agosto e julho. A temperatura média anual varia de 16 a 17,5°C, com média anual de 17°C; os meses mais frios são junho e julho, enquanto janeiro e fevereiro são os mais quentes (THOMAZ e VESTENA, 2003 p. 29).

Na Figura 3.07 tem-se a temperatura e a pluviosidade média mensal de Guarapuava,

do período de 1976 a 2009, com base nos dados da Estação Agrometeorológica de Guarapuava-PR. No período a temperatura média anual de Guarapuava foi de 17,1°C e a pluviosidade média anual de 1923 mm.

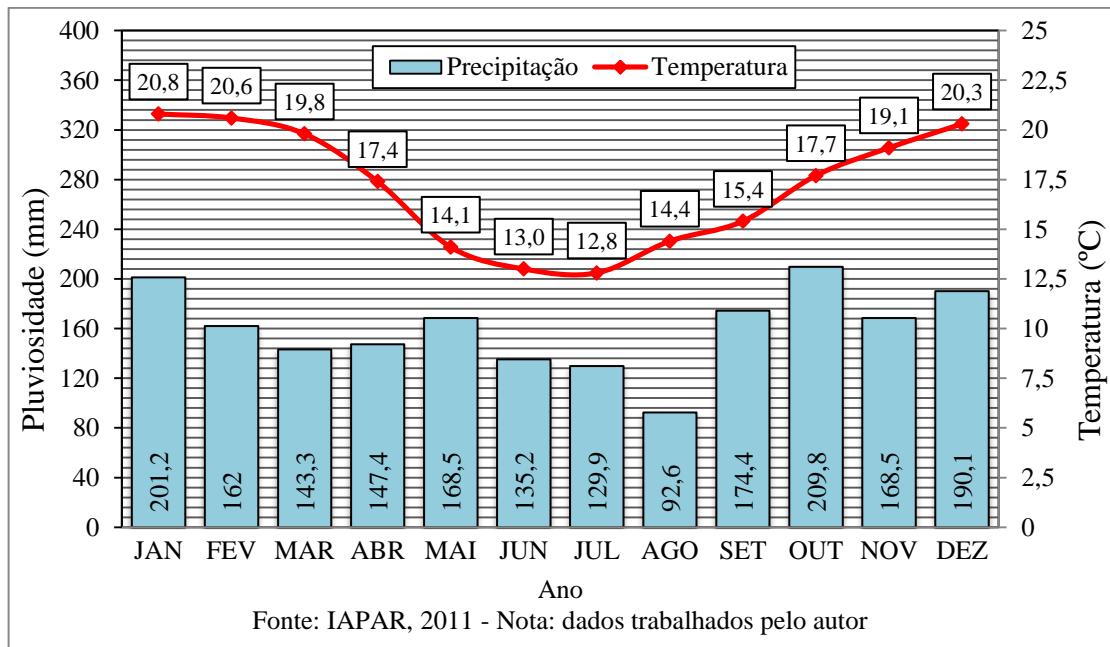


Figura 3.07 - Climatograma de Guarapuava (1976 – 2009)

3.5. Aspectos florísticos e o uso da terra

Os aspectos da vegetação na BHRC estão intimamente ligados as transformações que ocorreram no período Quaternário e mais recentemente pelas ações antrópicas, sendo que o revestimento vegetal na área, nem sempre foi como se apresenta atualmente. Durante o período Quaternário ocorreram várias oscilações climáticas que favoreceram profundas alterações nas formações florísticas da região sul do Brasil. Bigarella et. al. (1994) mencionam que anterior ao último episódio glacial pleistocênico, os paleoambientes do sul do Brasil eram bem similares aos atuais. Com a diminuição da temperatura e o consequente avanço da glaciação, o caráter tropical dos climas regionais desintegrou-se revertendo em mudanças das suas condições físicas. Os níveis marinhos abaixaram até cem metros menos do que seu nível médio atual. Já as temperaturas médias globais diminuíram de 3 a 4 °C amortecendo o nível de calor das terras baixas intertropicais tornando bem mais frio o ambiente das regiões subtropicais e temperadas.

Essas mudanças climáticas favoreceram a regressões das florestas e a diminuição da pluviosidade na região sul do Brasil. Também houve o incremento das formações vegetais abertas intertropicais e subtropicais, em virtude da expansão compartimentada dos climas

secos sazonais, influenciadas pela progressão das correntes frias em baixas latitudes (BIGARELLA et al., 1994).

Maack (1981) aponta que durante os episódios de semi-aridez, as florestas ficaram restritas a refúgios onde as condições ambientais permitiam seu desenvolvimento. Mas o que predominava eram os campos limpos e cerrados que revestiam grande parte do Estado do Paraná com uma vegetação *clímax* de um clima alternante semiárido e semiúmido. Resquícios desse clima pretérito são visíveis atualmente como as manchas de cerrado e campos abertos existentes no território paranaense. Com o aumento médio da temperatura e da umidade na região durante o Quaternário recente, as precipitações tornaram-se mais abundante no sul do Brasil, propiciando o domínio das matas no Estado do Paraná tornando essa região uma das mais ricas em matas do Brasil até poucos decênios. Essa configuração florística, segundo Maack (1981) desenvolveu somente a partir do Pleistoceno.

O autor caracterizou a região florística de Guarapuava, como uma paisagem composta pela associação de campos limpos (Estepe-gramínea-lenhosa); capões e matas de galeria com florestas de araucárias (Floresta Ombrófila Mista) estreitamente ligadas à altitude. Ab`Saber (2003) estabeleceu uma caracterização mais ampla sobre a vegetação da região, ao dividir o Brasil em Domínios Morfoclimáticos, incluindo os campos e as matas de araucária sob domínio dos planaltos subtropicais com araucárias. Para Bigarella et. al (1994), a região de domínio dos planaltos de araucária compreende uma área com cerca de 400.000 km², distinguido por um clima subtropical úmido, com inverno relativamente brando sujeito a geadas e eventuais nevadas. Os planaltos das araucárias possuem altitudes variadas superiores a 500m, normalmente entre 700 e 1200m. Portanto, a região de Guarapuava tem seus aspectos florísticos caracterizados principalmente por vegetações das matas com araucária, e três ambientes de campos distintos que são: campos abertos; campos encharcados e os capões.

A vegetação atual da região de Guarapuava, não está relacionada somente com as oscilações paleoclimáticas, mas também com as ações antrópicas a partir principalmente da segunda metade do século XX. A partir desse período, as matas foram derrubadas de maneira intensa em função de interesses econômicos contribuindo para uma significativa retração dos esparsos trechos de florestas da região. Os famosos campos de Guarapuava deram lugar às monoculturas de soja e milho. Silva e Saldan (2006) apontam que no início do século XX, o Estado do Paraná, tinha cerca de 83,4% do seu território coberto por florestas, e atualmente só pouco mais de 5% perduram como remanescentes.

A BHRC apresenta uma vegetação em estágio avançado de alteração, sendo poucos

os resquícios da mata nativa. Na área restam apenas pequenas manchas dispersas de mata secundária no baixo e alto curso da bacia, além de pequenas concentrações de mata ciliar ao longo dos Rios Cascavel e Xarquinho. A maior parte da bacia é ocupada pela área urbana de Guarapuava, por culturas temporárias, pastagens e áreas de reflorestamento, lagos e áreas de várzeas. A figura 3.08 apresenta os tipos de uso da terra que predominam na BHRC.

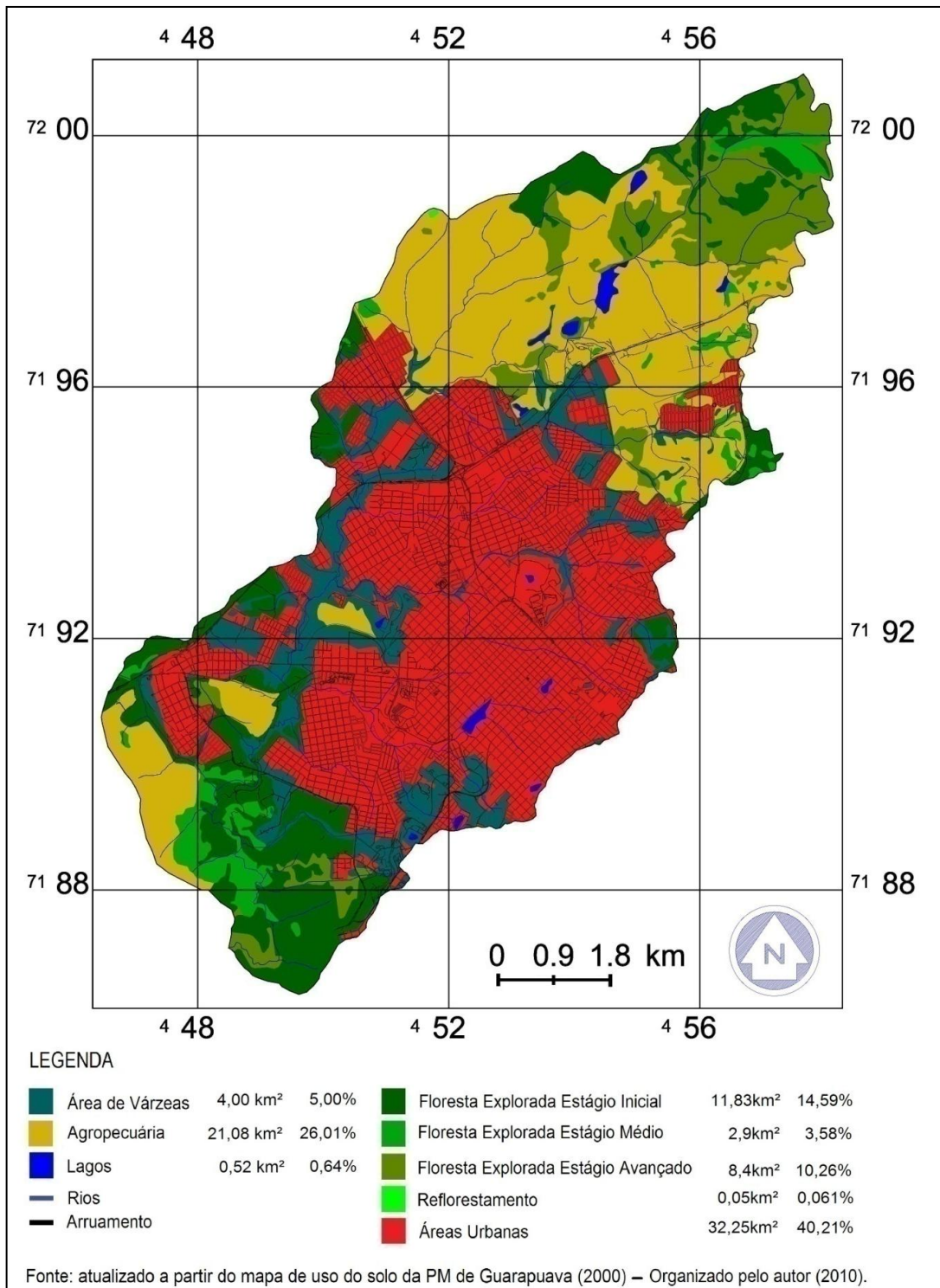


Figura 3.08 – Mapa de uso da terra da BHRC

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os impactos da urbanização podem influenciar decisivamente na geometria hidráulica das seções transversais; na sedimentologia dos depósitos fluviais e no regime fluvial, ou seja, podem alterar toda a dinâmica hidrológica, geomorfológica e sedimentológica. Dessa forma, procurou-se aplicar no presente trabalho, métodos e técnicas que fossem eficazes para analisar os impactos da urbanização de Guarapuava nos canais fluviais da BHRC. Para a análise dos impactos urbanos foram definidas quatro sub-bacias da BHRC, para monitoramento e mensurações de campo. A escolha das sub-bacias deu-se principalmente em função das características morfológicas e morfométricas semelhantes e da dinâmica diferenciada no processo de urbanização de cada uma delas. Desta maneira, foram selecionadas as sub-bacias urbanas dos Arroios: Barro Preto, Carro Quebrado e do Engenho e a sub-bacia rural Arroio Monjolo (área de controle) (Figura 4.01).

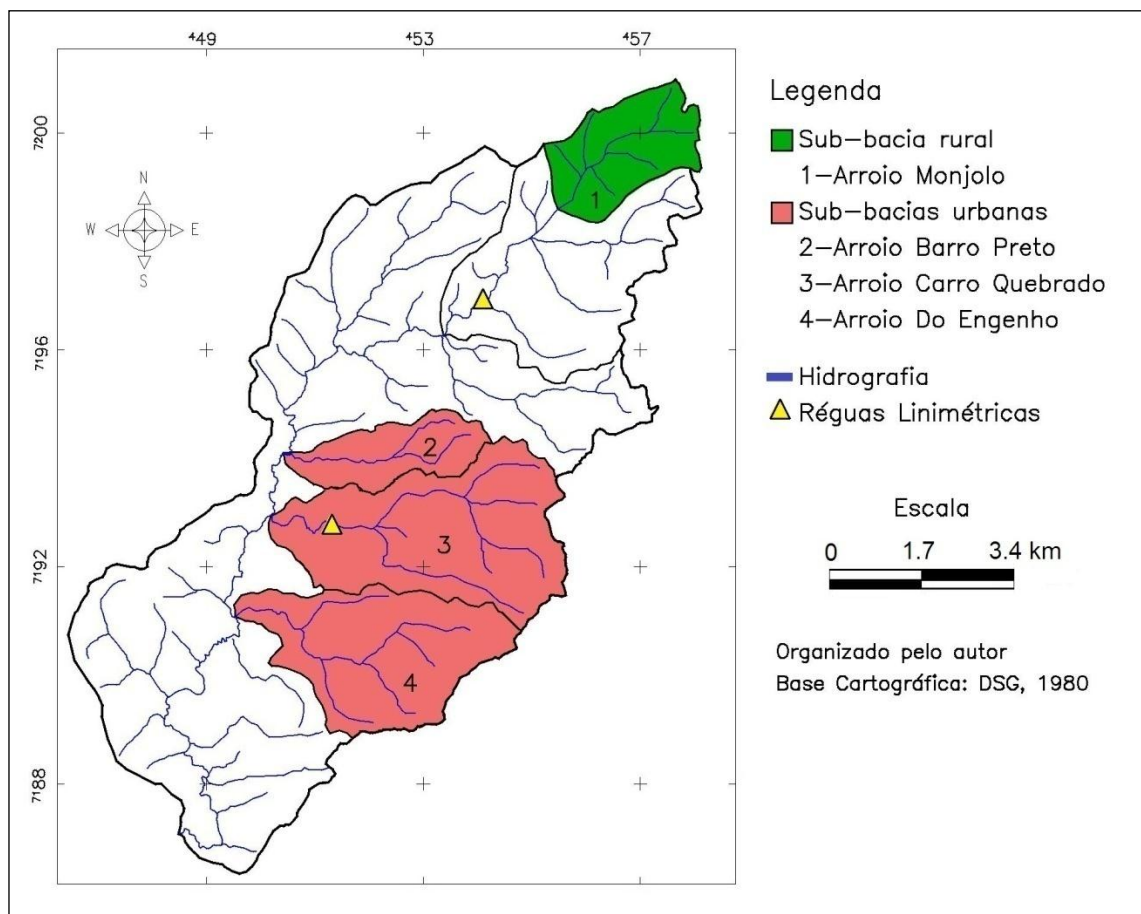


Figura 4.01 - Localização das sub-bacias na BHRC

4.1. Base cartográfica

Os dados cartográficos básicos utilizados foram:

a) Cartas topográficas analógicas: Guarapuava (Folha SG.22-V-D-III-3 MI-2838/3) e Guarapuava - 0 (Folha SG.22-V-D-II-4 MI-2837/4); escala: 1:50.000 (equidistância das curvas de nível: 20 metros); Projeção Transversal de Mercator (UTM); Meridiano Central: 51° W. GR; Datum Planimétrico: SAD 69 – Minas Gerais; Datum Altimétrico: Imbituba/SC; Cobertura aérea: Aerosul (DSG, 1980).

b) Mapas analógicos antigos (sem data) elaborados pelo CNDU (Conselho Nacional de Desenvolvimento Urbano); FAMEPAR (Fundação de Assistência aos Municípios do Paraná) e SUDESUL (Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul) compreendendo os seguintes anos: 1910, 1920, 1930, 1967, 1979 e 1986.

c) Dados vetoriais da área urbana (hidrografia, curvas de nível com equidistância de 5 metros e sistema viário), disponíveis em meio digital no *Format Drawing Web* (DWG) do Levantamento Aerofotogramétrico Cadastral de 1996 – Escala 1:2.000, Vão 1:8.000 de outubro de 1995, contratado pelo município de Guarapuava, por meio de Convênio com a SEDU/PARANACIDADE e executado por consórcio pelas Empresas de Aerofotogrametria Engefoto e Aeroimagem. O material foi atualizado pelo CEPLUG (Centro de Planejamento Urbano de Guarapuava) com dados disponíveis para os anos de 2002 e 2010.

Os dados cartográficos foram integrados em um banco de dados geográficos, ou seja, em um SIG (Sistema de Informação Geográfica), utilizando-se do *software* SPRING - INPE© Versão 5.1.6 – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (*Copyright*), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens – DPI do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O uso dos SIG deu-se por permitir a entrada, o armazenamento, o tratamento, o processamento, a integração, a recuperação, a transformação, a manipulação, a modelagem, a atualização, a análise e a exibição de informações geográficas, topologicamente estruturadas, associados a um banco de dados alfanumérico (CÂMARA et al., 1996).

4.2. Restituição da drenagem urbana e levantamento das seções canalizadas

Com base nos mapas antigos, os atuais e também algumas informações contidas nos trabalhos realizados por Silva (1995) e Schimidt (2009), que avaliaram a expansão físico-territorial urbana de Guarapuava, foi realizado a restituição da rede de drenagem e a expansão espacial ao longo do período das seções transversais. A expansão urbana da cidade em cada um dos períodos mapeados, mais especificadamente o arruamento urbano foi sobrepostos a hidrografia e identificado o número de seções fluviais interceptadas pelo arruamento, para

avaliação do impacto da urbanização nos cursos fluviais. A rede hidrográfica utilizada foi a contida nas cartas topográficas de 1980 do DSG, sendo a mesma comparada com os arruamentos 1910, 1967, 1986 e 2010.

Grande parte da rede de drenagem urbana se encontra atualmente em sub-superfície, sendo esse levantamento fundamental para analisar os impactos que as áreas urbanas provocam nos sistemas fluviais.

4.3 Análise em planta da canalização dos cursos fluviais

Um dos objetivos do estudo foi o mapeamento dos tipos de canalização nos Arroio urbanos de Guarapuava. Esse foi realizado por meio de trabalhos de campo, com o caminhamento ao longo do perfil longitudinal nos trechos fluviais, auxiliados pelos seguintes equipamentos: pranchetas para anotação, câmera fotográfica, e GPS (Sistema de Posicionamento Global), modelo GPSmap76CSx. No mapeamento foi definida três classes de canalização, de acordo com os tipos de intervenções urbanas nos arroios, sendo considerados os seguintes critérios para definir as classes:

- Não canalizados: se referem aos trechos fluviais que escorrem abertamente pela área urbana, sem intervenções de obras de engenharia ao longo da seção transversal (Figura 4.02).



Figura 4.02 – Trecho do baixo curso do Arroio Carro Quebrado

Foto do autor (mar/2011)

- Canalizados - mistos: se referem aos cursos fluviais que apresentam trechos com as margens ou o leito impermeabilizados por obras de canalização. Esses canais podem apresentar trechos com as duas margens edificadas, trechos com apenas uma margens ou apenas o leito (Figura 4.03).



Figura 4.03 – Trecho do médio curso do Arroio Carro Quebrado

Foto do autor (mar/2011)

- Canalizados - fechados: são os canais e que se encontram completamente fechados por estruturas de engenharia (Figura 4.04).



Figura 4.04 – Trecho do alto curso do Arroio Carro Quebrado

Foto do autor (mar/2011)

Além dessas características, também foram identificadas outros tipos de impactos como: o mapeamento de tributários de 1ª ordem que são inexistentes nos mapas disponíveis; áreas de preservação permanente ocupadas por núcleos urbanos e trechos de canais fluviais com significativos depósitos de materiais tecnogênicos.

4.4 Coleta e identificação das características de sedimentos de leito

Os sedimentos de leito das sub-bacias urbanas foram coletados, com o auxílio de amostrador tipo pistão manual de penetração vertical, construído em PVC, para uso em cursos d'água rasos (Figura 4.05). O número de coletas realizadas foi de 13 na sub-bacia Arroio Barro Preto, 10 na sub-bacia Arroio Carro Quebrado e 09 na sub-bacia Arroio do Engenho, essas foram realizadas de forma distribuída ao longo da rede de drenagem.



Figura 4.05 – Coleta de sedimentos de leito

Foto do autor (nov/2010)

As coordenadas XY dos pontos amostrados foram anotadas, com auxílio do GPS. Em laboratório, as amostras de material de leito foram despejadas em bandejas e levadas à estufa por dois dias a uma temperatura entre 60°C e 70°C. Após secas, as amostras foram destorroadas em recipientes de porcelana com o auxílio de um pistilo de porcelana com extremidade revestida por borracha. A seguir foram pesadas peneiradas por 5 minutos empregando a técnica de peneiramento a seco, utilizada para sedimentos grosseiros.

Os sedimentos de leito foram separados de acordo com sua origem em materiais tecnogênicos e naturais, sendo que os que apresentaram características de origem nos processos intempéricos do leito fluvial e/ou das encostas foram considerados sedimentos naturais. Já os sedimentos tecnogênicos foram definidos como todos os materiais coletados no leito com origem antrópica.

A identificação dos sedimentos naturais e tecnogênicos deu-se apenas nos sedimentos com tamanho granulométrico igual e superior a 4 mm, haja vista a dificuldade de separação nas unidades granulométricas inferior a 4 mm. Cabe salientar, que devido à dificuldade encontrada na separação dos materiais, como a diferenciação dos sedimentos de basalto (naturais) e de “pedra brita” proveniente das obras civis (tecnogênicos), haja vista a semelhança desses materiais, os mesmos foram considerados como todos de origem natural, para evitar a subjetividade na sua separação.

4.5 Levantamento das propriedades geométricas nas seções transversais

A mensuração das propriedades geométricas dos canais fluviais foi realizada por meio de trabalhos de campos (caminhamentos ao longo dos perfis fluviais longitudinais). A escolha das seções a serem amostrados foi definida considerando algumas condições como a

acessibilidade do ponto a ser mensurada, a presença de características morfológicas, onde as seções transversais apresentam uma planície bem evidente e certa representatividade do trecho do curso fluvial. Os materiais utilizados para o levantamento em campo foram: uma trena (20m), uma régua de madeira graduada (2m), dois pilares de madeira amarrados por uma corda de nylon com marcas identificas a cada 20 cm, um nível de mangueira e um GPS.

Os levantamentos das seções transversais foram obtidos por meio da fixação de duas estacas no solo, uma em cada margem, interligadas por uma corda de nylon esticada e graduadas a cada 20 cm (mensuração da largura do canal) (Figura 4.06). A declividade foi definida por meio de um nível de mangueira mensurado numa distância de 10 vezes a largura de cada seção.



Figura 4.06 – Levantamento das variáveis da seção transversal

Fotos do autor (setembro de 2010)

As variáveis levantadas em campo nas seções mensuradas foram: a largura do canal (W_{mp} em metros), a profundidade média (D_{mp} em metros), a área da seção transversal (A_{mp} em metros quadrados), o raio hidráulico, o comprimento do perímetro do canal (P_{mp} em metros) e a declividade da linha d'água (m/m).

A descarga de margens plenas (Q_{mp}) para cada seção transversal foi estimada indiretamente por meio da fórmula de *Manning*. Fernandez (2003, 2004) destaca que uma vez identificado o nível de margens plenas, a vazão correspondente pode ser estimada por meio da equação:

$$Q_{mp} = \frac{1}{n} \cdot A_{mp} \cdot R_{hmp}^{0,66} \cdot S^{0,5} \quad (8)$$

Onde: **Amp** e **Rhmp** correspondem à área da seção transversal (m^2) e o raio hidráulico (m) respectivamente, ambos em nível de margens plenas. **S** é a declividade da linha

d'água (m/m) e n o coeficiente de rugosidade. Para obter o coeficiente de rugosidade (n) da fórmula de Manning, foi utilizado o método de Cowan, que estima o n por meio de alterações nas características da seção e da bacia, expresso por:

$$N = ((n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)/n_5) \quad (9)$$

A tabela 4.01 apresenta os valores estabelecidos para cada uma das variáveis.

Tabela 4.01 - Valores para calcular o coeficiente de rugosidade pelo método Cowan

Condições do canal		Valores
n_0 Material envolvido	Solo	0,020
	Rocha	0,025
	Grânulo e seixo	0,024
	Calhau e matacão	0,028
n_1 Grau de irregularidade	Liso	0,000
	Pequeno	0,005
	Moderado	0,010
	Severo	0,020
n_2 Variações da seção transversal	Gradual	0,000
	Alternâncias ocasionais	0,005
	Alternâncias frequentes	0,010-0,015
n_3 Efeito de obstruções	Desprezível	0,000
	Pequeno	0,010-0,015
	Apreciável	0,020-0,030
	Severo	0,040-0,060
n_4 Vegetação	Baixa	0,005-0,010
	Média	0,010-0,025
	Alta	0,025-0,050
	Muito alta	0,050-0,100
n_5 Sinuosidade	Pequeno	1,000
	Apreciável	1,150
	Severo	1,300

Fonte: Fernandez (2003)

Os coeficientes de rugosidade são definidos como:

n_0 é o valor básico para um canal uniforme, retilíneo e com superfícies planas, de acordo com o material associado à superfície de contato.

n_1 corresponde às irregularidades, tais como assoreamentos, erosões, saliências e depressões na superfície, etc.

n_2 corresponde à frequência de ocorrência de variações de forma, conforme as possibilidades de causar perturbações no fluxo.

n_3 corresponde à presença de obstruções, como troncos, matacões, etc.;

n_4 é baseado na influência da vegetação no escoamento, segundo o tipo, altura e densidade da vegetação.

n_5 é baseado no grau de meandrização do curso d'água.

As propriedades geométricas das seções transversais monitoradas nas sub-bacias (Arroio Barro Preto; Arroio Carro Quebrado; Arroio do Engenho e Arroio Monjolo), foram tabuladas e analisadas utilizando-se da planilha eletrônica (*Calc.*), do software BrOffice, além do BioEstat (software de estatística).

Os dados referentes à Wmp; Dmp; Amp e Qmp (variáveis independentes) foram plotados em gráficos de dispersão e relacionados com a área de drenagem (variável dependente) correspondente a cada seção transversal. Os dados foram analisados utilizando-se de técnicas estatísticas de estudos de regressão e correlação linear.

A análise dos gráficos teve como base o coeficientes de determinação (r^2) que indica a força de associação entre quaisquer duas variáveis métricas, que pode variar entre 0 e 1. Um coeficiente próximo a 1 significa um considerável ajuste nas propriedades avaliadas, ao passo que quanto maior o afastamento da unidade maior é o desajuste. Assim o coeficiente de determinação mede o grau de associação entre as propriedades geométricas dos canais fluviais.

A presente pesquisa apresenta uma estrutura metodológica, que procurou estruturar-se numa análise comparativa. Dessa maneira, a fim de avaliar as propriedades geométricas da seção transversal das sub-bacias urbana, foi determinado um modelo empírico que descreve a relação entre a área da seção em nível de margens plenas e a área de drenagem a partir dos dados da sub-bacia rural (área de controle).

4.6 Dados de chuva e vazão

A precipitação é medida como a altura de água em milímetros ou lâmina que seria acumulada em uma superfície plana se nenhuma perda ocorresse (PAIVA e PAIVA, 2001). A fim de quantificar a precipitação das bacias no período de estudo, foram considerados os dados pluviométricos mensurados pela Estação Agrometeorológica de Guarapuava, código 02551010, monitorada pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

A descarga líquida dos rios refere-se à quantidade de água que passa por determinada

um molinete hidrométrico, modelo “FP 101-FP 201 *Global Flow Probe*” produzido pela “*Global Water*”. A medição com molinete é universalmente utilizada para determinar a vazão em rios pequenos e consiste em definir a área da seção transversal e a velocidade média do fluxo que passa por essa seção (Santos et. al. 2001) (Figura 4.08).



Figura 4.08 – Medição de Vazão no Arroio Monjolo
Foto do autor (setembro de 2010)

Por meio da relação entre o nível da água e a vazão monitorada é possível definir uma correlação para os variados níveis d’água. Essa correlação é chamada de Curva-Chave, sendo que a mesma deve ser calibrada, isto significa determinar o traçado que melhor se ajusta aos pares de pontos cota-vazão.

Assim a curva-chave de cada um dos postos fluviométricos (Carro Quebrado e Arroio Monjolo) foi definida a partir de medidas pontuais em diferentes condições do regime fluvial, ou seja, em períodos de vazante e cheia.

No entanto, cabe destacar que em campo surgem inúmeras dificuldades na operacionalização para a medição da vazão como: estabilidade da seção transversal onde são instaladas as réguas linimétricas; eventuais erros na medição da altura da régua e da vazão, entre outras intempéries que está sujeito o monitoramento de determinada seção transversal e a determinação da curva-chave. O processo de ajuste é complexo, sendo que a evolução do monitoramento no tempo pode ir minimizando os eventuais erros cometidos no campo ou na sua manipulação em gabinete.

5. DISCUSSÕES E RESULTADOS

5.1. Análise da geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal

A seguir são apresentados os resultados e as discussões da geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal. Eles se referem aos levantamentos de campo em seções transversais canalizadas e não canalizadas realizados entre agosto de 2010 e abril de 2011 na sub-bacia rural Arroio Monjolo e sub-bacias urbanas dos Arroios: Barro Preto, Carro Quebrado e do Engenho. Os estudos envolvendo a geometria hidráulica partem do princípio que um sistema fluvial sempre busca manter ajustado à dinâmica morfológica do canal por meio do equilíbrio das entradas e saídas no sistema.

5.1.1. Arroio Monjolo (área rural)

A sub-bacia do Arroio Monjolo tem uma área aproximada de 15,15 km², constituindo trecho do alto curso da BHRC. No entanto, para o presente trabalho foi considerado apenas o trecho superior da sub-bacia, em decorrência da impossibilidade de mensurações no trecho inferior onde há a presença de extensas áreas alagadas e represas, não sendo possível fazer as mensurações. Diante disso, a área total trabalhada foi de 4,47 km², tendo o canal principal cerca de 3,32 km de comprimento, uma declividade média de 21 m/km com amplitude topográfica de 72 m (Tabela 5.01).

Tabela 5.01 – Aspectos fisiográficos do setor de montante da sub-bacia do Arroio Monjolo

Característica	Valor	Unidade
Área total da bacia	4,47	km ²
Perímetro	9,38	km
Densidade de drenagem	1,73	km/km ²
Declividade do canal principal	0,021	m/m
Comprimento do canal principal	3,32	km
Amplitude do canal principal	72,00	m
Coefficiente de Compacidade	1,24	adimensional

Escala utilizada: 1:50.000

Nos trabalhos de campo foram mesuradas 10 seções transversais (sem canalização por ser área rural) na sub-bacia Arroio Monjolo. Na figura 5.01 é possível observar as seções amostradas, distribuída ao longo do canal principal, não sendo feitas em canais tributários em

decorrência da dificuldade de acesso aos afluentes.

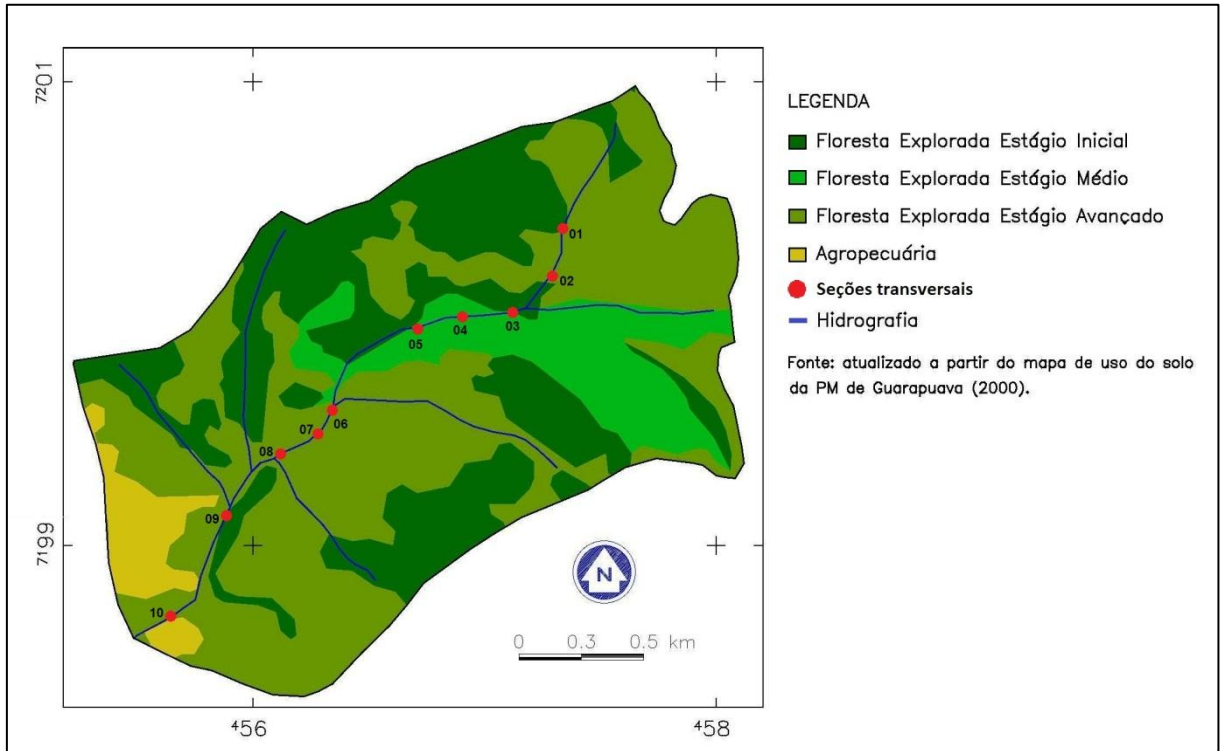


Figura 5.01 – Localização das seções mensuradas na sub-bacia do Arroio Monjolo

A sub-bacia do Arroio Monjolo tem o uso da terra predominado por florestas com variados estágios de exploração além de trechos de culturas temporárias, reflorestamento, e pastagens. As características dominantes nas seções transversais são a presença de margens bem definidas, vegetação ripária consolidada nos canais, leito rochoso intercalados pela presença de seixos e grânulos.

As propriedades geométricas das seções transversais de maneira geral apresentam alometrias ajustadas com a área de drenagem em cada seção. A capacidade do canal (Amp) variou entre $0,56\text{m}^2$ e $2,74\text{m}^2$, evidenciando um acréscimo proporcional nas seções mensuradas. A largura média dos canais apresentou valores entre 1,40m e 3,4m, com alargamento proporcional nas seções montante-jusante. Quanto à profundidade média dos cursos fluviais, esta apresentou valores entre 0,38m e 0,85m, demonstrando proporcionalidade no acréscimo das profundidades médias. Com relação à vazão estimada em nível de margens plenas a variação foi entre $0,35\text{m}^3/\text{s}$ e $2,74\text{m}^3/\text{s}$ demonstrando também um acréscimo nos seus valores mensurados de montante a jusante (Tabela 5.02).

Tabela 5.02 – Parâmetros geométricos das seções medidas no Arroio Monjolo (área rural)

Seção	Coordenada UTM (X/Y)	A (km ²)	Qmp (m ³ /s)	Amp (m ²)	Lmp (m)	Rmp (m)	Pmp (m)	Dmp (m)
01	457300-7200334	0,33	0,35	0,560	1,4	0,233	2,40	0,385
02	457260-7200141	0,40	0,62	0,778	1,4	0,354	2,20	0,480
03	457111-7199993	1,15	0,81	1,176	2,2	0,368	3,20	0,490
04	456898-7200002	1,41	1,35	1,826	2,6	0,457	4,00	0,652
05	456698-7199970	1,63	1,10	1,592	2,6	0,430	3,70	0,568
06	456366-7199621	2,57	1,27	1,878	3,4	0,447	4,20	0,520
07	456244-7199488	2,72	1,71	2,227	3,0	0,530	4,20	0,709
08	456106-7199416	2,79	2,39	2,542	3,2	0,652	3,90	0,747
09	455890-7199161	3,80	2,24	2,506	3,2	0,491	5,10	0,737
10	455595-7198718	4,29	2,74	2,742	3,0	0,583	4,70	0,856

Nota: Qmp: vazão estimada; Amp: área; Lmp: largura; Rmp: raio hidráulico; Pmp: perímetro; Dmp: profundidade – todos esses parâmetros são relativos ao nível de margens plenas da seção transversal do canal e A: área de drenagem.

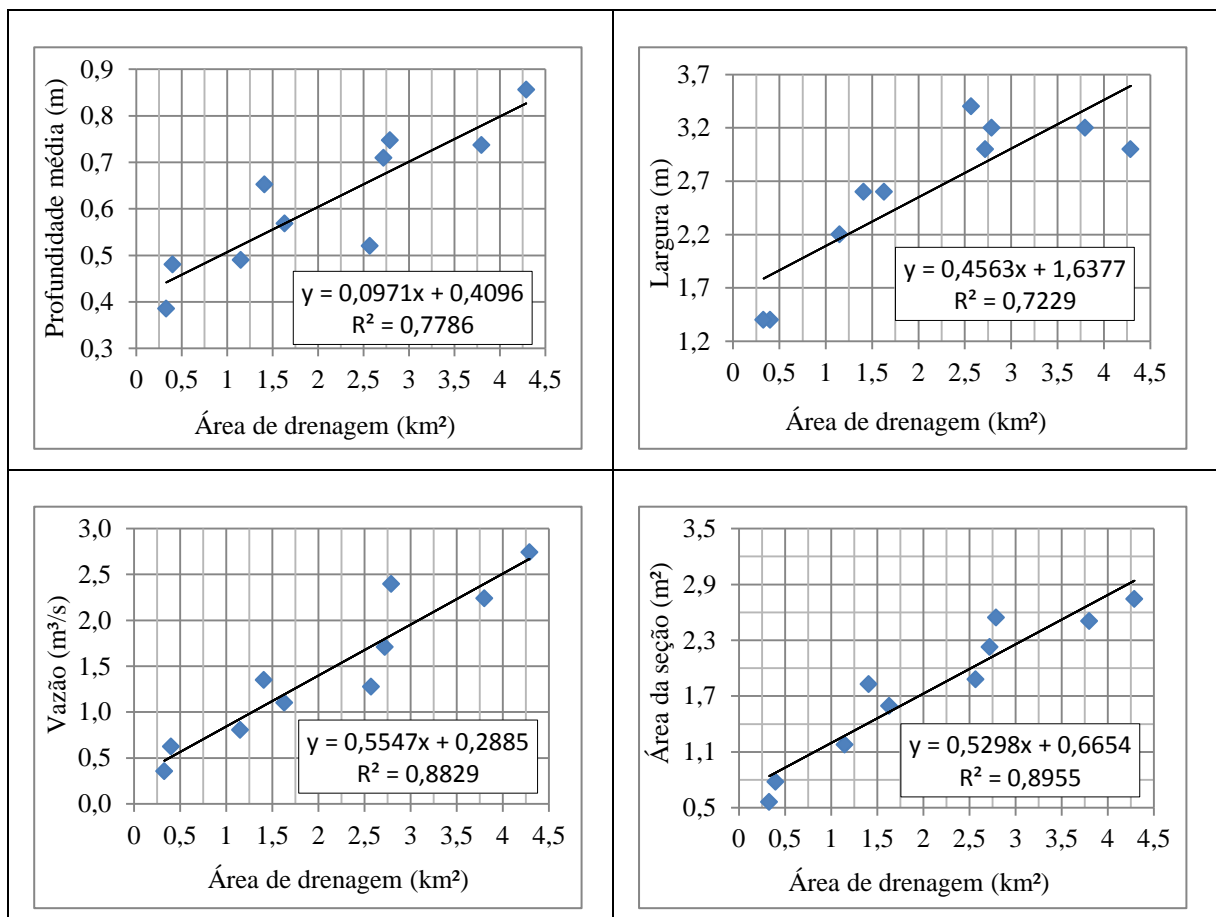


Figura 5.02 – Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial principal e a área de drenagem na sub-bacia do Arroio Monjolo (área rural)

A figura 5.02 apresenta os gráficos de dispersão relacionando Lmp, Dmp, Amp e Vmp com a área de drenagem referente a cada seção mensurada.

O coeficiente de determinação da relação entre a área da seção transversal e a área de drenagem apresentou valor de $r^2 = 0,895$ demonstrando considerável ajuste alométrico. Num canal fluvial em equilíbrio, as propriedades devem estar ajustadas, ou seja, as áreas das seções transversais devem aumentar gradativamente de montante para jusante e, como mostra os resultados (Figura 5.02), as capacidades das seções transversais apresentaram pouca variação da linha de tendência.

A relação entre a profundidade média dos canais e a área de drenagem apresentou coeficiente de determinação de $r^2 = 0,778$, demonstrando um bom ajuste na relação geométrica. Entretanto, cabe ressaltar que foram identificados em campo vários pontos com leitos assoreados e margens alteradas por pisoteio bovino (Figura 5.03).



Figura 5.03 – Trecho fluvial com acúmulo de sedimentos no leito do Arroio Monjolo
Foto do autor (abril de 2011)

O parâmetro geométrico da largura das seções mensuradas quando relacionado com a área de drenagem apresentou coeficiente de determinação $r^2 = 0,722$, demonstrando que as seções amostradas apresentam fortes correlações nos ajustes alométricos. Por fim, cabe destacar a correlação da vazão estimada em nível de margens plenas com a área de drenagem, que a exemplo dos outros parâmetros também apresentou alta correlação com coeficiente de determinação $r^2 = 0,833$, demonstrando ajuste ao longo das seções (Figura 5.02).

Os coeficientes determinados acima apontam significativas alometria nas seções mensuradas na sub-bacia do Arroio Monjolo. Eles demonstraram no geral, que as propriedades geométricas, avaliadas pelo método da geometria hidráulica, apresentam bom índices de

correlação de montante a jusante, com pequenas variações na linha de tendência. Neste contexto, pode-se afirmar que a geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal do Arroio Monjolo está ajustada e apresenta certo equilíbrio. Fato esse que comprova a afirmação de Leopold e Maddock (1953), de que rios naturais apresentam relações alométricas ajustadas. No Arroio Monjolo as variações na linha de tendência são pequenas e podem estar associadas às atividades agrícolas, mais especificadamente a processos erosivos intensificados, que ocasionaram o transporte e a deposição de sedimentos nos cursos fluviais. Essa variação também está relacionada com a própria variabilidade do sistema natural. Contudo, apesar de impactar a morfometria do canal fluvial do Arroio Monjolo, o impacto é decorrente de atividades realizadas nas vertentes, e não diretamente no leito fluvial.

Os coeficientes de correlação obtidos na sub-bacia foram similares aos encontrados por Lima (2009) que obteve um r^2 da relação vazão versus área de drenagem numa bacia predominantemente rural adjacente a BHRC variando de $r^2 = 0,72$ a $0,98$. Fernandez (2009) trabalhando com grandes bacias hidrográficas rurais do oeste do Estado do Paraná determinou os seguintes coeficientes de determinação: Amp ($r^2 = 0,83$); Qmp ($r^2 = 0,94$); Lmp ($r^2 = 0,89$) e Dmp ($r^2 = 0,49$). Harman et al., (2007) estabeleceram as equações regionais da geometria hidráulica para cursos d'água na área rural na Carolina do Norte–EUA. As equações mostraram uma forte relação entre o nível de margens plenas dos cursos d'água juntamente como as variáveis: profundidade, largura, vazão dominante e a área de drenagem dos cursos d'água.

Dessa maneira, a sub-bacia do Arroio Monjolo, com características fisiográficas da região de Guarapuava, demonstrou que os rios em áreas rurais da região, apresentam propriedades geométricas alométricas ao longo do perfil longitudinal, com pouca alteração do seu sistema fluvial.

A seguir serão analisadas as mensurações realizadas em três sub-bacias urbanas a fim de poder comparar as diferenças nas características geométricas em área com uso da terra rural e urbana.

5.1.2. Arroio Barro Preto (área urbana)

5.1.2.1. Seções transversais abertas

A sub-bacia do Arroio Barro Preto tem uma área aproximada de 3,35 km², sendo afluente da margem esquerda do Rio Cascavel. O canal principal tem cerca de 3,65 km de comprimento com uma declividade média de 18,00 m/km e uma amplitude topográfica de 66 m (Tabela 5.03).

Tabela 5.03 – Aspectos fisiográficos da sub-bacia do Arroio Barro Preto

Característica	Valor	Unidade
Área total da bacia	3,35	km ²
Perímetro	9,40	km
Densidade de drenagem	1,54	km/km ²
Declividade do canal principal	0,018	m/m
Comprimento do canal principal	3,35	km
Amplitude do canal principal	66,00	m
Coefficiente de Compacidade	1,44	adimensional

Escala utilizada: 1:50.000

Nos trabalhos de campo foram medidas 13 seções na sub-bacia Arroio Barro Preto, como mostra a figura 5.04. Estas foram medidas de forma distribuída ao longo da bacia, sendo 10 seções no canal principal e 3 em um canal tributário.

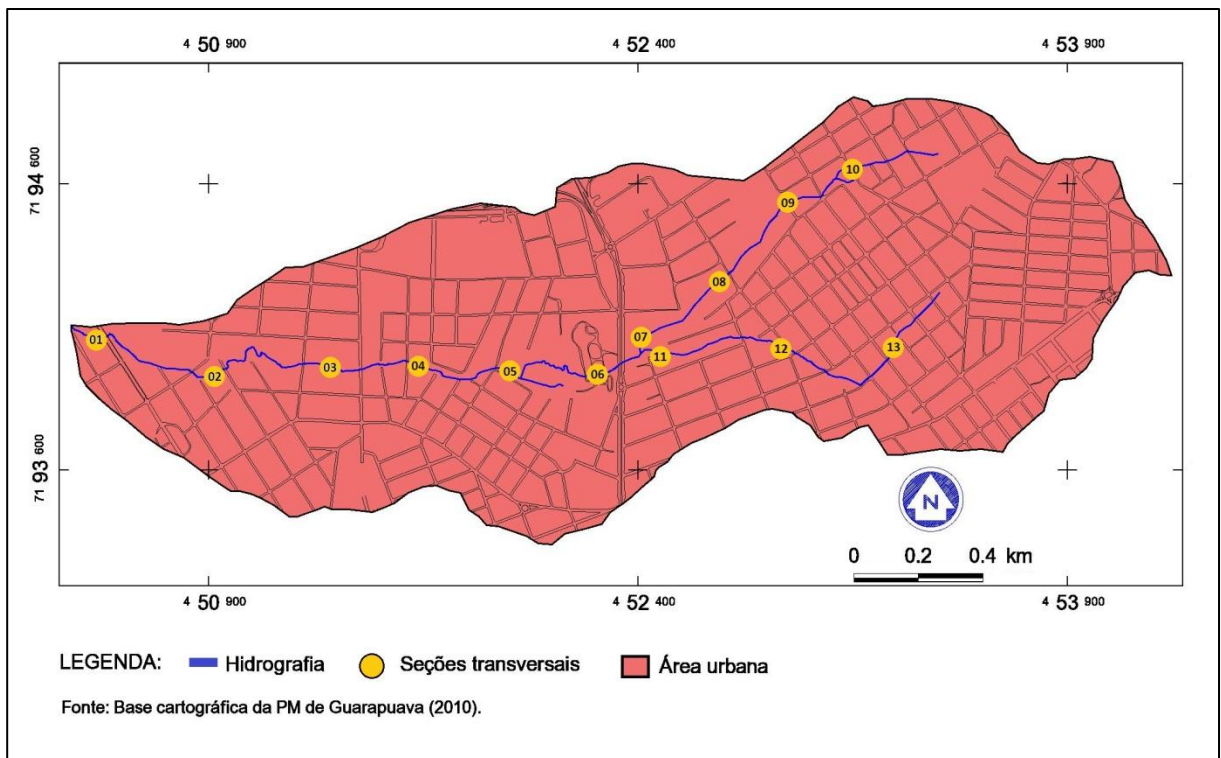


Figura 5.04 - Localização das seções mensuradas na sub-bacia do Arroio Barro Preto

A sub-bacia tem o uso do solo predominantemente urbano, apresentando matas ciliares degradadas, sendo encontradas paredes laterais de residências servindo como margens do canal. O canal fluvial apresenta vários trechos canalizados, sobrepostos por arruamentos e construções, favorecendo significativas alterações nas feições morfológicas fluviais, em decorrência das obras setoriais realizadas pelos órgãos públicos e moradores.

Na direção de jusante, as seções transversais demonstraram não manter um aumento proporcional nas variáveis mensuradas. Os valores obtidos da área da seção transversal (capacidade do canal) encontram-se entre 2,12 m² e 11,28 m² (Tabela 5.04), mostrando um decréscimo significativo na seção 04 e acréscimo nas seções 11 e 02.

Tabela 5.04 – Parâmetros geométricos das seções medidas no Arroio Barro Preto

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	A (km ²)	Qmp (m ³ /s)	Amp (m ²)	Lmp (m)	Rhmp (m)	Pmp (m)	Dmp (m)
01	450422-7194092	3,35	6,641	8,020	7,20	0,844	9,50	1,110
02	450855-7193934	3,10	14,953	11,282	8,00	1,128	10,00	1,410
03	451268-7193977	2,79	16,764	7,330	6,20	0,854	8,58	1,180
04	451610-7193974	2,28	7,783	4,538	5,00	0,709	6,40	0,910
05	451960-7193932	2,01	9,143	7,534	6,80	0,866	8,70	1,110
06	452251-7193934	1,71	5,669	6,300	5,60	0,788	8,00	1,125
07	452411-7194040	0,72	0,788	2,100	2,60	0,512	4,10	0,808
08	452711-7194283	0,56	2,797	2,670	3,60	0,485	5,50	0,739
09	452927-7194522	0,37	7,176	4,900	5,40	0,671	7,30	0,907
10	453137-7194658	0,30	3,089	2,120	3,60	0,551	3,85	0,588
11	452432-7194019	0,93	3,488	7,650	7,40	0,757	10,10	1,030
12	452913-7194021	0,74	13,131	6,450	5,80	0,977	6,60	1,120
13	453262-7193995	0,43	4,013	2,390	4,00	0,531	4,50	0,596

Nota: Qmp: vazão estimada; Amp: área; Lmp: largura; Rmp: raio hidráulico; Pmp: perímetro; Dmp: profundidade – todos esses parâmetros são relativos ao nível de margens plenas da seção transversal do canal e A: área de drenagem.

A seção transversal 04 apresenta edificações bem próximas das margens (Figura 5.05) representando um local crítico para o transbordamento das águas potencializando o alagamento de residências. Essa realidade foi observada ao longo de alguns trechos fluviais da sub-bacia, sendo que em conversa com os moradores houve vários comentários a respeito dos alagamentos que ocorrem com frequência nas áreas planas próximas aos canais.



Figura 5.05 – Trecho da seção transversal 04
Foto do autor (março de 2011)

A largura média dos canais apresentou valores entre 2,6 m² e 8,0 m² (Tabela 5.04), com alargamentos desproporcionais nas seções 07 e 11.

A profundidade média dos cursos fluviais variou entre 0,59 m e 1,41 m (Tabela 5.04). Esse parâmetro foi o que demonstrou as melhores proporcionalidades nas suas configurações alométricas, tendo relação com a área de drenagem um coeficiente de determinação pouco ajustado ($r^2 = 0,563$) (Figura 5.06).

Os dados referentes à vazão estimada em nível de margens plenas variaram entre 2,10 m³/s e 11,28 m³/s (Tabela 5.04). Assim como as propriedades geométricas médias da largura, profundidade e área da seção apresentaram inconformidades nos valores no sentido de montante para jusante nas seções mensuradas, com significativos desvios dos seus valores em relação à linha de tendência (Figura 5.06).

Os gráficos de dispersão relacionando a área de drenagem com a área da seção transversal; largura da seção e profundidade média de todas as seções mensuradas está representada na figura 5.06.

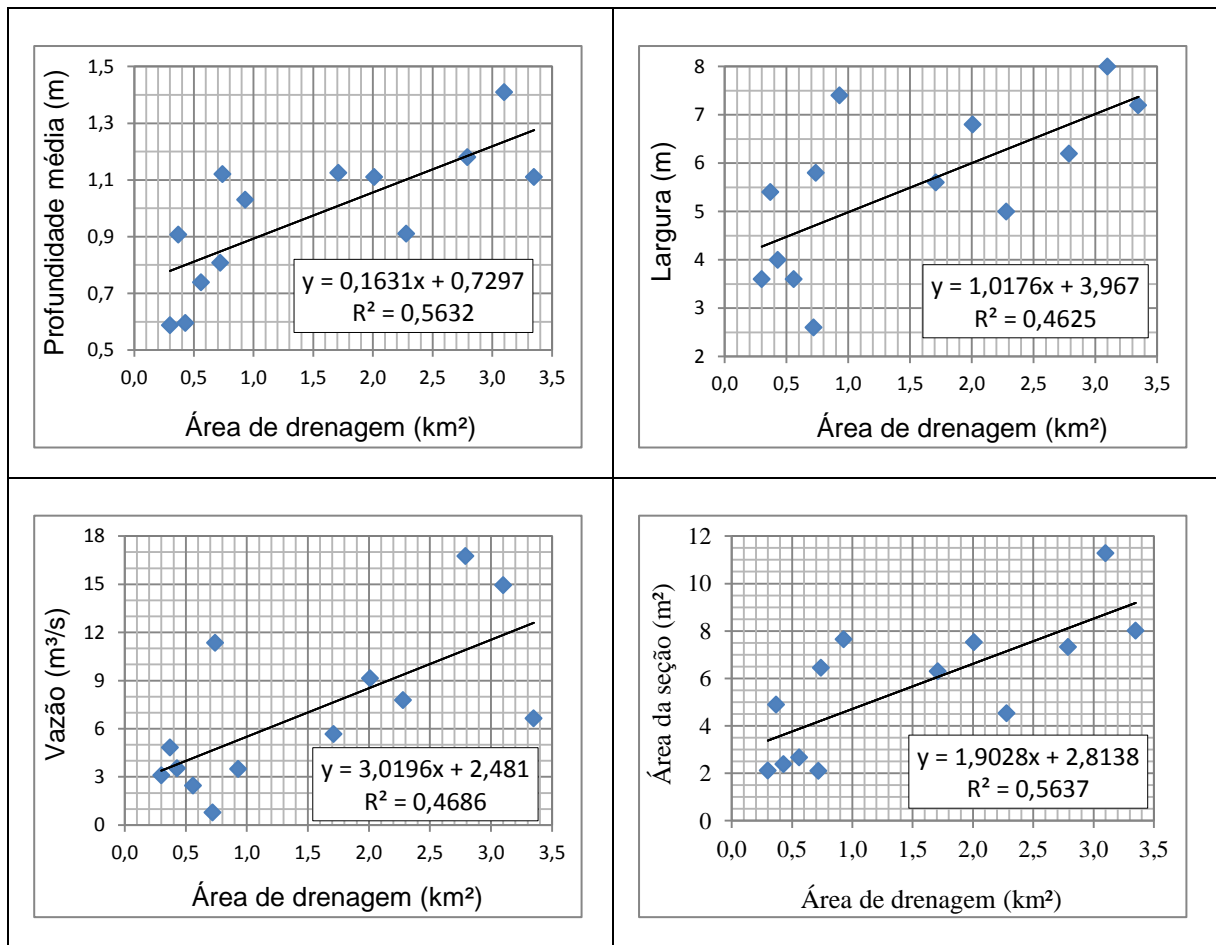


Figura 5.06 - Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial e a área de drenagem

Os valores dos coeficientes de determinação (r^2) definidos pelas propriedades geométricas da sub-bacia foram de moderados a fraco, sendo que várias seções transversais apresentam valores que se destoaram da linha de tendência. Esses valores estão relacionados a seções subestimadas e superestimadas, revelando problemas na dinâmica hidrológica local.

A fim de analisar as relações geométricas de cada trecho individualmente, a sub-bacia foi dividida em três trechos fluviais. A figura 5.07 mostra os dados dos trechos fluviais de forma segmentada, no canal principal, no tributário e no trecho inferior.


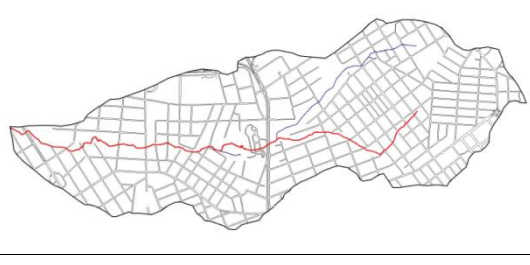
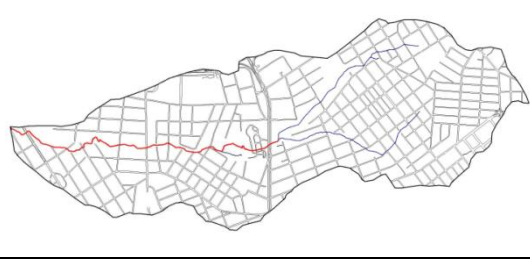
	Trecho fluvial principal (10 seções)			
	Dmp	Lmp	Qmp	Amp
	$r^2 = 0,691$	$r^2 = 0,675$	$r^2 = 0,583$	$r^2 = 0,709$
	Trecho fluvial inferior + tributário da margem esquerda (09 seções)			
	Dmp	Lmp	Qmp	Amp
	$r^2 = 0,397$	$r^2 = 0,298$	$r^2 = 0,287$	$r^2 = 0,391$
	Trecho fluvial inferior (06 seções)			
	Dmp	Lmp	Qmp	Amp
	$r^2 = 0,189$	$r^2 = 0,431$	$r^2 = 0,185$	$r^2 = 0,350$

Figura 5.07 - Relações das propriedades geométricas dos principais trechos fluviais do Arroio Barro Preto com a área de drenagem

As áreas mais desajustadas das propriedades geométricas foram às seções do trecho inferior do Arroio Barro Preto (seções 1 a 6), como podem ser observados pelos coeficientes de determinação (Figura 5.07). Relatos de moradores próximos a essas áreas indicam inúmeros casos de alagamentos e de inundações durante eventos de chuvas concentradas. Nesse trecho, a baixa amplitude topográfica, e as várias alterações morfológicas observadas influenciam na frequência das ondas de cheia, diminuindo o período de retorno das vazões de alta magnitude, ou seja, as alterações antrópicas estão potencializando a ocorrência de inundações.

O trecho inferior considerado juntamente com o tributário da margem esquerda também apresentou seções transversais desajustadas, demonstrando que os impactos urbanos também têm potencializado alterações nas propriedades morfológicas dos canais nesse trecho.

Apesar de haver trechos com coeficientes mais ajustados (r^2 média acima de 0,6), a sub-bacia do Arroio Barro Preto apresentou ajustes em determinados trechos pouco significativos, demonstrando alteração nas propriedades morfológicas das seções transversais

abertas. Pode-se observar também que os trechos com urbanização mais densa (loteamento mais antigo) apresentam-se com menores ajustes, o que mostra certo controle na morfologia da seção transversal pelas taxas de urbanização. A seguir serão destacadas as propriedades geométricas considerando as seções transversais fechadas, a fim de melhor entender os aspectos morfológicos dos trechos fluviais da sub-bacia.

5.1.2.2. Seções transversais fechadas

As seções transversais fechadas se referem aos trechos fluviais ocupados por manilhas ou seções retangulares sobrepostos pelo arruamento além das seções localizadas na abertura de trechos fluviais canalizados. Nos levantamentos em campo foram mensuradas 27 seções fechadas ao longo do Arroio Barro Preto e seus tributários, de maneira que quase a totalidade das seções foram mensuradas, sendo poucas as não medidas em virtude de dificuldade de acesso a seção (Figura 5.08).

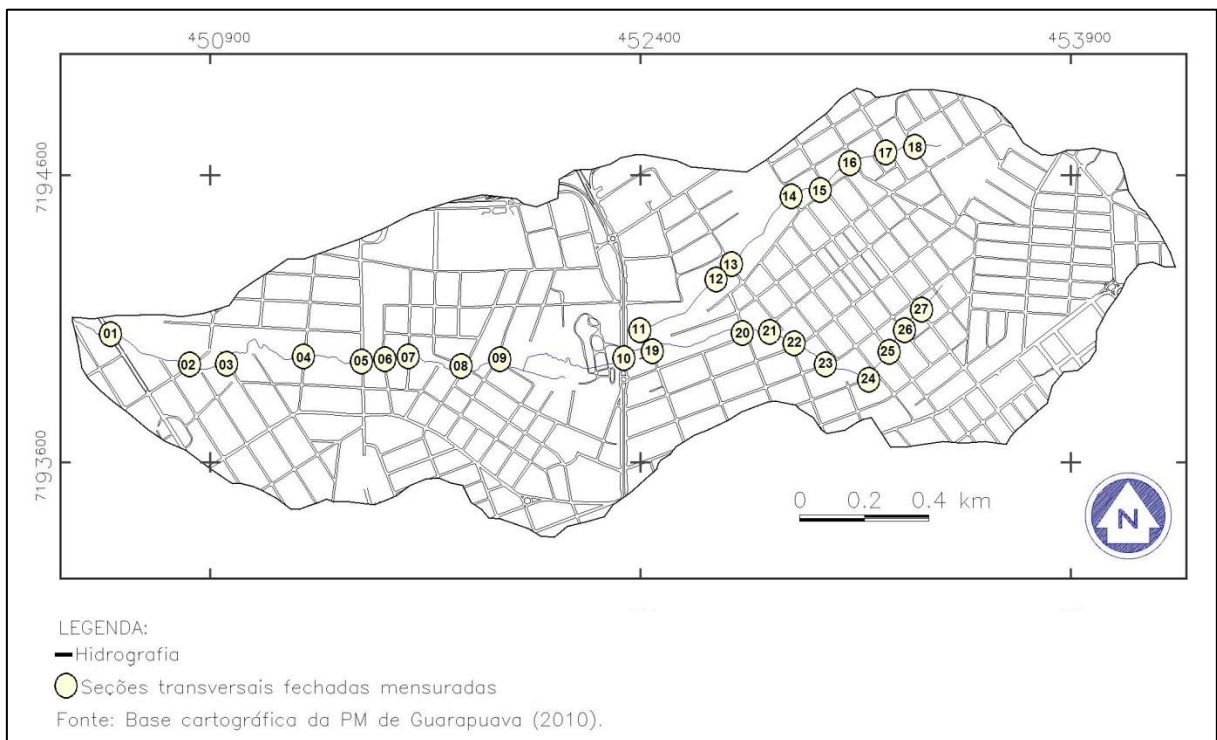


Figura 5.08 – Localização das seções transversais fechadas mensuradas na sub-bacia do Arroio Barro Preto

A Tabela 5.05 apresenta os valores da área das seções fechadas ($A_{\text{seções}}$) em metros quadrados e sua área de drenagem em quilômetros quadrados.

Tabela 5.05 – Parâmetros geométricos das seções fechadas no Arroio Barro Preto

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	BH (km ²)	A _{seção} (m ²)	Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	BH (km ²)	A _{seção} (m ²)
01	450552-7194072	3,31	5,50	15	453143-7194661	0,30	1,10
02	450861-7193951	3,19	8,46	16	453214-7194668	0,24	2,51
03	450964-7193956	2,82	12,54	17	453276-7194670	0,22	1,41
04	451235-7193972	2,69	6,28	18	453355-7194698	0,19	1,88
05	451435-7193951	2,62	7,07	19	452434-7194018	0,90	6,59
06	451504-7193972	2,58	7,07	20	452757-7194062	0,77	3,12
07	451596-7193980	2,17	6,12	21	452824-7194055	0,76	6,28
08	451773-7193918	2,12	5,65	22	452979-7194025	0,70	4,08
09	451908-7193956	1,66	7,35	23	453060-7193939	0,64	5,02
10	452401-7194001	0,72	2,67	24	453178-7193894	0,63	1,26
11	452676-7194250	0,65	3,14	25	453276-7193991	0,61	5,02
12	452719-7194293	0,61	2,51	26	453335-7194087	0,44	2,51
13	452922-7194532	0,43	4,40	27	453349-7194108	0,31	4,08
14	453033-7194556	0,35	2,83				

A correlação entre a área de drenagem e a área da seção fechada apresentou um ajuste moderado, contudo observou-se que as obras de canalização em determinadas seções subestimou e noutras superestimou a área da seção transversal do curso fluvial (Figura 5.09). As subestimadas se tratam de seções com área abaixo da média alométrica de ajustamento ao longo do perfil longitudinal, representam locais críticos para o transbordamento d'água, durante os eventos de chuvas concentradas.

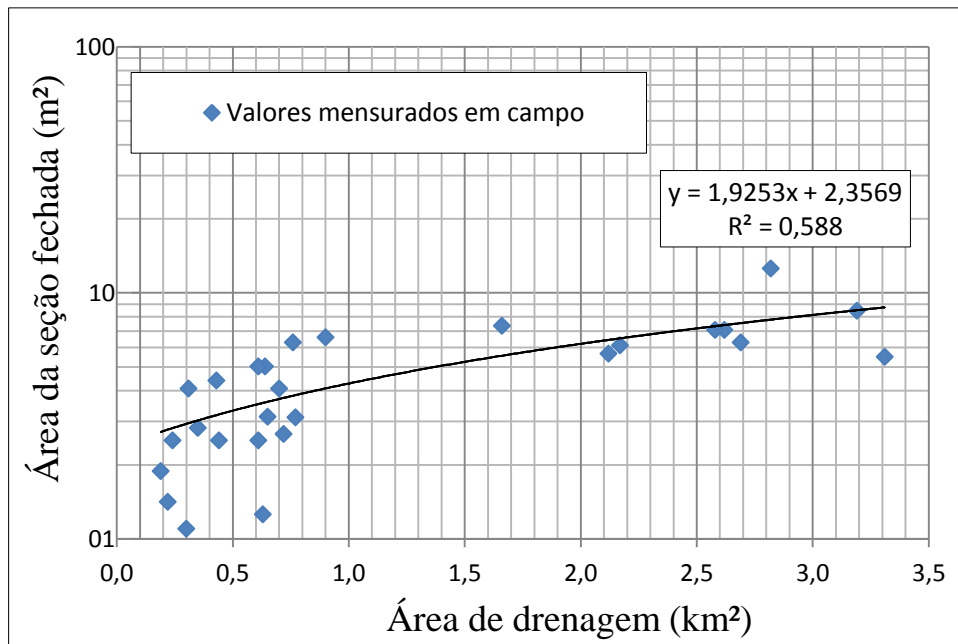


Figura 5.09 - Relações entre a capacidade das seções fechadas e a área de drenagem no Arroio Barro Preto

Várias seções apresentaram ajustes que acompanham a linha de tendência, na qual há um aumento progressivo da área de seção com o aumento da área de drenagem. Contudo a figura 5.09 mostra várias seções no alto e baixo curso que estão subestimadas, potencializando a ocorrência de enchentes e alagamentos.

A fim de melhor analisar as seções mensuradas, os trechos fluviais foram analisados de forma segmentada como mostra a figura 5.10.


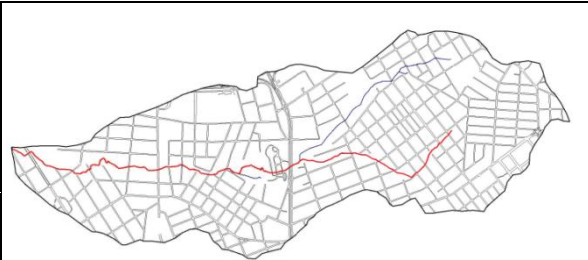
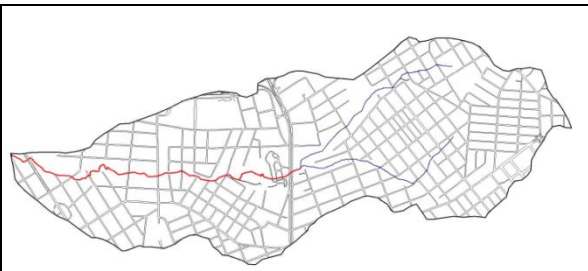
	Trecho fluvial principal (18 seções)
	Correlação Seções fechadas x área de drenagem
	$r^2 = 0,588$
	Trecho fluvial inferior + tributário da margem esquerda (19 seções)
	Correlação Seções fechadas x área de drenagem
	$r^2 = 0,464$
	Trecho fluvial inferior (10 seções)
	Correlação Seções fechadas x área de drenagem
	$r^2 = 0,300$

Figura 5.10 - Relações entre a capacidade da seção e a área de drenagem

Os índices de correlações nos trechos fluviais individualizados mostraram que o trecho inferior do Arroio Barro Preto apresenta os menores ajustes nas seções fechadas, a exemplo do que foi constatado no levantamento das seções abertas. Essas baixas correlações se devem a falta de planejamento e/ou estudos criteriosos na instalação de estruturas de engenharia nas seções fechadas.

De maneira geral as seções transversais apresentaram correlações moderadas demonstrando baixo ajuste ao longo do perfil longitudinal. Esse problema é ainda mais grave considerando que se trata de seções fechadas e, portanto nas épocas das chuvas concentradas o fluxo dos canais é potencializado a ocupar vias públicas e casas nas áreas próximas as seções com baixa capacidade de escoamento fluvial.

5.1.3. Arroio Carro Quebrado

5.1.3.1. Seções transversais abertas

A sub-bacia do Arroio Carro Quebrado tem uma área de drenagem aproximada de 11,54 km², sendo um dos principais tributários da margem esquerda do Rio Cascavel. O canal principal tem cerca de 6,67 km de comprimento, com uma declividade média de 16,6 m/km e amplitude topográfica de 111 m (Tabela 5.06).

Tabela 5.06 – Aspectos fisiográficos da sub-bacia do Arroio Carro Quebrado

Índices	Valor	Unidade
Área total da bacia	11,54	km ²
Perímetro	16,62	km
Densidade de drenagem	1,27	km/km ²
Declividade do canal principal	0,016	m/m
Comprimento do canal principal	6,67	km
Amplitude do canal principal	111,00	m
Coefficiente de Compacidade	1,36	adimensional

Escala utilizada: 1:50.000

Nos trabalhos de campo foram medidas 18 seções na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado, como mostra a figura 5.11. Estas foram medidas de forma distribuída ao longo da sub-bacia, sendo 12 seções no canal principal e 6 em canais tributários.

Esta sub-bacia tem o uso do solo predominantemente urbano (Figura 5.10). As áreas junto aos canais fluviais possuem matas ciliares degradadas sendo poucos os trechos com vegetação, o que reflete no atual uso do solo nas proximidades dos rios, que são em parte ocupados por moradia. São comuns também trechos fluviais canalizados, sobrepostos por arruamentos e construções, ou melhor, as feições morfológicas têm sido alteradas pelas obras setoriais. Nesta sub-bacia os principais impactos nas propriedades morfológicas da seção transversal dão indícios da remoção de material das margens e planícies adjacentes ao canal, concentração de materiais tecnogênicos nas margens e leito, tubulações com despejo de efluentes nos canais, canalizações em alguns trechos; vegetação ripária incipiente e leitos irregulares.

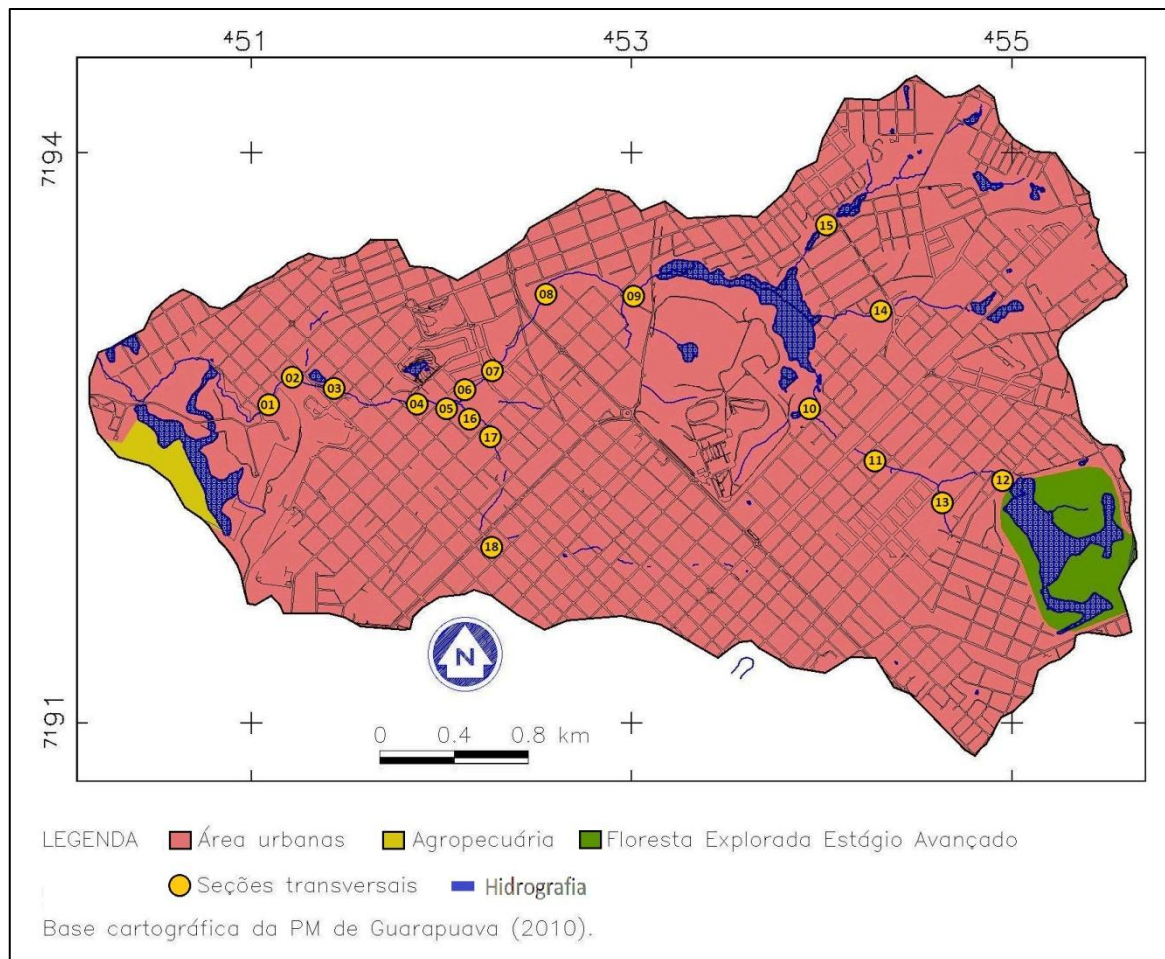


Figura 5.11 – Localização das seções mensuradas na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado

Na direção de jusante, as seções transversais demonstraram não manter um aumento proporcional nas variáveis mensuradas. Com relação à área da seção transversal (capacidade do canal) os valores obtidos encontram-se entre 1,98m² e 12,70m² (Tabela 5.07), mostrando um decréscimo significativo na seção 07 e acréscimo nas seções 18 e 10. A seção transversal 18 se localiza a jusante de um longo trecho canalizada estando à mesma num pequeno trecho aberto (+ ou – 10 m), sendo que logo a jusante o trecho já se encontra novamente canalizado o que potencializa um local crítico para o transbordamento das águas durante os eventos de chuvas. Isto pode ser observado pelo aumento da capacidade do canal na área canalizada de 2,77 m² para a área da seção abertas a poucos metros com 10,07 m². A seção transversal 10 assim como a 18 apresenta na montante amplas áreas impermeabilizadas, dessa maneira a concentração e aumento do fluxo durante as chuvas são potencializados, favorecendo as alterações na morfologia das seções (Figura 5.12).

Tabela 5.07 – Propriedades geométricos amostradas na sub-bacia Carro Quebrado

Seção	Coordenada UTM (X/Y)	A (km ²)	Qmp (m ³ /s)	Amp (m ²)	Lmp (m)	Rmp (m)	Pmp (m)	Dmp (m)
01	451055-7192681	9,75	24,01	9,92	7,2	0,99	10,00	1,34
02	451165-7192813	9,67	26,20	12,70	7,4	0,97	13,01	1,52
03	451392-7192771	9,25	29,85	11,58	8,8	0,94	12,32	1,28
04	451718-7192689	9,07	17,19	7,58	7,2	0,92	8,20	1,02
05	445201-7192690	8,73	15,81	9,05	8,0	0,87	10,42	1,13
06	452067-7192690	6,38	10,54	6,64	5,2	0,88	7,50	1,23
07	452189-7192796	6,17	5,34	3,31	4,4	0,56	5,90	0,73
08	452610-7193354	5,79	10,15	6,55	7,8	0,72	9,10	0,82
09	453005-7193263	5,19	7,83	5,01	4,8	0,71	7,00	1,00
10	454639-7192115	1,98	19,33	7,38	5,4	0,89	8,30	1,32
11	454221-7192420	1,49	2,81	2,23	2,8	0,49	4,50	0,74
12	454889-7192332	0,68	7,01	3,30	3,0	0,61	5,40	1,03
13	454630-7192115	0,43	3,25	1,98	3,0	0,44	4,45	0,62
14	454335-7193194	0,86	4,68	2,71	3,8	0,55	4,90	0,68
15	454041-7193657	0,89	7,25	5,35	5,6	0,68	7,80	0,92
16	452067-7192685	2,32	11,91	6,42	5,2	0,84	7,60	1,20
17	452265-7192504	2,24	6,49	4,28	5,4	0,61	6,96	0,76
18	452240-7191952	1,72	17,99	10,07	7,4	0,91	11,00	1,32

Nota: Qmp: vazão estimada; Amp: área; Lmp: largura; Rmp: raio hidráulico; Pmp: perímetro; Dmp: profundidade – todos esses parâmetros são relativos ao nível de margens plenas da seção transversal do canal e A: área de drenagem.



Figura 5.12 – Trecho canalizada a montante da seção 18
Foto do autor (outubro de 2010)

A largura média dos canais apresentaram valores entre 2,8 m² e 8,8 m² (Tabela 5.07), com alargamentos desproporcionais nas seções 18, 08 e 15. A seção transversal 18 como já descrito anteriormente apresenta na sua área adjacente extensas áreas impermeabilizadas. Quanto à seção 08 esta possui nítidas alterações na sua morfologia realizadas pela Prefeitura de Guarapuava, como o aumento da largura e suavização das margens (Parque das Crianças, na Figura 5.13). Cabe destacar ainda a seção 15, esta apresenta amplas áreas impermeabilizadas e um relevo íngreme que favorece as alterações na sua morfologia, pela velocidade do fluxo que aumenta sua capacidade erosiva.



Figura 5.13 – Trecho fluvial retificado - Parque das Crianças
Foto do autor (março de 2011)

A profundidade média dos cursos fluviais variou entre 1,52m e 0,62m (Tabela 5.07). As seções transversais que mais apresentaram desproporcionalidade acima da linha de tendência (Figura 5.14) foram: 16, 18, 12 e 10 e decréscimo a 07. Esse acréscimo desproporcional é influenciado tanto pela impermeabilização do solo como também por obras setoriais realizadas ao longo dos canais, favorecendo alterações nas propriedades geométricas das seções transversais.

Os dados referentes à vazão estimada em nível de margens plenas variaram entre 2,81m³/s e 29,85m³/s (Tabela 5.07). Assim como as demais propriedades geométricas a vazão média estimada também apresentou inconformidades nos valores no sentido de montante para jusante, demonstrando desajustes dos canais fluviais.

A Figura 5.14 mostra os gráficos de dispersão relacionando a Amp, Dmp, Lmp e Vmp com a área de drenagem referente a cada seção mensurada.

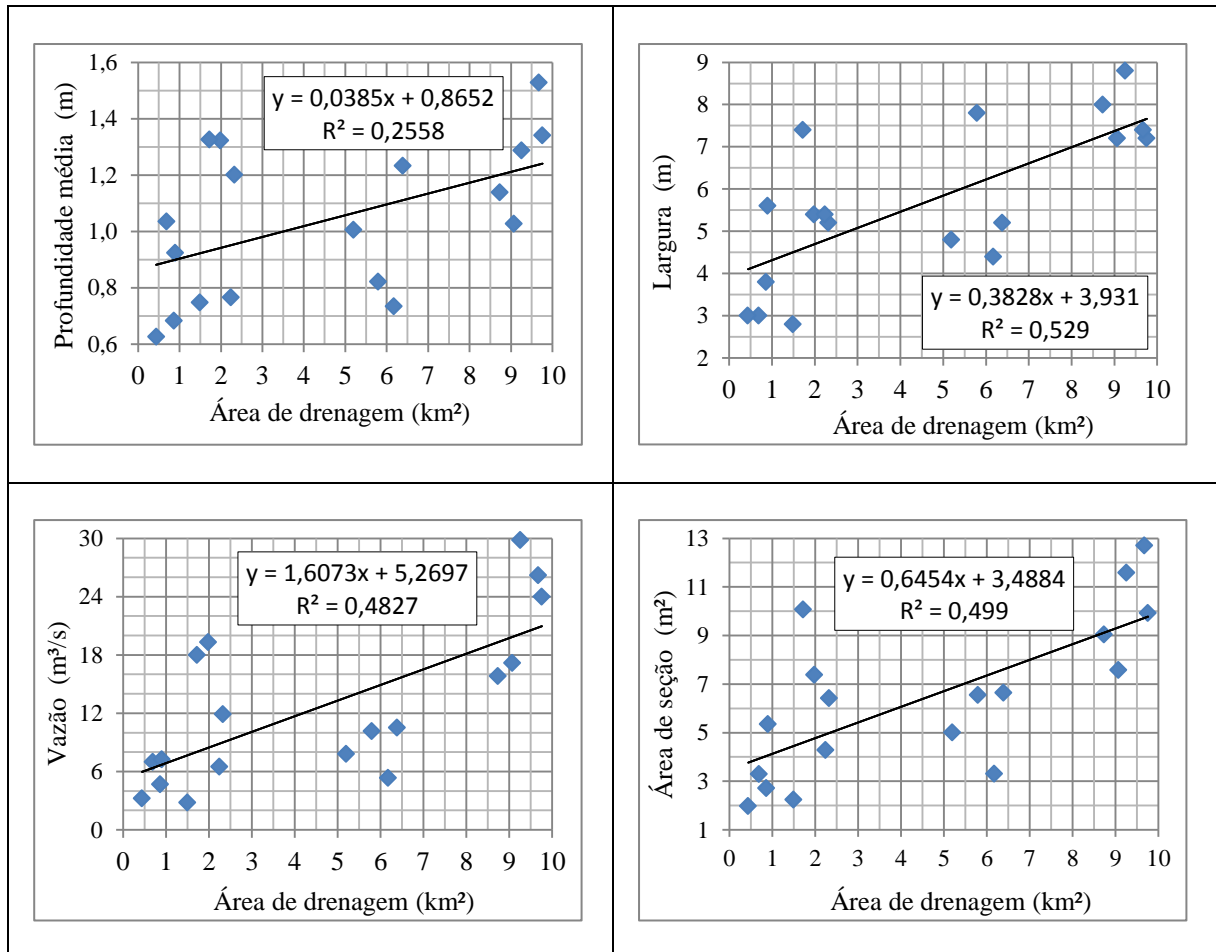


Figura 5.14 – Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial e a área de drenagem

O coeficiente de determinação da área da seção transversal apresentou valor moderado ($r^2 = 0,499$). Num canal em ajuste as áreas das seções transversais devem aumentar gradativamente de montante para jusante e, como mostra os resultados (Figura 5.14), as capacidades dos canais em algumas seções destoaram da linha de tendência demonstrando, portanto, desajuste no canal nas suas propriedades geométricas.

A relação entre a área de drenagem e a profundidade média dos canais apresentou um coeficiente de determinação de apenas $r^2 = 0,255$, um valor baixo, sendo o menor de todos os parâmetros avaliados. A explicação para esse elevado desajuste pode estar relacionado ao assoreamento dos leitos fluviais e os processos erosivos no canal pela grande energia do fluxo durante as chuvas além de obras setoriais ao longo das margens que altera a geometria da seção abaixando e/ou soerguendo a planície adjacente ao leito fluvial. Em campo nas atividades de mensuração das margens planas, as áreas de planícies apresentaram-se em muitos trechos alteradas por obras de terraplanagem (Figura 5.15).



Figura 5.15 – Trecho fluvial com alteração da planície por terraplanagem
Foto do autor (março de 2011)

Os parâmetros geométricos respondem de maneira diferenciada aos impactos da urbanização. A largura média dos canais apresentou-se a mais ajustada dentre os parâmetros avaliados com $r^2 = 0,529$. Todavia, apesar de ser medianamente positiva essa correlação ainda demonstra desajuste, podendo observar seções transversais com elevada dispersão da linha de tendência (Figura 5.14).

A vazão também relações fracas, com um coeficiente de determinação de $r^2 = 0,484$, demonstrando desajuste nas seções (Figura 5.14). A variação da vazão é a variáveis mais nítidas à população, sendo influenciada pelos impactos dos canais como: a diminuição da rugosidade, canalização, impermeabilização e retirada da vegetação favorecendo o aumento da velocidade do fluxo e acréscimo da vazão em eventos de chuva.

Na figura 5.16 apresentam-se os dados de trechos fluviais de forma segmentada (canal principal, tributário da margem esquerda e o trecho inferior) a fim de melhor analisar as relações geométricas.


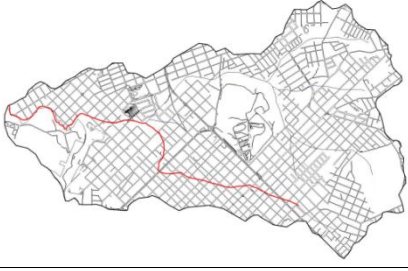
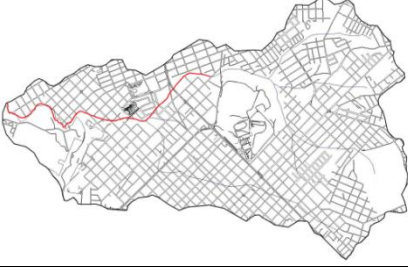
	Trecho fluvial principal (12 seções)			
	Dmp	Lmp	Qmp	Amp
	$r^2 = 0,202$	$r^2 = 0,693$	$r^2 = 0,458$	$r^2 = 0,614$
	Trecho fluvial inferior + tributário da margem esquerda (08 seções)			
	Dmp	Lmp	Qmp	Amp
	$r^2 = 0,156$	$r^2 = 0,473$	$r^2 = 0,518$	$r^2 = 0,371$
	Trecho fluvial inferior (09 seções)			
	Dmp	Lmp	Qmp	Amp
	$r^2 = 0,469$	$r^2 = 0,517$	$r^2 = 0,790$	$r^2 = 0,722$

Figura 5.16 - Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial principal e a área de drenagem.

Nos trechos individualizados os ajustes das propriedades geométricas do canal fluvial também foram de fraca a forte. Pelas correlações feitas pode-se perceber que as áreas mais desajustadas foram às seções transversais do tributário da margem esquerda do Arroio Carro Quebrado, estando este trecho do arroio localizado no setor da bacia mais densamente urbanizada. O trecho que apresentou o menor ajuste se refere à área mais densamente urbanizada da sub-bacia, o que sugere que o aumento da drenagem urbana tem potencializado alterações morfológicas na sub-bacia.

5.1.3.2. Seções transversais fechadas

Nos levantamentos em campo foram mensuradas 32 seções transversais fechadas (Tabela 5.08 e Figura 5.17).

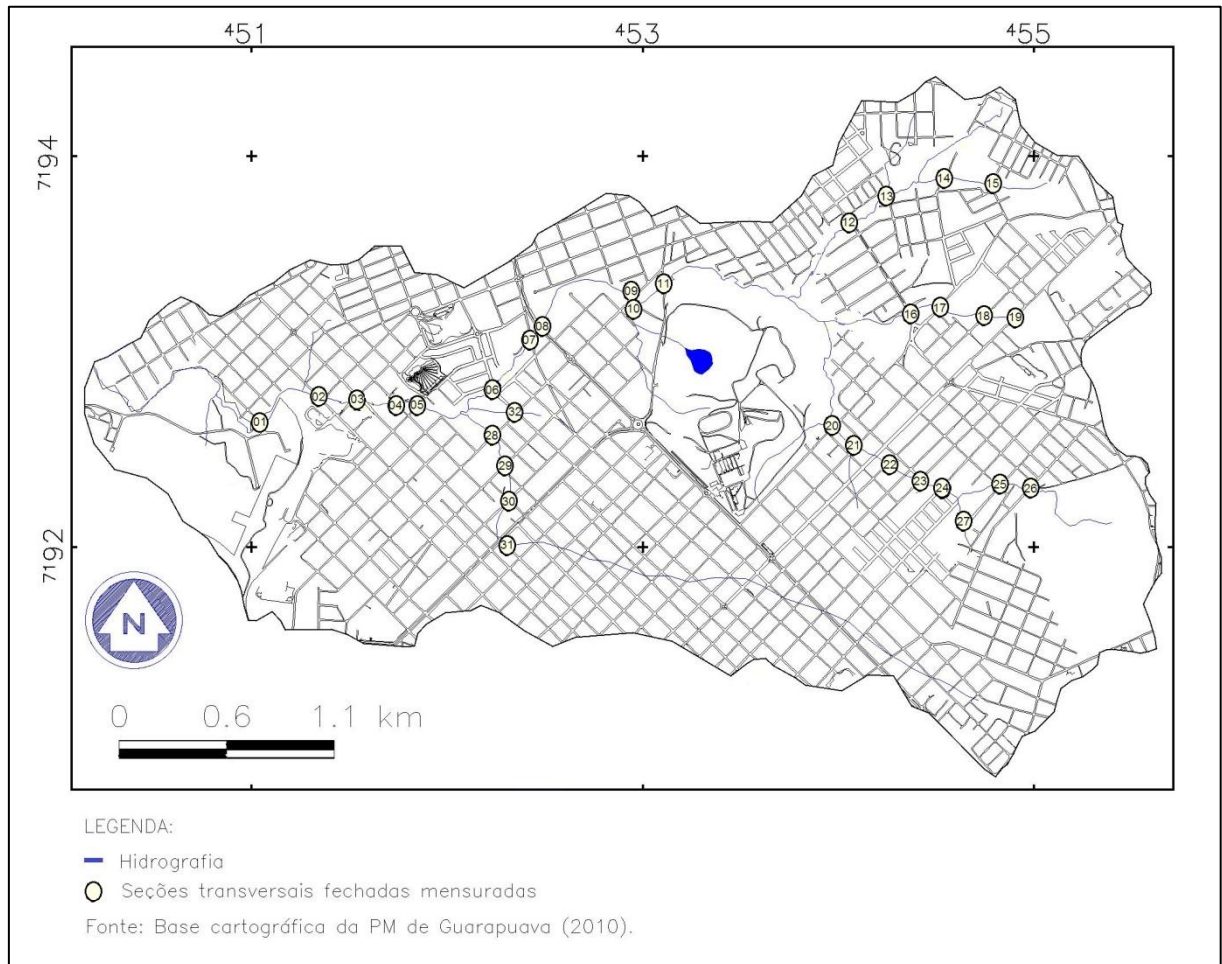


Figura 5.17 – Localização das seções transversais fechadas mensuradas na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado

Tabela 5.08 – Parâmetros geométricos das seções fechadas no Arroio Carro Quebrado

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	BH (km ²)	A _{seção} (m ²)	Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	BH (km ²)	A _{seção} (m ²)
01	451048-7192642	9,750	11,880	17	454518-7193226	0,780	1,507
02	451345-7192780	9,210	16,490	18	454748-7193180	0,610	1,108
03	451504-7192731	9,150	9,100	19	454880-7193152	0,516	2,261
04	451650-7192674	9,015	12,000	20	453975-7192609	1,920	5,100
05	451811-7192689	8,940	10,200	21	454079-7192506	1,866	6,600
06	452241-7192822	6,14	6,250	22	454236-7192406	1,550	4,250
07	452429-7193078	5,940	5,432	23	454410-7192333	1,400	3,723
08	452481-7193132	5,900	5,770	24	454528-7192299	1,255	2,990
09	452944-7193279	5,500	7,875	25	454814-7192316	0,715	0,785
10	452953-7193232	0,400	0,502	26	454962-7192282	0,588	0,810
11	453107-7193348	5,057	6,924	27	454643-7192115	0,409	1,570
12	454054-7193684	0,970	3,077	28	452239-7192567	1,954	4,800
13	454227-7193799	0,850	0,785	29	452296-7192415	1,907	6,280
14	454537-7193890	0,700	0,283	30	452311-7192238	1,850	8,250
15	454789-7193881	0,310	0,283	31	452213-7192086	1,670	2,790
16	454360-7193234	0,837	2,261	32	452302-7191950	0,409	1,915

A correlação das áreas de todas as seções transversais fechadas ao longo da sub-bacia com as respectivas áreas de drenagem apresentou um ajuste forte (r^2 de 0,78). As seções superestimadas foram as que mais se destoaram da linha de tendência, apresentando aumento médio acima das demais (Figura 5.18).

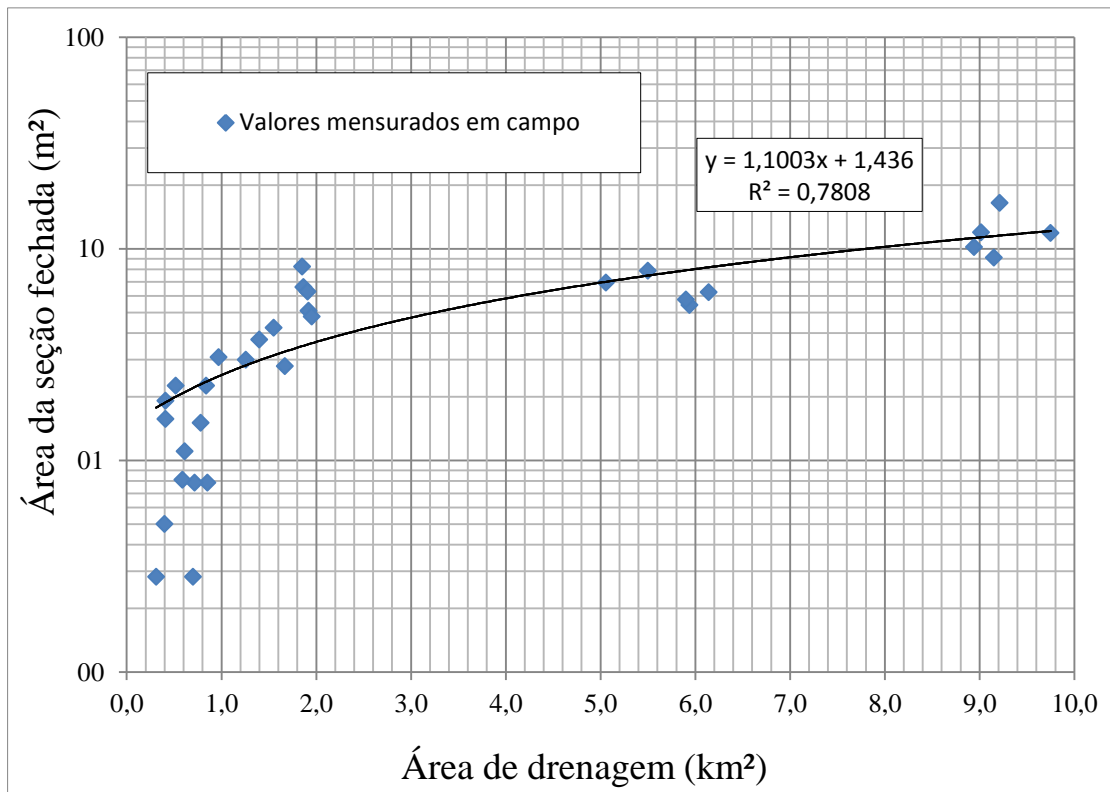


Figura 5.18 - Relações entre a capacidade das seções fechadas e a área de drenagem no Arroio Carro Quebrado

As relações das seções fechadas mostram valores desajustados (Figura 5.18). Essa realidade, já é amplamente discutida na literatura da geomorfologia fluvial com relação aos impactos urbanos nos canais fluviais.

As seções fechadas mesmo que apresentem um r^2 de 0,78 apresenta relações que podem não representar as individualidades de alguns trechos do canal, a figura 5.19 apresenta as correlações individualizadas. Esses valores demonstram as condições de cada trecho sendo mais representativo das condições morfológicas da rede de drenagem como um todo. Pois a morfologia das seções transversais varia ao longo dos trechos fluviais, de acordo com as dinâmicas naturais e principalmente antrópicas que ocorrem ao longo das encostas e do canal fluvial.

Pelos valores das correlações por trechos fluviais individualizados, foi possível notar que o trecho inferior do Arroio Carro Quebrado apresenta os menores ajustes nas seções fechadas. Apesar de apresentar uma correlação forte, há ainda seções que estão desajustadas, sendo essas potenciais de riscos em eventos de chuvas concentradas, pois se nota seções assoreadas por materiais tecnogênicos/naturais e tomadas por vegetação, que favorecem a diminuição na capacidade do canal. Essas seções por serem fechadas devem apresentar um

ajuste alométrico significativo, a fim de minimizar nos eventos de chuvas a invasão da água em ruas e casas em decorrência da subestimação do trecho fluvial (Figura 5.19).

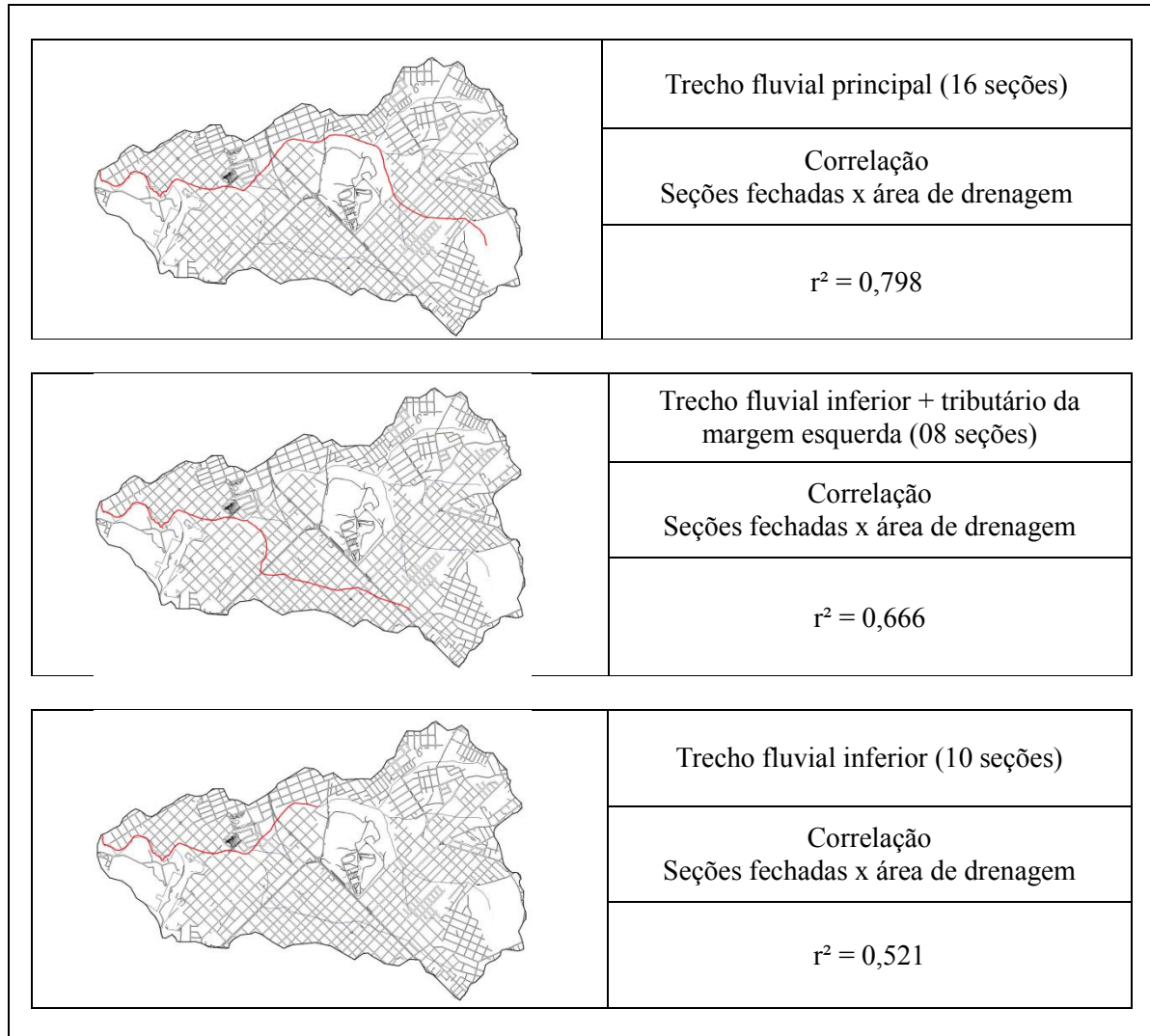


Figura 5.19 - Relações entre a capacidade da seção e a área de drenagem

Dando continuidade nas discussões acerca da morfologia fluvial em trechos urbanos a seguir são destacadas as relações geométricas hidráulica na sub-bacia do Arroio do Engenho.

5.1.4. Arroio do Engenho

5.1.4.1. Seções transversais abertas

A sub-bacia do Arroio do Engenho tem uma área aproximada de 8,97km², sendo afluente da margem esquerda do Rio Cascavel. O canal principal tem cerca de 5,84 km de

comprimento, com uma declividade média de 17,00 m/km e amplitude topográfica de 100 m (Tabela 5.09).

Tabela 5.09 – Aspectos fisiográficos da sub-bacia do Arroio do Engenho

Índice	Valor	Unidade
Área total da bacia	8,97	km ²
Perímetro	14,47	km
Densidade de drenagem	1,35	km/km ²
Declividade do canal principal	0,017	m/m
Comprimento do canal principal	5,84	km
Amplitude do canal principal	100,00	m
Coefficiente de Compacidade	1,35	adimensional

Escala utilizada: 1:50.000

Nos trabalhos de campo foram mesuradas 9 seções na sub-bacia Arroio do Engenho (Figura 5.20). O setor de montante da bacia apresenta a maior parte dos trechos fluviais canalizados, dessa maneira as seções foram medidas nos setores intermediários e jusante, sendo 6 seções no canal principal e 3 em canais afluentes.

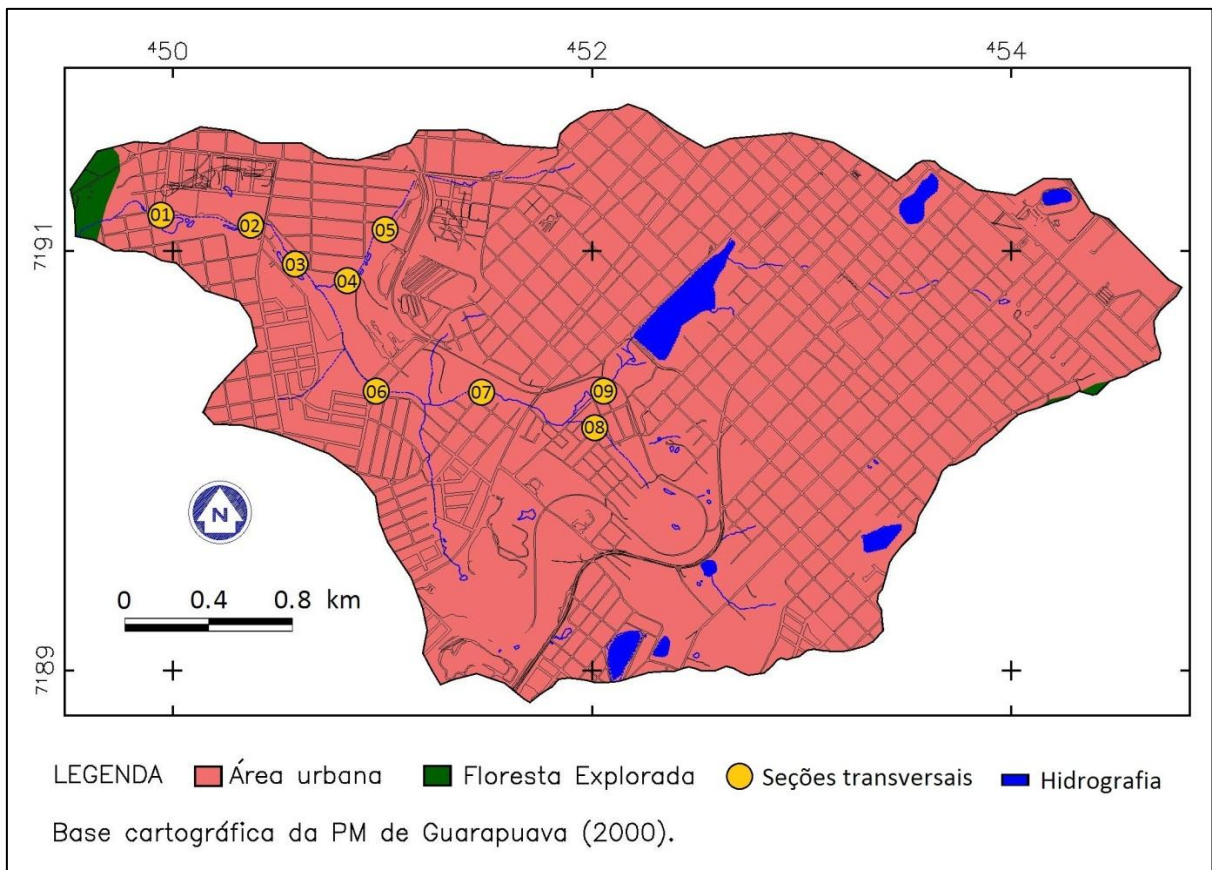


Figura 5.20 – Localização das seções mensuradas na sub-bacia Arroio do Engenho

Essa sub-bacia foi a que teve o menor número de seções amostradas em virtude da canalização de amplos trechos fluviais do setor de montante. As seções amostradas evidenciaram um aumento proporcional moderado nas suas propriedades geométricas. A área da seção transversal (capacidade do canal) apresentou valores entre $2,66 \text{ m}^2$ e $16,17 \text{ m}^2$ (Tabela 5.10), mostrando um acréscimo significativo na seção 05. Por meio de relatos dos moradores, as seções 01 e 07 apresentam problemas com alagamentos em eventos de chuvas concentradas, sendo que estas possuem áreas de drenagem desproporcional a capacidade da seção, mais especificadamente subestimadas.

A largura média dos canais apresentou valores entre 4 e 10 metros (Tabela 5.10), com alargamento desproporcional na seção 05. No entanto, esse parâmetro foi o que demonstrou as melhores proporcionalidades nas suas configurações alométricas das sub-bacias urbanas, ainda que haja desajuste (Figura 5.21). A profundidade média dos cursos fluviais variou entre 0,605 m e 1,685 m, e à vazão estimada em nível de margens plenas entre $5,72 \text{ m}^3/\text{s}$ e $16,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 5.10).

Tabela 5.10 – Propriedades geométricos da sub-bacia do Arroio do Engenho

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	A (km ²)	Qmp (m ³ /s)	Amp (m ²)	Lmp (m)	Rhmp (m)	Pmp (m)	Dmp (m)
01	450422-7194092	8,74	16,85	13,50	10,0	0,948	12,80	1,349
02	450855-7193934	8,31	11,59	16,17	9,6	0,618	10,00	1,685
03	450504-7191063	8,16	13,04	13,28	9,2	0,899	11,94	1,413
04	450853-7190883	1,02	6,22	5,74	5,0	1,202	6,90	1,105
05	451024-7191134	0,80	9,76	9,44	6,0	1,024	9,67	1,523
06	450957-7190358	6,46	14,23	12,00	7,4	0,758	9,10	1,060
07	451480-7190344	4,94	12,60	9,27	6,6	1,000	9,27	1,364
08	451995-7190177	1,35	5,72	2,66	4,2	1,992	5,30	0,605
09	452063-7190349	3,01	9,89	7,70	5,0	0,916	7,05	1,481

Nota: Qmp: vazão estimada; Amp: área; Lmp: largura; Rmp: raio hidráulico; Pmp: perímetro; Dmp: profundidade – todos esses parâmetros são relativos ao nível de margens plenas da seção transversal do canal e A: área de drenagem.

A figura 5.21 apresenta os gráficos de dispersão relacionando a área de drenagem com a área da seção transversal, largura da seção, vazão e profundidade média da seção todas em nível de margens plenas. A relação da Amp com a área de drenagem apresentou um m coeficiente de determinação de r^2 0,759, o que demonstra um bom ajuste apesar do trecho ser amplamente urbanizado. O coeficiente de determinação entre a largura das seções transversais e a área de drenagem também apresentou um bom ajuste com um r^2 de 0,876, sendo um valor expressivo em se tratando de uma área urbana. Esses valores demonstram que apesar de ser uma área com forte pressão antrópica os canais apresentam uma morfologia de área de seção e largura com ajustes consideráveis.

A exemplo dos parâmetros anteriores a vazão estimada de margens plenas também apresentou alta correlação com coeficientes determinação de $r^2 = 0,711$. Entre as variáveis amostradas somente a profundidade média das seções é que apresentou valores pouco expressivos, com um coeficiente de determinação $r^2 = 0,164$ (Figura 5.21).

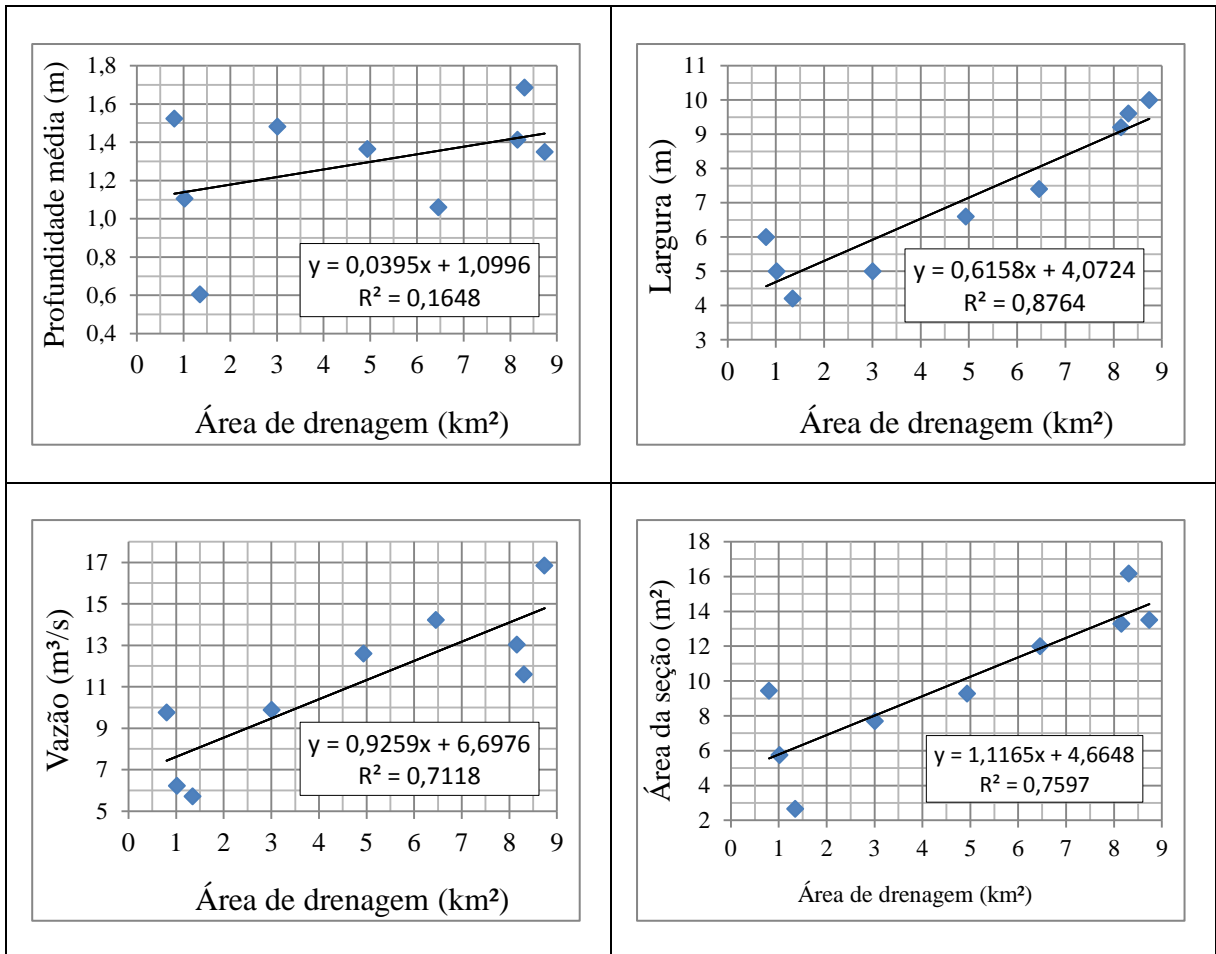


Figura 5.21 - Relações entre as propriedades geométricas do canal fluvial e a área de drenagem

Na figura 5.22 estão os dados dos trechos fluviais inferior, sem as seções dos canais tributários.

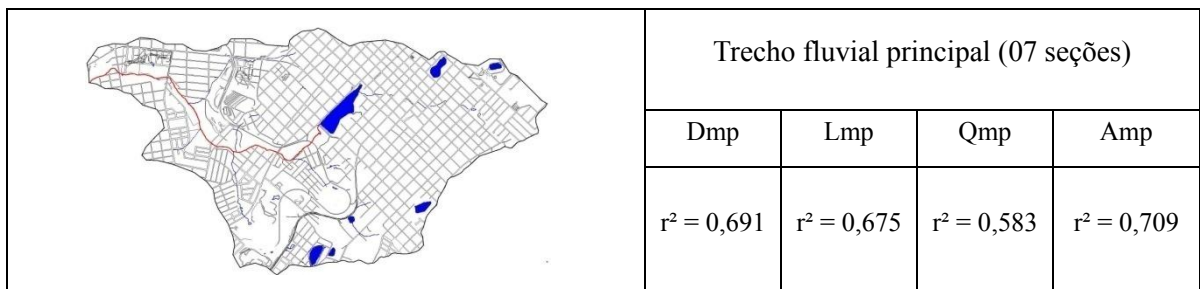


Figura 5.22 - Relações entre as propriedades geométricas do trecho fluvial inferior e a área de drenagem

Os levantamentos feitos no canal principal demonstraram ajustes consideráveis, demonstrando que apesar de algumas seções destoarem um pouco da linha de tendência, no geral, o trecho se encontra com um moderado ajuste morfológico.

5.1.4.2. Seções transversais fechadas

As seções transversais fechadas são representadas na maior parte por trechos fluviais sobrepostos por ruas ou áreas densamente urbanizadas onde o canal se encontra totalmente canalizado com a rede de drenagem ocorrendo em subsuperfície. A artificialização do espaço urbano (impermeabilização das encostas, aterramento e canalização dos arroios) tem suprimido da paisagem urbana a noção de rio, tornando pouco visível os trechos fluviais nas áreas centrais.

O Arroio do Engenho drena uma grande parte do centro urbano de Guarapuava, sendo que vários trechos fluviais nos setores de montante apresentam extensos percursos canalizados, sendo confundidos com galerias pluviais de drenagem. Nos levantamentos em campo foram mensuradas 37 seções transversais fechadas (Figura 5.23).

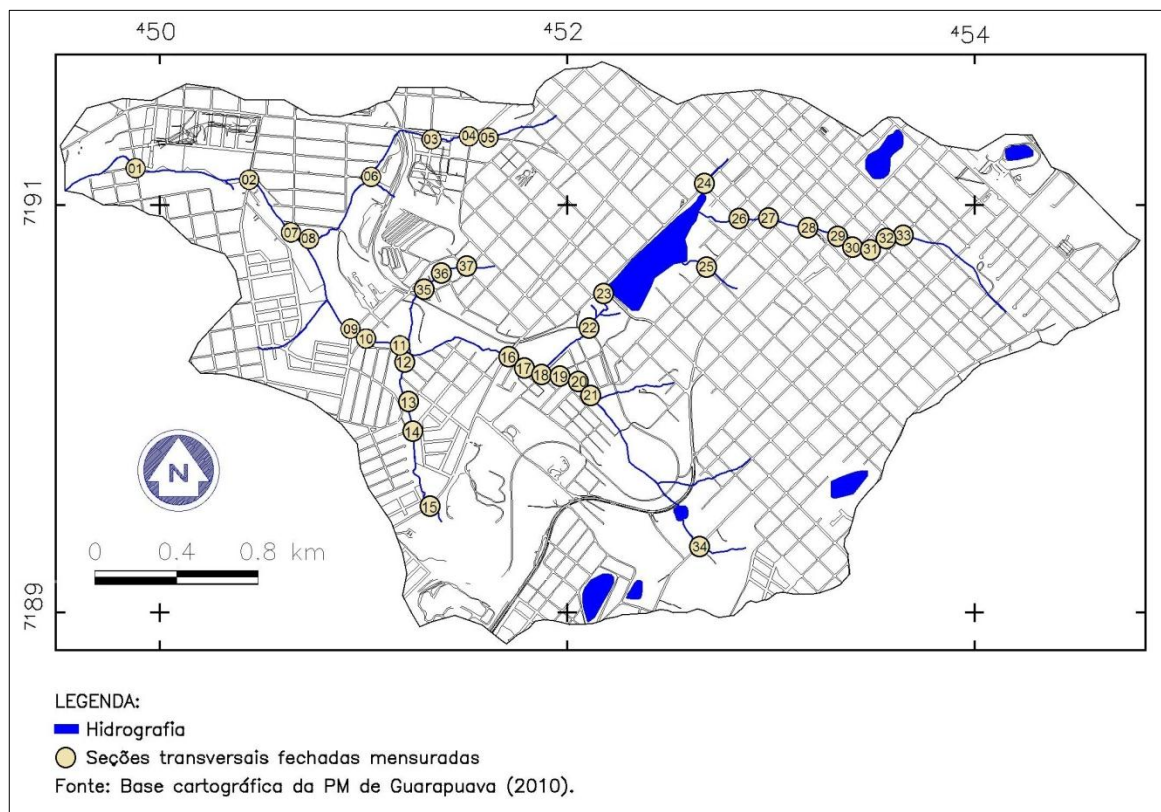


Figura 5.23 – Localização das seções transversais fechadas mensuradas na sub-bacia do Arroio do Engenho

A tabela 5.11 apresenta os valores da área das seções fechadas ($A_{\text{seções}}$) em metros quadrados e sua área de drenagem em quilômetros quadrados.

Tabela 5.11 – Parâmetros geométricos das seções fechadas no Arroio do Engenho

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	BH (km ²)	A _{seção} (m ²)	Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	BH (km ²)	A _{seção} (m ²)
01	449888-7191183	8,700	9,00	20	452064-7190126	1,330	2,36
02	450448-7191130	8,300	7,00	21	452096-7190078	1,320	1,79
03	451346-7191326	0,485	2,95	22	452096-7190386	3,020	2,40
04	451577-7191344	0,400	0,64	23	452180-7190586	2,960	19,20
05	451632-7191335	0,320	0,79	24	452670-7191091	0,790	5,00
06	451026-7191119	1,010	1,00	25	452683-7190695	0,760	2,16
07	450655-7190869	8,000	25,30	26	452902-7190934	1,440	9,60
08	450675-7190356	0,150	0,50	27	453042-7190919	1,400	11,75
09	450943-7190374	6,500	9,00	28	453164-7190885	1,330	4,75
10	451000-7190334	6,470	9,60	29	453290-7190867	1,286	3,94
11	451204-7190232	1,075	1,00	30	453410-7190781	1,062	5,04
12	451224-7190025	0,980	1,27	31	453465-7190796	0,970	3,94
13	451233-7189884	0,950	1,00	32	453534-7190807	0,957	4,08
14	451246-7189778	0,780	1,00	33	453647-7190856	0,954	2,80
15	451325-7189527	0,660	1,00	34	452644-7189333	0,250	4,80
16	451706-7190265	4,800	6,25	35	451269-7190576	0,214	0,79
17	451784-7190192	4,780	7,84	36	451400-7190687	0,178	0,79
18	451896-7190193	1,440	1,00	37	451489-7190699	0,163	0,79
19	451966-7190188	1,39	1,00				

A correlação dos parâmetros área de drenagem com a área das seções transversais fechadas apresentou um ajuste baixo, com um coeficiente de determinação de $r^2 = 0,423$. (Figura 5.24). Os postos dispersos da linha de tendência demonstram várias seções subestimadas e superestimadas.

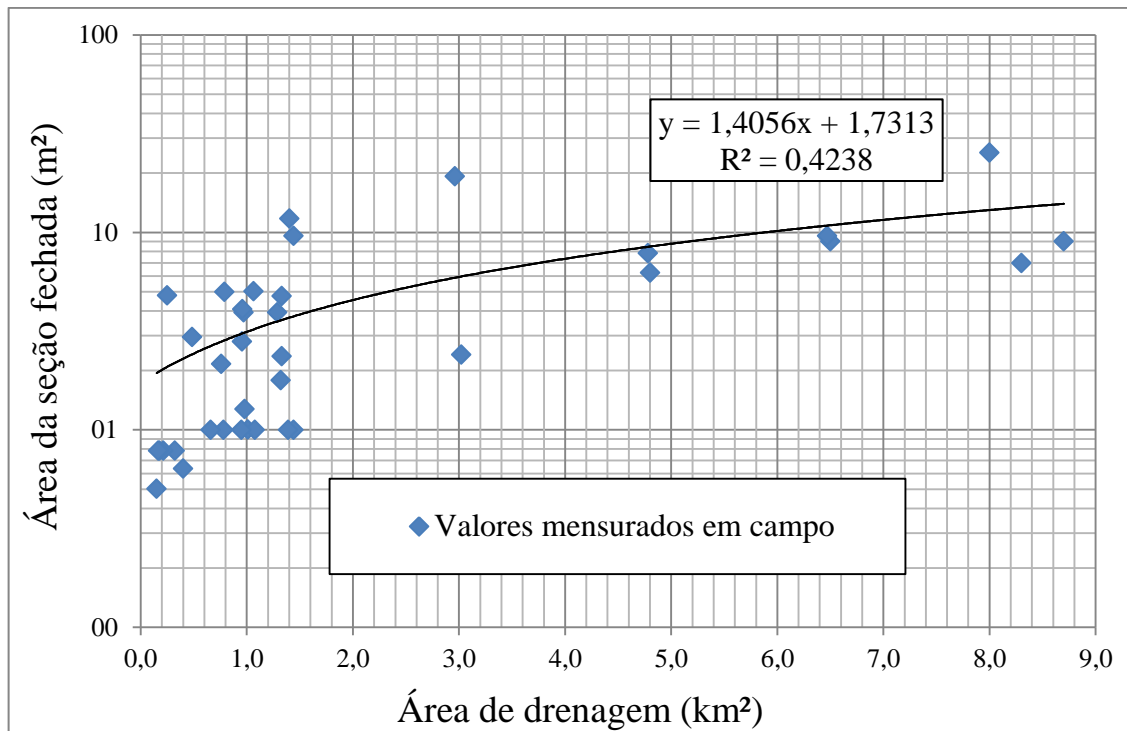


Figura 5.24 - Relações entre a capacidade das seções fechadas e a área de drenagem no Arroio do Engenho. **Erro! Indicador não definido.**

Várias seções apresentaram ajustes que acompanham a linha de tendência, na qual há um aumento progressivo da área de seção com o aumento da área de drenagem. Contudo a figura 5.24 mostra várias seções no alto e baixo curso que estão subestimadas, potencializando a ocorrência de enchentes e alagamentos.

Apesar das seções se concentrarem no alto curso da sub-bacia, algumas seções nos trechos intermediários e de jusante apresentam significativos desajustes, demonstrando significativas alterações morfológicas dos canais. Com a intenção de melhor analisar os dados mensurados, os trechos fluviais foram avaliados de forma segmentada como mostra a figura 5.25.

Pelos valores das correlações por trechos fluviais individualizados foi possível notar que o canal principal e o trecho inferior do Arroio do Engenho apresentam-se bem desajustados as capacidades das seções fechadas. Essas baixas correlações podem estar relacionadas a falta de planejamento na instalação de estruturas de engenharia. Esse problema é ainda mais grave considerando que se trata de seções fechadas e, portanto nas épocas das chuvas concentradas o fluxo dos canais é potencializado a ocupar vias públicas e casas nas áreas próximas às seções com baixa capacidade.

Por outro lado as seções fechadas do tributário da margem direita apresentam um

significativo ajuste demonstrando que as obras setoriais de engenharia nesse trecho estão proporcionais às áreas de drenagem.

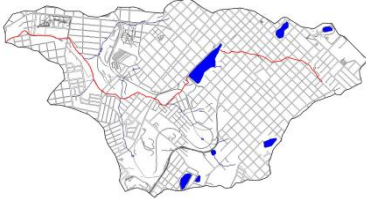
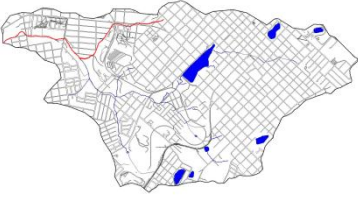
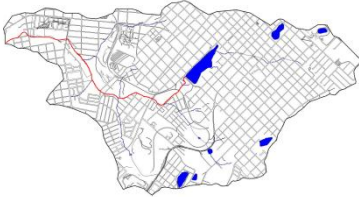
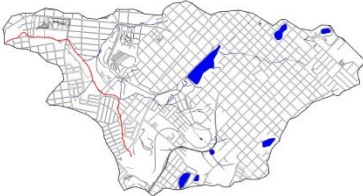
	Trecho fluvial principal (17 seções)
	Correlação Área das seções fechadas x área de drenagem
	$r^2 = 0,200$
	Trecho fluvial inferior + tributário da margem direita (06 seções)
	Correlação Área das seções fechadas x área de drenagem
	$r^2 = 0,920$
	Trecho fluvial inferior (09 seções)
	Correlação Área das seções fechadas x área de drenagem
	$r^2 = 0,032$
	Trecho fluvial inferior + tributário da margem esquerda (10 seções)
	Correlação Área das seções fechadas x área de drenagem
	$r^2 = 0,575$

Figura 5.25 - Relações entre a capacidade da seção e a área de drenagem

A fim de melhor analisar todas as discussões feitas nas sub-bacias urbanas e rural, os dados serão discutidos de forma conjunta.

5.1.5. Discussão geral dos dados das seções transversais abertas

A figura 5.26 apresenta um resumo dos valores dos coeficientes de determinação nas relações de geometria hidráulica de margens plenas mensurados das quatro sub-bacias da BHRC.

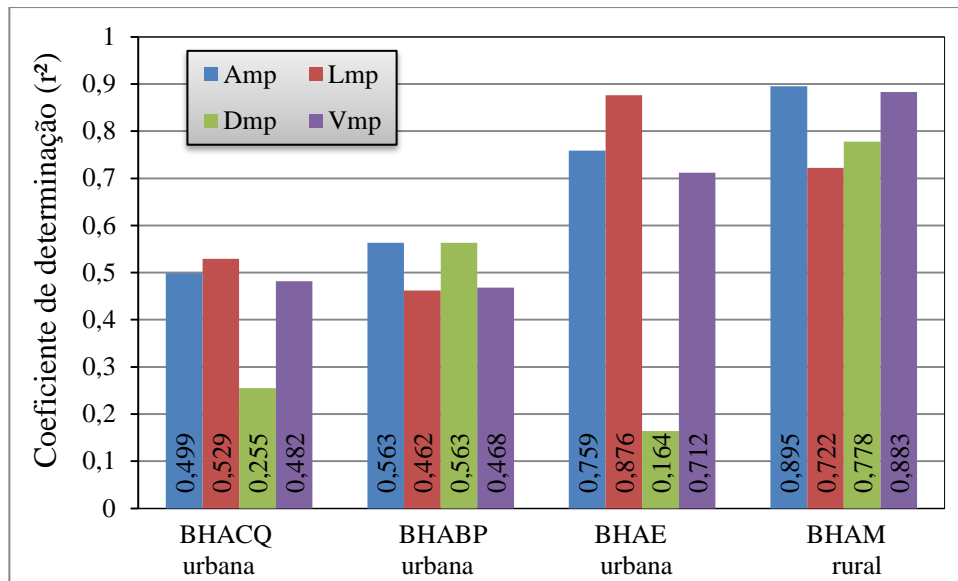


Figura 5.26 – Comparação do r^2 das relações geométricas de seção transversal em sub-bacias da BHRC

As sub-bacias urbanas apresentam menores ajustes que a área rural, cabe destacar também alguns ajustes consideráveis na sub-bacia urbana Arroio do Engenho. No entanto considerando a média as sub-bacias urbanas apresentaram menores coeficientes de determinação que a área rural, esses valores refletem as dinâmicas espaciais (impermeabilização e obras setoriais) nas sub-bacias urbanas que contribuem no desajuste morfológico dos trechos fluviais. Outros trabalhos já tem comprovado isso, como estudou Lucas e Cunha (2007), no Rio dos Macacos na cidade do Rio de Janeiro, que vem sofrendo modificações em sua geometria, por meio de obras de engenharia, refletindo no comportamento dos sedimentos.

Com o propósito de fazer uma análise geral das condições morfológicas na geometria de canais somente na área de urbana de Guarapuava, foi feito a relação de todas as seções abertas mensuradas, num total de 40, das três sub-bacias urbanas (Figura 5.27).

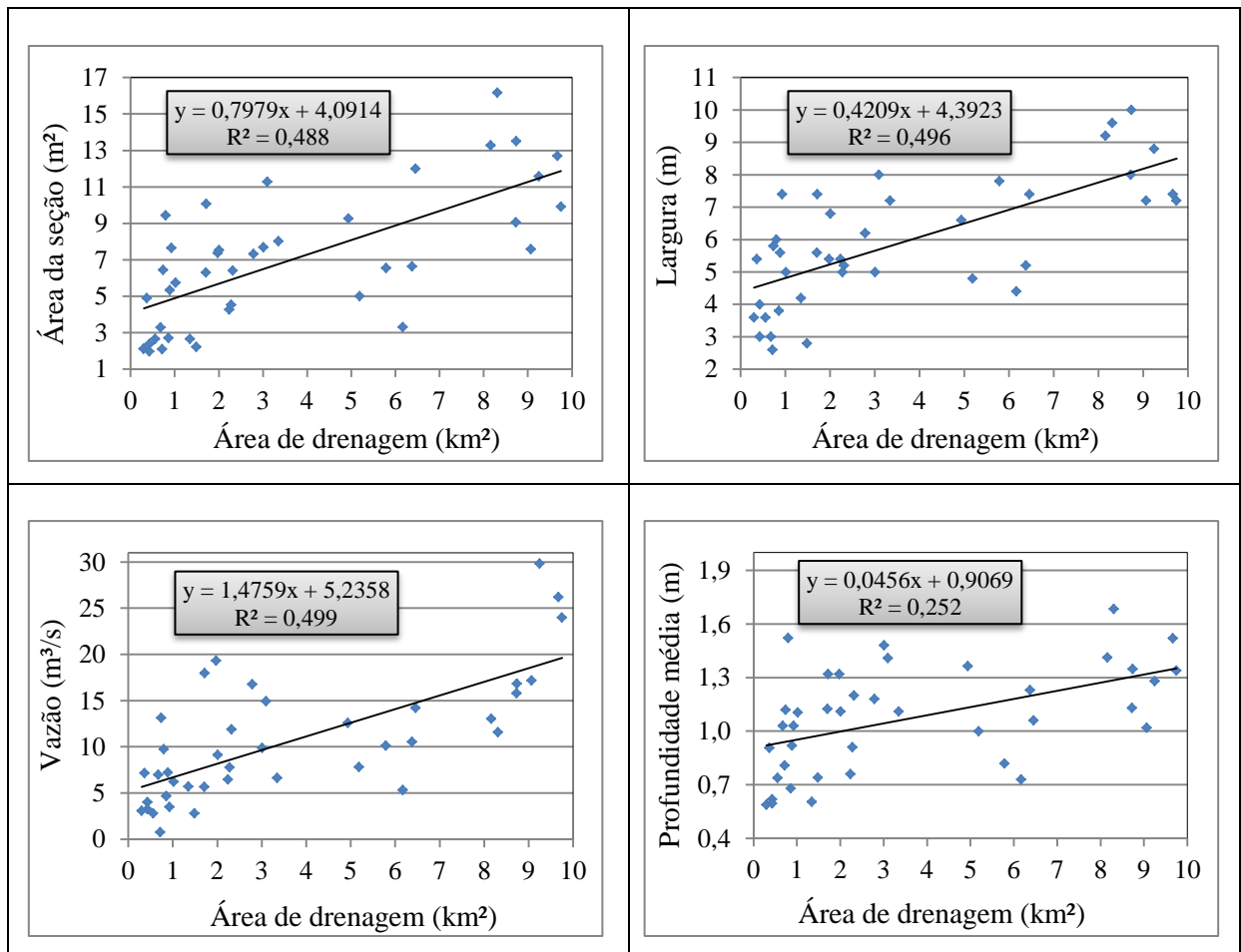


Figura 5.27 - Relações entre as propriedades geométricas de canais fluviais e a área de drenagem na zona urbana de Guarapuava

Pelos dados da figura 5.27 todas as correlações na área urbana apresentam coeficientes de determinação abaixo de 0,5, sendo possível observar várias seções com desajustes em comparação com a linha de ajustes. Estas se tratam de seções que estão ora subestimadas ora superestimadas, sendo que as subestimadas potencializando eventos de alagamentos nas áreas com alteração da morfologia dos canais. As relações das propriedades geométricas da seção transversal área, largura, vazão e profundidade média com a área de drenagem apresentaram os respectivos r^2 : 0,488; 0,496; 0,499 e 0,252. Esses dados demonstram que de maneira geral na cidade de Guarapuava as relações geométricas dos canais fluviais apresentam ajustes de moderado para fraco, evidenciando significativas alterações morfológicas nos trechos fluviais urbanos. Os estudos envolvendo a avaliação dos impactos da geometria hidráulica de canais urbanos é bastante explorado nas regiões temperadas. No Paraná Fernandez (2004) aplicou a metodologia de geometria hidráulica de margens plenas em canais urbanos de Marechal Cândido Rondon, encontrando baixas

correlações (r^2) que variaram de 0,11 a 0,7. No entanto poucos estudos existem no Brasil, sendo que a presente pesquisa vem contribuir na disseminação de uma metodologia de estudo pouco utilizada no país e com grande potencial para subsidiar os estudos de impactos urbanos nos canais fluviais.

A Figura 5.28 apresenta o modelo empírico que descreve a relação entre a área da seção em nível de margens plenas e a área de drenagem a partir dos dados da sub-bacia rural

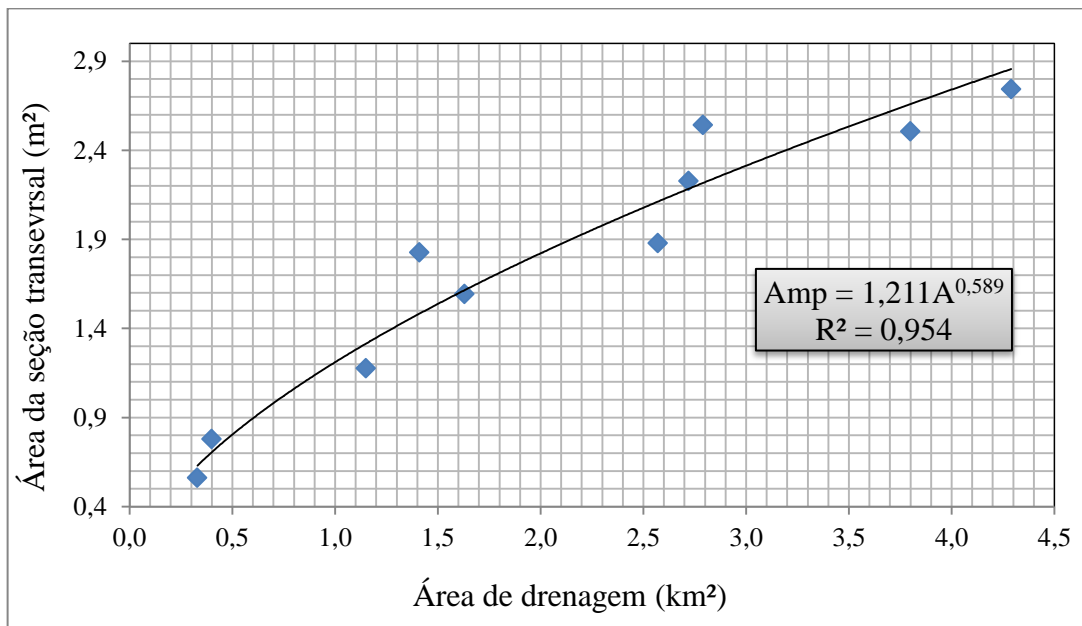


Figura 5.28 – Modelo empírico da relação Amp versus área de drenagem

Os dados mensurados na sub-bacia rural (BHAM), onde as atividades não ocasionaram ainda alterações significativas e diretas na morfologia fluvial, ou seja, representam áreas com características naturais, apresentaram os melhores ajustes na propriedade geométrica (Amp) ao longo do perfil longitudinal com um R^2 de 0,954. Este significativo coeficiente de regressão da equação potencial do modelo empírico determinada na área rural valida a equação a fim de avaliar os ajustes morfológicos fluvial nos canais urbanos. A equação determinada foi:

$$Amp = 1,211 A^{0,589} \quad (10)$$

Na qual: **Amp** é a área da seção transversal em metros quadrados a nível de margens plenas e **A** é a área de drenagem em quilômetros quadrados.

As figuras 5.29, 5.30 e 5.31 mostram os valores medidos em campo e o valor estimado da Amp nas respectivas seções tomando como base o modelo empírico determinado

pela equação da sub-bacia rural.

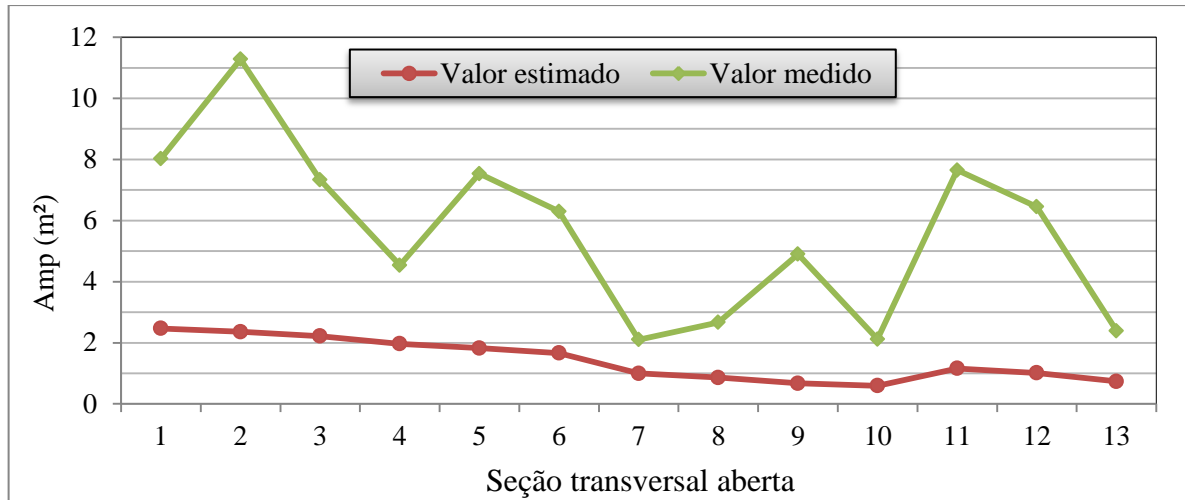


Figura 5.29 – Comparação da Amp da sub-bacia Barro Preto com a equação da sub-bacia Monjolo

Na figura 5.29 é possível notar que os valores mensurados em campo da Amp ficaram bem acima dos valores estimados pelo modelo empírico. As seções transversais do Arroio Barro Preto apresentaram uma média de 5,63 m² de área valor bem acima da média estimada pelo modelo empírico 1,48 m². A área das seções nessa sub-bacia apresentou valores entre 2,10 e 11,28 m² enquanto que os valores estimados não ultrapassaram os 3,00 m².

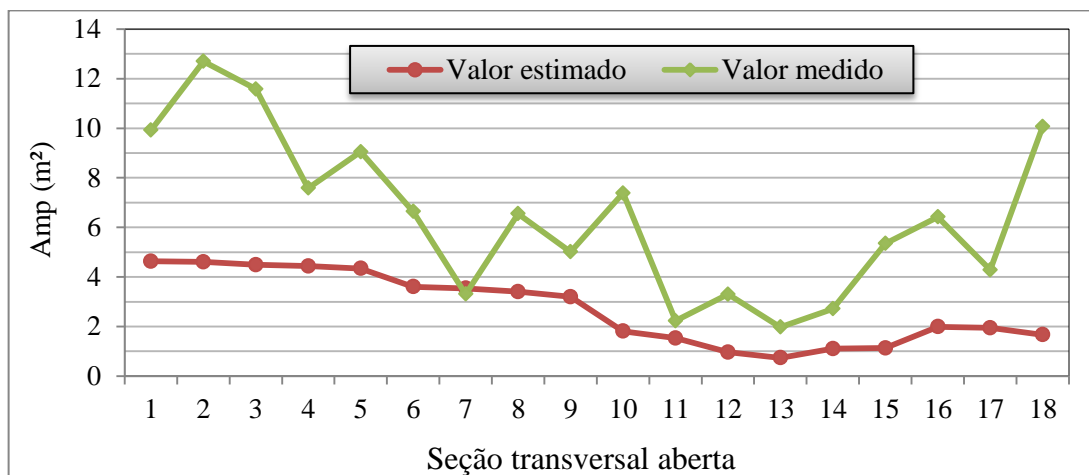


Figura 5.30 – Comparação da Amp da sub-bacia Carro Quebrado com a equação da sub-bacia Monjolo

Na sub-bacia Carro Quebrado os valores da Amp medidos estiveram na maior parte das seções com valores acima do valor estimado (Figura 5.30). O valor médio da Amp mensurado em campo foi de 6,45 m² ao passo que o valor estimado pela equação foi de 2,73

m². As seções do Arroio Carro Quebrado apresentaram área variando entre 1,98 e 12,70 m² demonstrando seções superestimadas na maior parte dos trechos fluviais.

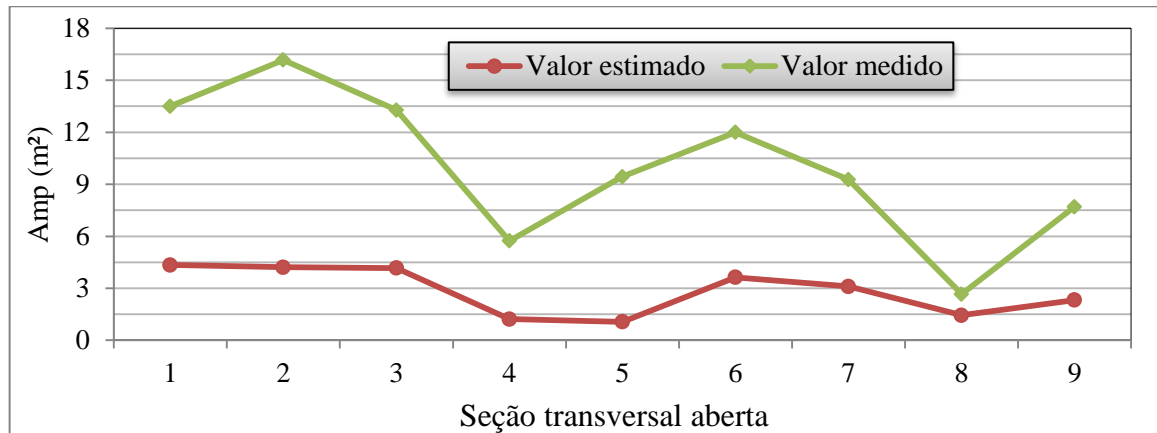


Figura 5.31 – Comparação da Amp da sub-bacia do Engenho com a equação da sub-bacia Monjolo

Por último a figura 5.31 demonstra a comparação da área da seção transversal da sub-bacia do Engenho com os valores estimados. A média dos valores medidos em campo ficou em 9,97 m² com Amp entre 2,66 e 16,17 m². Por outro lado os valores da Amp obtidos pelo modelo empírico ficaram 2,83 valor bem abaixo do que o mensurado. Observando a linha com os valores das seções na figura 5.28 é visível certa similaridade na disposição das mesmas. Por meio da figura é possível entender os significativos ajustes alométricos determinados na BHAM a partir da geometria hidráulica, onde foram encontrados significativos r². Esses dados refletem as dinâmicas hidrológicas diferenciada em áreas urbanas onde há um incremento significativo de vazões máximas e da energia do fluxo nos períodos de chuvas favorecendo o alargamento das seções. Vários estudos já tem demonstrado isso, sendo que Leopold (1968) demonstrou que pode haver um aumento em mais de seis vezes nas vazões máximas, devido ao aumento da capacidade de escoamento por meio de condutos e da impermeabilização das superfícies.

Os dados mensurados nas três sub-bacias demonstraram de maneira geral que as áreas urbanas têm apresentado área de Amp maiores que nas áreas rurais, o que já foi confirmado por Chin (2006). Tomando os valores das três sub-bacias urbanas como representativas de Guarapuava foi determinado uma média de 7,0 m² de área da Amp nos trechos urbanos, ao passo que o valor médio determinado pelo modelo empírico foi de apenas 2,33 m². Esses valores demonstram que na área urbana de Guarapuava os canais fluviais apresentam área de seções transversais cerca de três vezes maior que as seções transversais

rurais. Essa realidade está bem presente nos centros urbanos do Brasil, sendo que vários trabalhos já tem demonstrado que nas cidades têm ocorrido alterações na geometria fluvial.

5.1.6. Discussão geral dos dados das seções transversais fechadas

Na figura 5.32 têm-se os valores de r^2 da relação entre a área das seções transversais fechadas das sub-bacias urbanas e a área de drenagem.

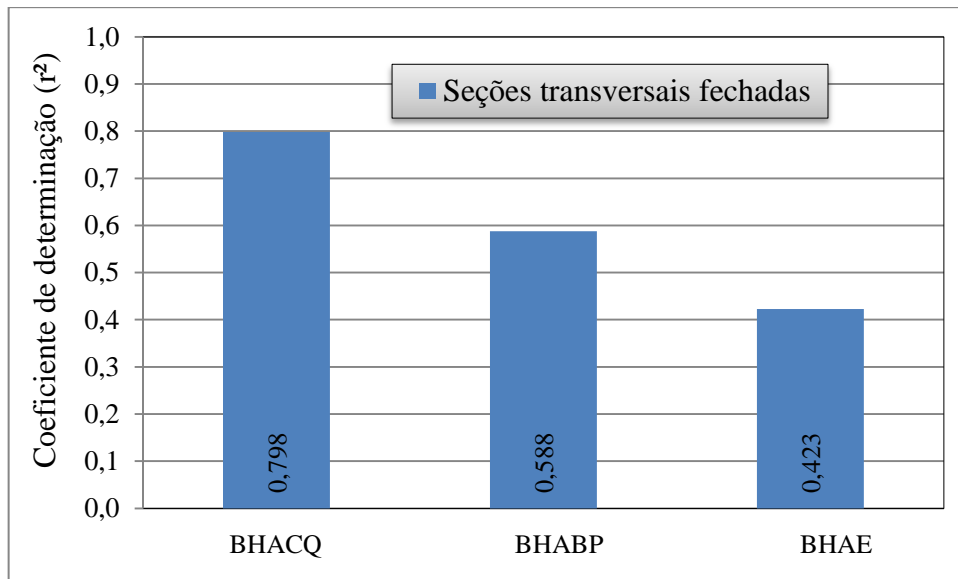


Figura 5.32 – R^2 das propriedades geométricas das seções transversais urbanas

A sub-bacia do Arroio Carro Quebrado apresentou os melhores ajustes com r^2 de 0,798. Por outro lado a sub-bacia do Arroio do Engenho exibiu o menor ajuste com um r^2 de 0,423, essa apresenta amplas áreas impermeabilizadas com vários trechos fluviais canalizados. Vieira e Cunha (2006) aplicaram metodologia semelhante em canais fluviais em sub-bacias urbanas na cidade de Teresópolis/RJ e também encontraram baixos ajustes na geometria dos trechos fluviais da área com coeficientes de determinação que variaram de $r^2 = -0,676$ a $0,285$. Os dados encontrados em Guarapuava com r^2 de 0,432 a 0,798 apresentaram-se superiores aos determinados por Vieira e Cunha (2006), no entanto há várias seções transversais ora subestimada ora superestimada, pois apesar da área de drenagem aumentar nem sempre as seções transversais fechadas crescem na mesma proporção.

A figura 5.33 apresenta a correlação obtida com os dados da área das seções transversais fechadas e a área de drenagem nas sub-bacias urbanas de Guarapuava com um total de 96 seções.

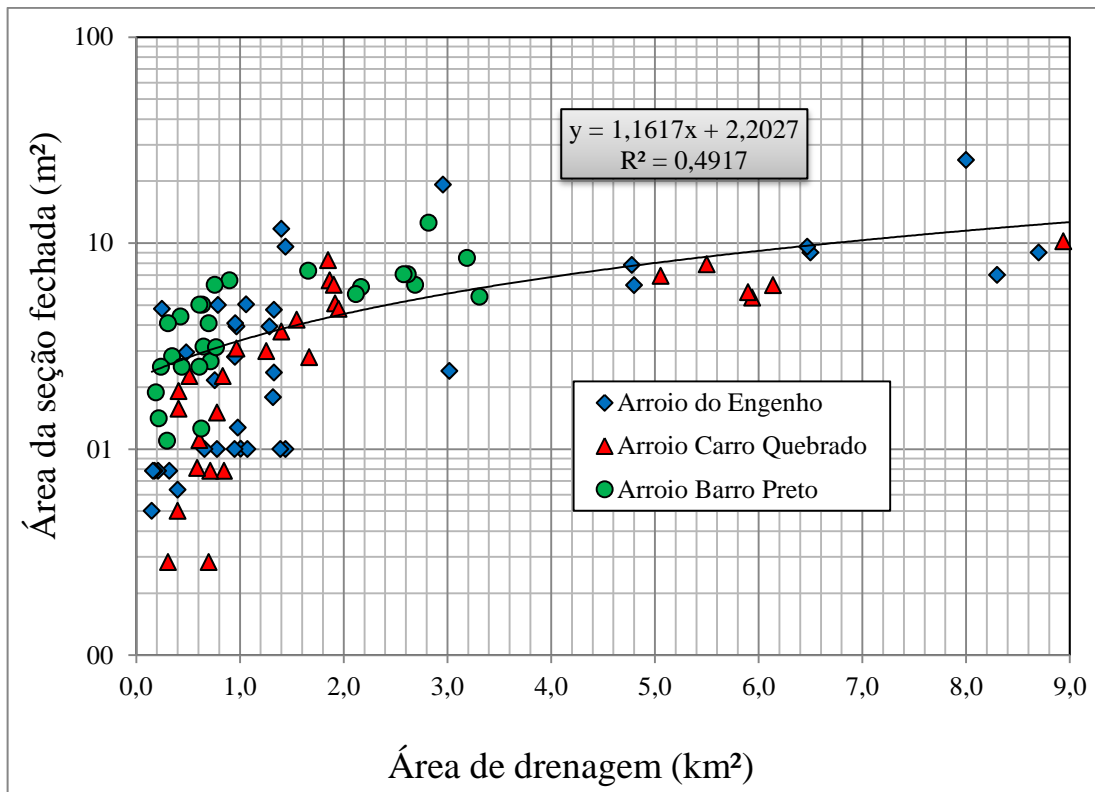


Figura 5.33 – Comparação da Amp nas sub-bacias urbanas com a área de drenagem

De maneira geral pode-se tomar o valor do coeficiente de determinação $r^2 = 0,4917$ como indicativo da geometria hidráulica de seções fechadas ao longo do perfil longitudinal para a área urbana de Guarapuava. Esse valor demonstra que várias seções transversais da cidade apresentam áreas desajustadas.

Os estudos envolvendo a relação das seções fechadas são fundamentais, haja vista ser estas menos sujeitas às dinâmicas de ajuste natural do canal na sua morfologia, pois a artificialização das seções impõem limites da migração das margens e do leito. Destarte, é fundamental o dimensionamento alométricos das seções transversais ao longo do perfil longitudinal a fim de minimizar os problemas relacionados à drenagem urbana.

A figura 5.34 mostra os valores medidos em campo e o valor estimado da Amp em seções transversais fechadas nas respectivas seções tomando como base o modelo empírico determinado pela equação da sub-bacia rural do Arroio Monjolo.

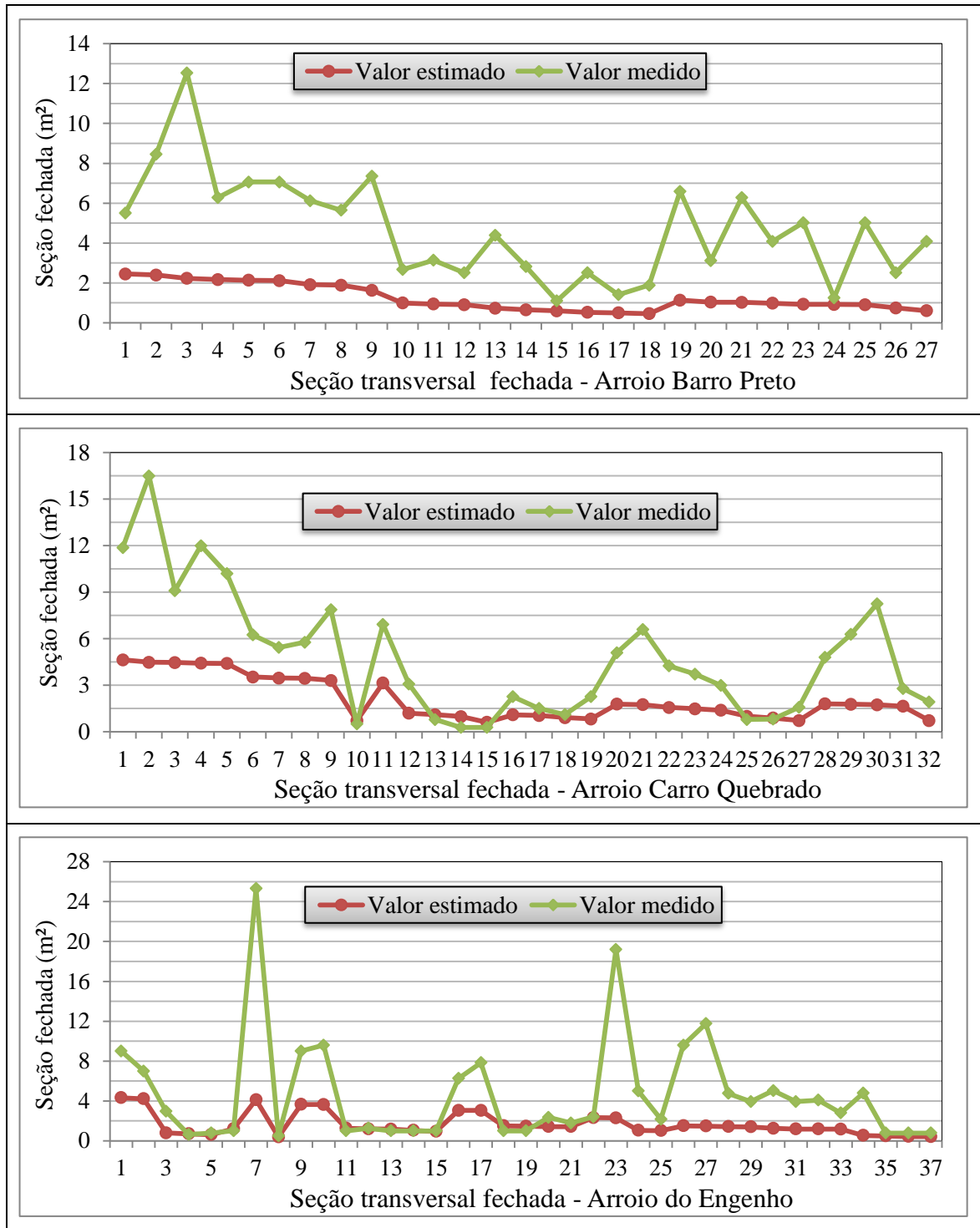


Figura 5.34 – Comparação da área de seções fechadas das sub-bacias urbanas com a equação da sub-bacia Monjolo

De maneira geral todas as sub-bacias urbanas apresentaram valores de seções transversais fechadas com valores acima dos estimados pelo modelo empírico, no entanto há algumas seções com área similares ou abaixo da área estimado. O Arroio Barro Preto

apresentou uma área de seção fechada média de 4,68 m², enquanto que o total estimado foi de 1,24 m², o que corresponde um valor 3,77 vezes menor. No Arroio Carro Quebrado o valor médio estimado da área da seção transversal foi de 2,06 m², contudo o valor medido foi de 4,80 m² que se refere a uma área média de seção 2,33 vezes maior. Por último o Arroio do Engenho apresentou uma média de seção transversal de 4,68, sendo este valor 2,87 vezes maior que o determinado pelo modelo empírico (1,63 m²). Tomando a média de todas as seções transversais fechadas mensuradas, foi determinada uma média de 4,72 m² de área de seção transversal fechada em Guarapuava, estando o mesmo 2,88 vezes maior que a média determinada pelo modelo empírico (1,64 m²).

Os dados mensurados nas três sub-bacias demonstraram de maneira geral que as áreas urbanas têm apresentado área de seção fechada maiores que nas áreas rurais o que é normal se tratando de obras de engenharia que tendem a serem superestimadas a fim de acomodar os fluxos com tempos de retorno maiores. Todavia, se observa várias seções com área similares ou até mesmo subestimadas em comparação com as seções estimadas pelo modelo empírico. Estas por apresentaram uma dinâmica hidrológica diferenciada (maior vazão máxima e específica) são área com potenciais de extravasamento d'água nas áreas adjacentes dos canais provocando alagamentos e inundações.

A precariedade no planejamento de obras de engenharia, além do contínuo aumento das áreas impermeáveis e instalação de obras setoriais ao longo das sub-bacias só maximizam os problemas. Essa realidade vem ao encontro de vários estudos nas áreas urbanas do país que mostram o aumento de inundações e alagamentos com tempo de retorno cada vez menor. Novos estudos abordando a dinâmica hidrológica, e as obras de engenharia são potencializados com as discussões aqui feitas.

5.2. Análise dos materiais tecnogênicos coletados no leito

5.2.1. Arroio Barro Preto

A sub-bacia do Arroio Barro Preto é ocupado na maior parte por áreas urbanas, que potencializam alterações nos seus processos naturais. Os trechos fluviais têm sido alterados por meio do acúmulo de resíduos antropogênicos líquido-sólidos no canal (Figura 5.35). Dessa maneira as propriedades quali-quantitativo dos sedimentos e da água têm sido modificadas em relação as suas características naturais.



Figura 5.35 – Seção transversal aberta e fechada com resíduos tecnogênico
Foto do autor (março de 2011)

Na sub-bacia do Arroio Barro Preto observou-se a presença de materiais antropogênicos descartados ao longo dos canais que formam soleiras e barras transversais impedindo o fluxo do canal em seções abertas e fechadas. Esses tipos de depósitos são comuns ao longo de todo o trecho do arroio, sendo que em várias seções fechadas a capacidade do escoamento canal tem sido diminuída.

Em conversa com os moradores é comum os relatos de alagamentos e a falta de manutenção dessas seções. Esses problemas poderiam ser minimizados se os materiais tecnogênicos fossem descartados em locais adequados, e não no curso fluvial, assim como também fossem realizadas manutenções nas seções fechadas que apresentam áreas entupidas por sedimentos.

Na figura 5.36 tem-se a percentagem de materiais tecnogênicos e naturais encontrados em cada uma das seções amostradas ao longo do Arroio Barro Preto.

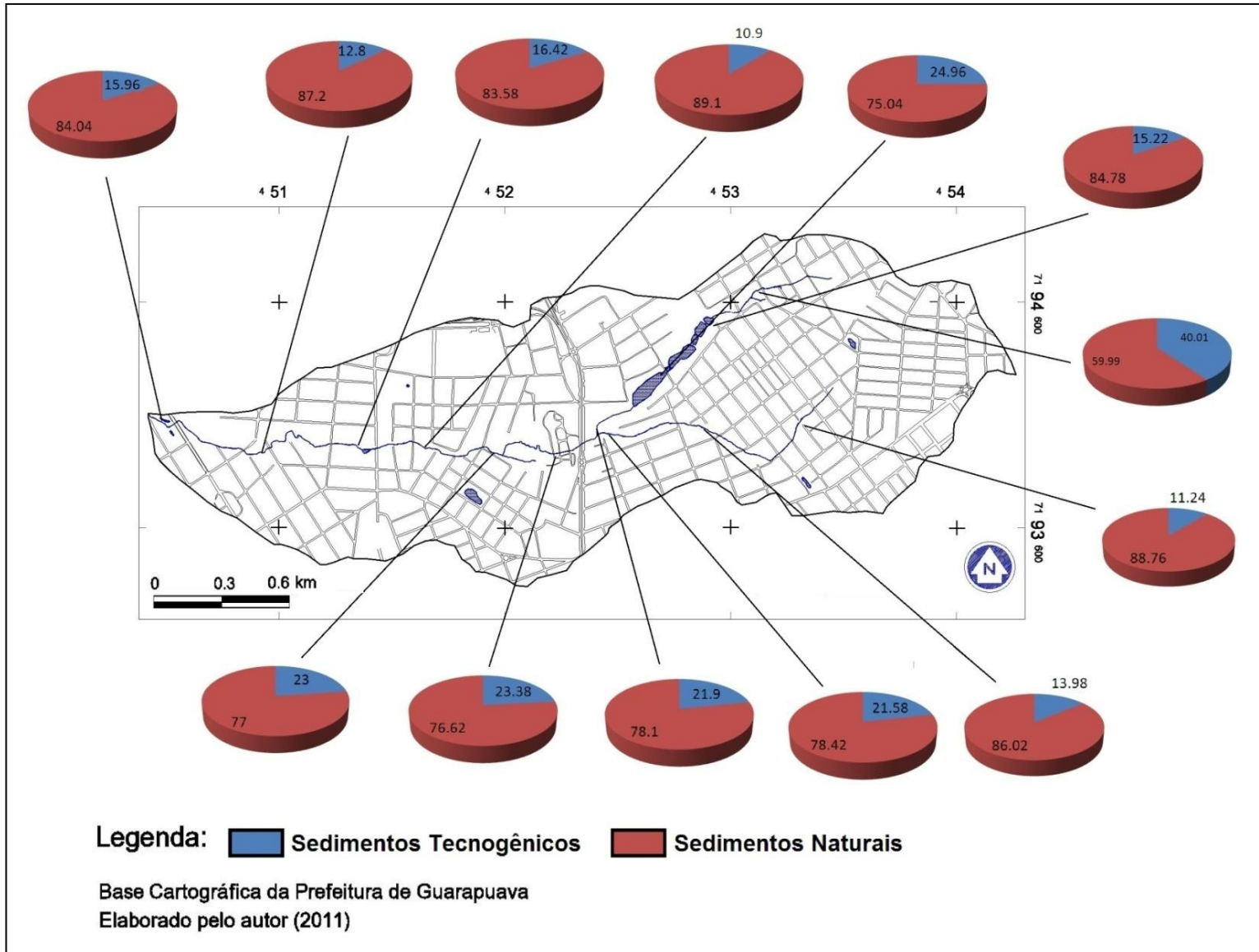


Figura 5.36 – Localização e tipos de sedimentos de leito tecnogênico e natural no Arroio Barro Preto

De maneira geral, os valores não apresentaram linearidade ao longo do perfil longitudinal. Na figura 5.37 têm-se a relação entre a área de drenagem e a porcentagem de materiais tecnogênicos. Nesta verifica-se um grau de correlação negativo-fraco, com r^2 de 0,1473 no sentido montante-jusante.

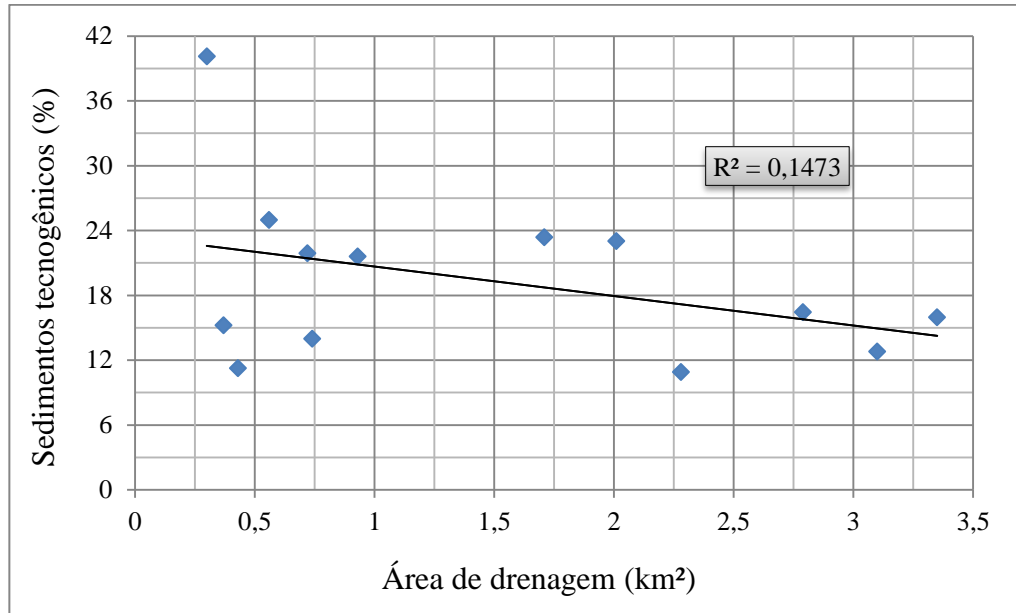


Figura 5.37 – Relação entre a quantidade de materiais tecnogênicos e a área de drenagem

Assim como se constatou menores proporções de materiais tecnogênicos nos trechos inferiores do arroio, podendo ser esses valores relacionados às menores densidades de ocupação nesse trecho da bacia. Contudo, de maneira geral, pode-se considerar que as áreas de contribuições de materiais tecnogênicos no canal devem-se a fontes dispersas. Na sub-bacia do Arroio Barro Preto o tamanho da área de contribuição não condiciona a quantidade de materiais tecnogênicos no leito fluvial.

Os locais onde foram realizadas as coletas de sedimentos foram os mesmos onde foram feitas as medições das seções transversais abertas (Tabela .12). Os valores dos materiais tecnogênicos apresentaram pouca variação ao longo do curso fluvial, com um desvio padrão de 7,6 e uma mediana de 16,42 %. A amostra 10 (40,1 %) foi à única que apresentou valor com grande dispersão dos outros resultados (Figura 5.38), o que evidencia o descarte excessivo de materiais tecnogênicos nesse ponto da bacia.

Tabela 5.12 – Quantidade de sedimentos de leito tecnogênicos e naturais no Arroio Barro

Preto

Amostras	Área de drenagem (km ²)	Sedimentos naturais (%)	Sedimentos tecnogênicos (%)
01	3,35	84,04	15,96
02	3,10	87,20	12,80
03	2,79	83,58	16,42
04	2,28	89,10	10,9
05	2,01	77,00	23,00
06	1,71	76,62	23,38
07	0,72	78,10	21,9
08	0,56	75,04	24,96
09	0,37	84,78	15,22
10	0,30	59,90	40,10
11	0,93	78,42	21,58
12	0,74	86,02	13,98
13	0,43	88,76	11,24
Máximo		89,10	40,10
Mínima		59,90	10,90
Média		81,26	20,82

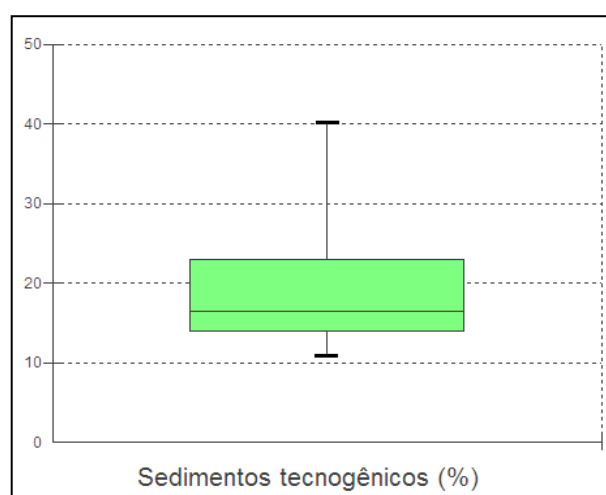


Figura 5.38 – Distribuição em porcentagem dos sedimentos de leito tecnogênicos

Os estudos envolvendo essa temática são escassos no Brasil, sendo que os dados da pesquisa demonstram uma significativa proporção de materiais tecnogênicos no total das amostras mensuradas com uma mediana superior a 16%.

5.2.2. Arroio Carro Quebrado

A sub-bacia do Arroio Carro Quebrado apresenta significativa taxa de urbanização sendo os setores de montante e jusante as áreas mais densamente urbanizadas. Os seus trechos fluviais têm sido alterados por meio do acúmulo de resíduos antropogênicos sólidos no canal, havendo uma significativa quantidade de material depositado ao longo das margens do canal que influenciam no sistema fluvial (Figura 5.39).



Figura 5.39 – Materiais tecnogênicos retidos na vegetação do arroio e amostras de sedimentos classificadas

Foto do autor (março de 2011)

Na figura 5.39 é possível observar a presença de materiais antropogênicos que ficaram retidos na vegetação (varal de lixo) que funcionam como locais potenciais de criação de mosquitos e dissipadores de elementos patogênicos. Os sedimentos A são constituídos por vários materiais antrópicos como vidros, lajotas, pedaços de concreto, telhas e brita, principalmente.

A figura 5.40 mostra a percentagem de sedimentos de leito tecnogênicos e naturais em cada seção amostrada.

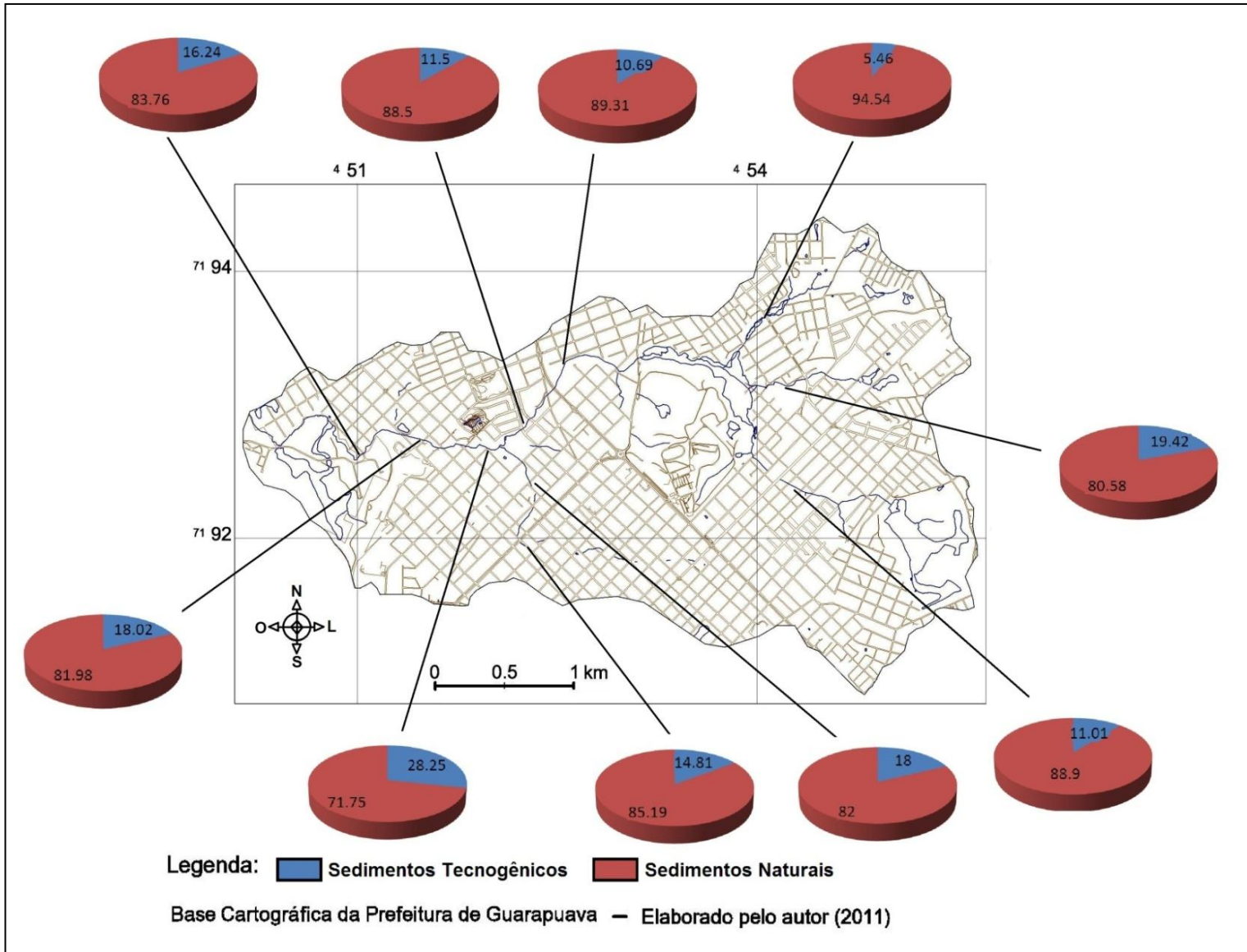


Figura 5.40 – Localização e tipos de sedimentos de leito no Arroio Carro Quebrado

De maneira geral, os valores referentes às amostras não apresentaram linearidade ao longo do perfil longitudinal, a figura 5.41 apresenta a correlação da área de drenagem com a percentagem de materiais tecnogênicos.

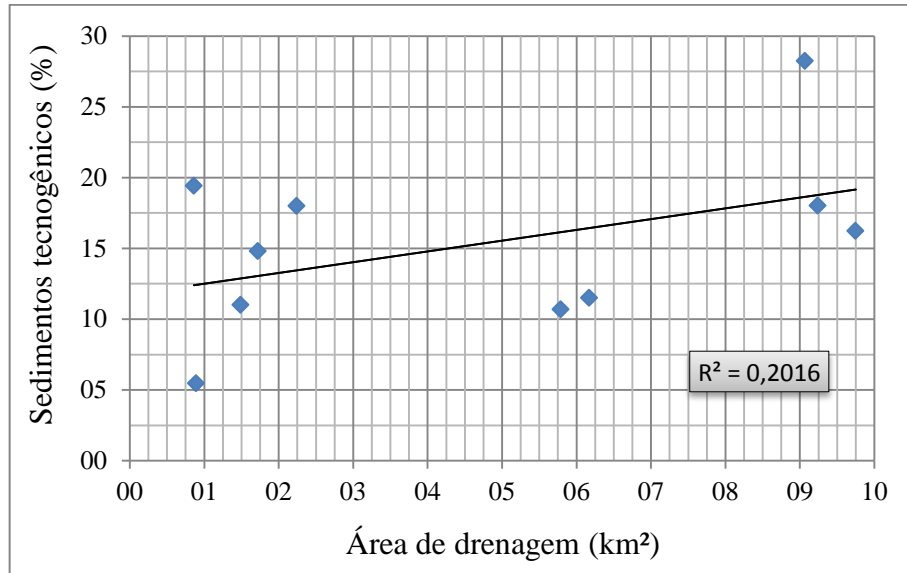


Figura 5.41 – Relação entre a quantidade de materiais tecnogênicos e a área de drenagem

O coeficiente de determinação apresentou ajuste fraco, demonstrando menores proporções de materiais tecnogênicos nos trechos de montante do arroio, diferentemente do encontrado no Arroio Barro Preto. As áreas de contribuições de materiais tecnogênicos no canal são dispersos, não sendo possível afirmar que determinado trechos tem maior representatividade de contribuição no arroio.

Os vários estágios da urbanização implicam diferentes áreas de contribuição de sedimentos ao longo da urbanização, sendo que também as políticas de saneamento básico urbano influenciam na entrada de resíduos nos canais fluviais. Os valores referentes à quantidade de materiais tecnogênicos e naturais nos trechos fluviais da sub-bacia do Arroio Carro Quebrado se encontram na tabela 5.13.

As amostras que apresentaram os valores extremos foram a 03 e 06, com 28,25% e 5,46% de materiais tecnogênicos, respectivamente. No entanto, considerando todas as amostras estas apresentaram pouca variação ao longo da bacia, com um desvio padrão de 5,93 e uma mediana de 15,52 % (Figura 5.42).

Tabela 5.13 – Quantidade de sedimentos de leito tecnogênicos e naturais no Arroio Carro Quebrado

Amostras	Área de drenagem (km ²)	Sedimentos naturais (%)	Sedimentos tecnogênicos (%)
01	9,75	83,76	16,24
02	9,24	81,98	18,02
03	9,07	71,75	28,25
04	6,17	88,50	11,50
05	5,79	89,31	10,69
06	0,89	94,54	05,46
07	0,86	80,58	19,42
08	1,49	88,99	11,01
09	2,24	82,00	18,00
10	1,72	85,20	14,80
Máximo		94,54	28,25
Mínimo		71,75	5,46
Média		84,66	15,34

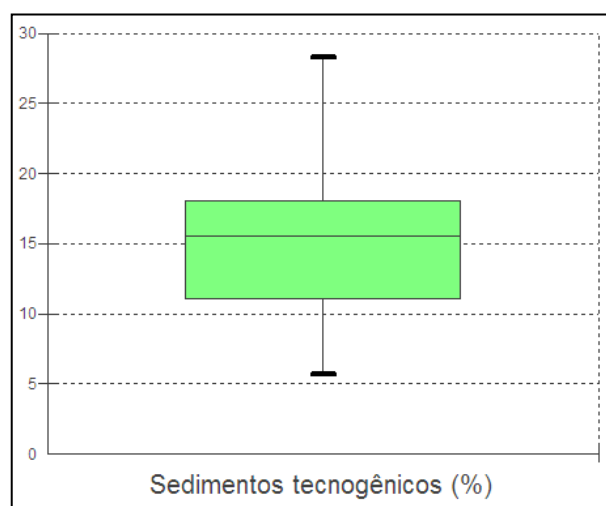


Figura 5.42 – Distribuição em porcentagem dos sedimentos de leito tecnogênicos

5.2.3. Arroio do Engenho

A sub-bacia Arroio do Engenho é ocupada na maior parte por áreas urbanas, que potencializa alterações nos seus processos naturais. O setor de montante apresenta amplas

áreas urbanizadas com significativas alterações morfológicas do canal fluvial. Os trechos fluviais têm sido modificados por meio do acúmulo de resíduos antropogênicos líquido/sólidos no canal. Dessa maneira as características quali-quantitativo dos sedimentos e da água têm sido modificadas em relação as suas características naturais.



Figura 5.43 – Locais descarte de efluentes e retenção de materiais tecnogênicos
Foto do autor (abril de 2011)

Na figura 5.43 é possível observar a presença de resíduos antropogênicos que ficam retidos ao longo das margens e leitos, e a ligação de rede coletora de esgoto doméstico diretamente no arroio. Os depósitos de resíduos são comuns ao longo de todo o trecho do arroio, sendo que em várias seções fechadas a capacidade do canal tem diminuído sua capacidade total, devido o acúmulo de resíduos antropogênicos.

Em conversa com os moradores é comum os relatos de alagamentos e de ligações de esgotos diretamente no canal, segundo eles decorrente da precária infraestrutura básica de saneamento.

Na figura 5.44 tem-se a percentagem de sedimentos de leito tecnogênicos e naturais de cada seção ao longo do curso fluvial do Arroio do Engenho.

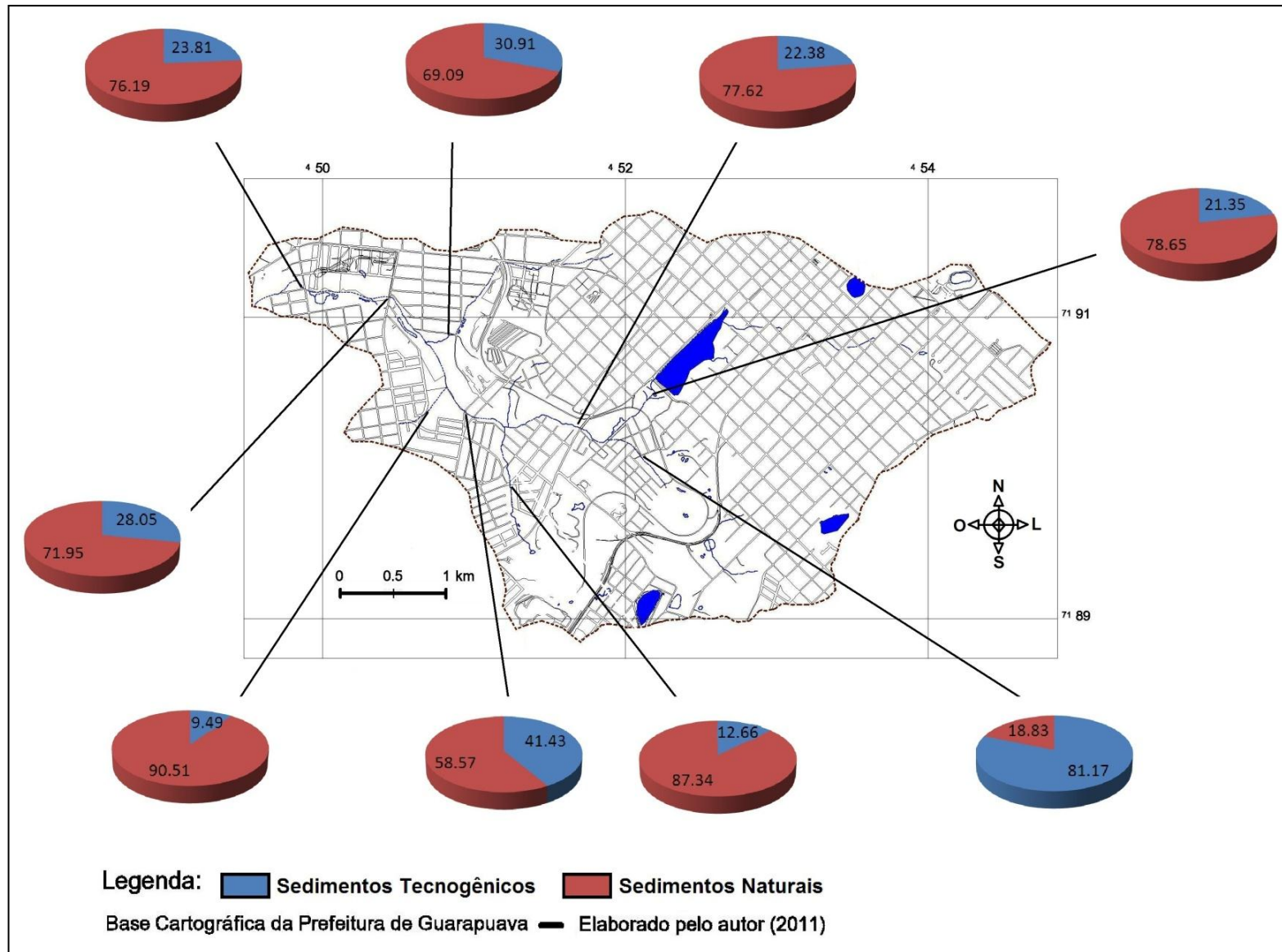


Figura 5.44 – Localização e tipos de sedimentos de leito na sub-bacia do Arroio do Engenho

A quantidade de materiais tecnogênicos não apresentou correlação com a área de drenagem dos pontos nos trechos fluviais onde foram amostradas, como mostra a figura 5.45.

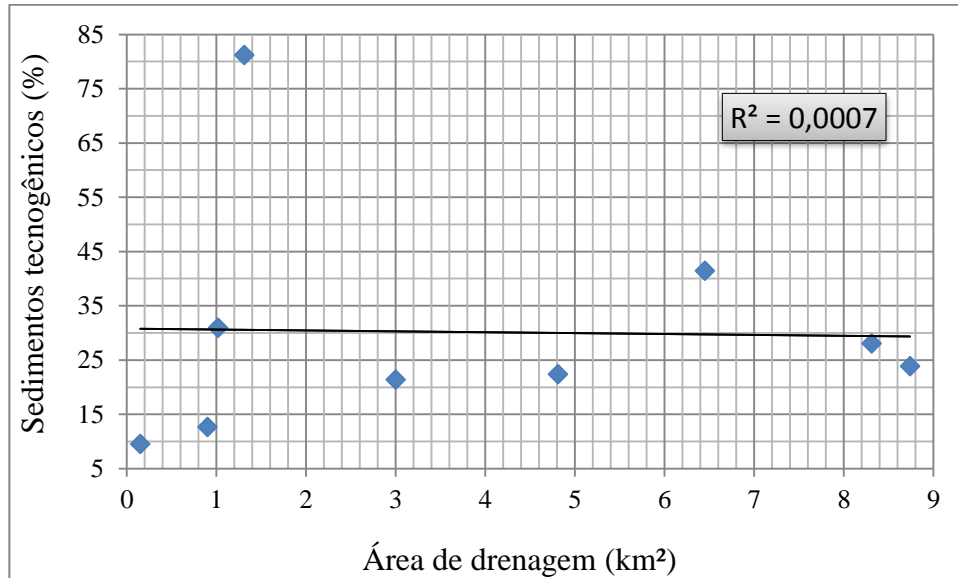


Figura 5.45 – Relação entre a quantidade de materiais tecnogênicos e a área de drenagem

Portanto, pode-se considerar que as áreas de contribuições de materiais tecnogênicos no canal são dispersos, não sendo possível afirmar que determinado trechos tem maior representatividade de contribuição de materiais tecnogênicos no arroio.

Das três bacias urbanas avaliadas, a sub-bacia Arroio do Engenho foi a que apresentou os maiores valores de materiais tecnogênicos no material de leito, com uma mediana de 23,81%. Além dos significativos percentuais, essa sub-bacia foi a que apresentou maior desvio padrão, com um valor de 20,12%.

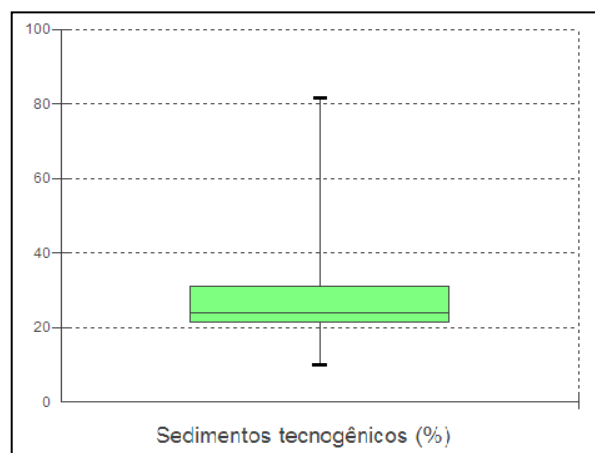


Figura 5.46 – Distribuição em porcentagem dos materiais tecnogênicos nas amostras

A amostra 08 apresentou uma taxa expressiva de materiais tecnogênicos, ou seja, 81,17% (Figura 5.46), que pode estar associado a um trecho próximo a ponto de descarte de resíduos antropogênicos. A tabela 5.14 mostra os valores referentes à quantidade de materiais tecnogênicos e naturais coletados na sub-bacia Arroio do Engenho.

Tabela 5.14 – Quantidade de materiais tecnogênicos e naturais

Amostras	Área de drenagem (km ²)	Sedimentos naturais (%)	Sedimentos tecnogênicos (%)
01	8,74	76,19	23,81
02	8,31	71,95	28,05
03	1,02	69,09	30,91
04	0,15	90,51	9,49
05	6,45	58,57	41,43
06	0,90	87,34	12,66
07	4,81	77,62	22,38
08	1,31	18,83	81,17
09	3,00	78,65	21,35
	Máximo	90,51	81,17
	Mínimo	18,83	9,49
	Média	69,86	30,13

5.2.4. Discussão geral dos resíduos tecnogênicos

Todas as sub-bacias urbanas estudadas apresentaram taxas médias e medianas de materiais tecnogênicos, acima dos 15%, de um total de 32 amostras de sedimentos de leito coletadas nos trechos fluviais. Estes dados evidenciam uma grande quantidade de resíduos antrópicos que estão sendo inseridos ao longo dos leitos e margens dos canais urbanos em Guarapuava. A figura 5.47 mostra a percentagem (média e mediana) de materiais tecnogênicos, onde é possível notar que a sub-bacia do Arroio Carro Quebrado apresenta uma distribuição mais homogênea das amostras coletadas, ao passo que as sub-bacias Barro Preto e do Engenho apresentam maior disparidades nas quantidades de materiais tecnogênicos ao longo do perfil longitudinal do curso fluvial.

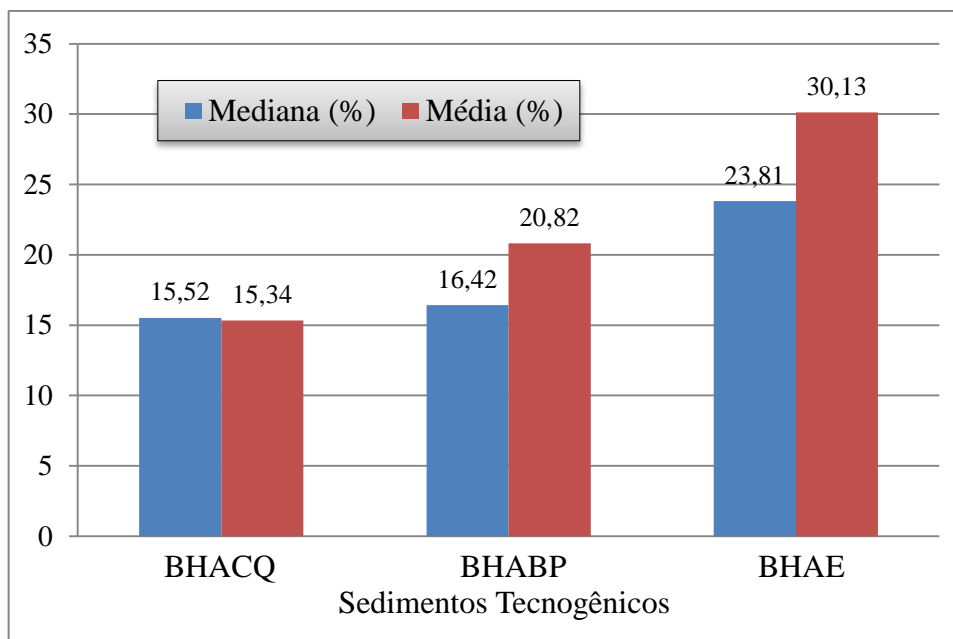


Figura 5.47– Mediana e média da taxa de materiais tecnogênicos nas sub-bacias urbanas

Apesar de haver algumas amostras com percentagem díspares, os valores de materiais tecnogênicos ficaram concentrados por volta dos 20%, com uma média e uma mediana de 21,12 e 18,01%, respectivamente (Figura 5.48 e Tabela 5.15).

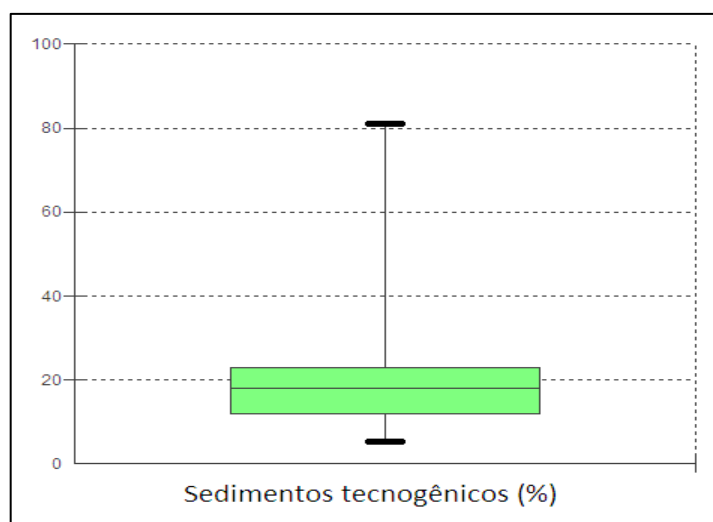


Figura 5.48 – Distribuição percentual dos materiais tecnogênicos nas sub-bacias urbanas

Tabela 5.15 - Quantidade de materiais tecnogênicos e naturais nas sub-bacias urbanas

	Sedimentos naturais (%)	Sedimentos tecnogênicos (%)
Máximo	94,54	81,17
Mínimo	18,83	5,46
Média	78,87	21,12
Mediana	81,99	18,01

Todo esse material acaba por potencializar alterações tanto na qualidade da água como nos aspectos morfológicos dos canais fluviais. Considerando as três sub-bacias urbanas, a relação entre a área de drenagem e a porcentagem de materiais tecnogênicos apresentou correlação nula com $r^2 = 0,001$, o que indica não haver pouca relação entre essas variáveis (Figura 5.49).

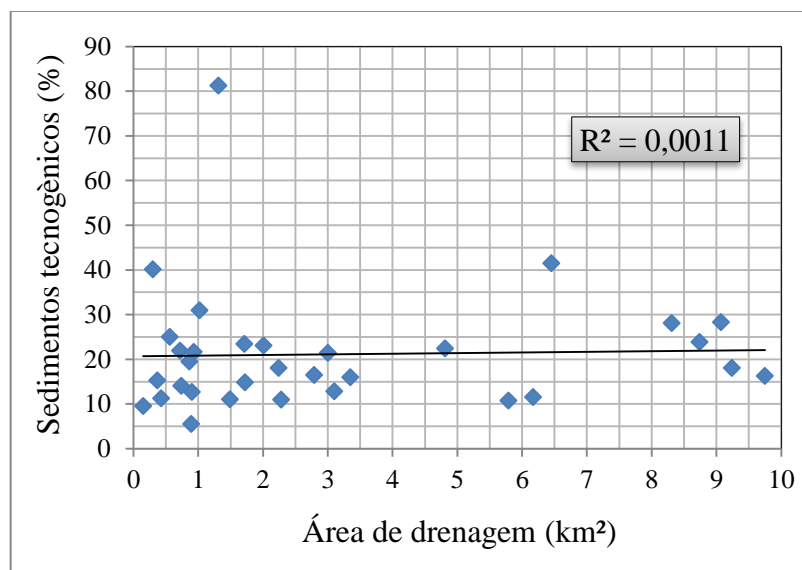


Figura 5.49 – Relação entre a quantidade de materiais tecnogênicos e a área de drenagem nas sub-bacias urbanas

Tucci (1999) aborda algumas discussões envolvendo o aumento de sedimentos e materiais sólidos em rios urbanos. Para o autor o assoreamento da drenagem, reduz a capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. Um exemplo desses impactos é a lagoa da Pampulha (Belo Horizonte/MG) que tem sido assoreado. Em Porto Alegre/RS, o Arroio Dilúvio em decorrência da pequena largura e profundidade, tem sofrido com a deposição de sedimentos e o crescimento de vegetação nos períodos de estiagem, reduzindo a capacidade de escoamento nas enchentes. Os estudos apontam que a tendência do acúmulo de sedimentos é diminuir com a urbanização, no entanto nessas áreas a produção de lixo, tende a

aumentar e acabam muitas das vezes obstruindo os canais fluviais, sendo mais críticos nos trechos canalizados.

5.3. Análise dos dados pluviométricos e fluviométricos

A partir do monitoramento das vazões diárias entre agosto de 2010 e abril de 2011, foi possível fazer algumas análises preliminares da dinâmica hidrológica nas sub-bacias Carro Quebrado e Monjolo com distintos tipos de uso do solo (urbano e rural respectivamente).

Na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado verificou-se uma antecipação da ocorrência da vazão de pico com aumento do volume de escoamento superficial e também da vazão máxima. A partir do monitoramento notou-se que a variação do nível das águas na área urbana é muito maior que na área rural. Por outro lado, a sub-bacia do Arroio Monjolo apresenta uma dinâmica de ascensão e recessão do nível d'água mais suave, com a ocorrência de picos menores que na área urbana.

Essas afirmações vêm ao encontro do que afirma Tucci (2000) sobre o comportamento do débito fluvial em ambientes urbanos, na qual se nota aumento do pico do hidrograma e do volume do escoamento superficial, além da redução no tempo de concentração.

Com o propósito de melhor analisar o comportamento dinâmico do regime fluvial nas duas sub-bacias, Monjolo (rural - 12,21- km²) e Carro Quebrado (urbano – 9,74 km²) elaboraram-se os hidrogramas e hietogramas mensais da pluviosidade e da vazão diária (Figura 5.50).

O comportamento das linhas referentes à variação das vazões nas duas sub-bacias mostra claramente as alterações provocadas pela urbanização. Apesar do pouco tempo de monitoramento na sub-bacia Carro Quebrado, pode-se observar situações de risco a população que mora a poucos metros das margens do Arroio, potencializado pelo aumento das vazões máximas. Em conversas informais com os moradores que residem próximos à régua de monitoramento e também por meio de observações em campo, nos eventos de chuva fortes as águas normalmente extravasam o leito normal do canal chegando a atingir as casas.

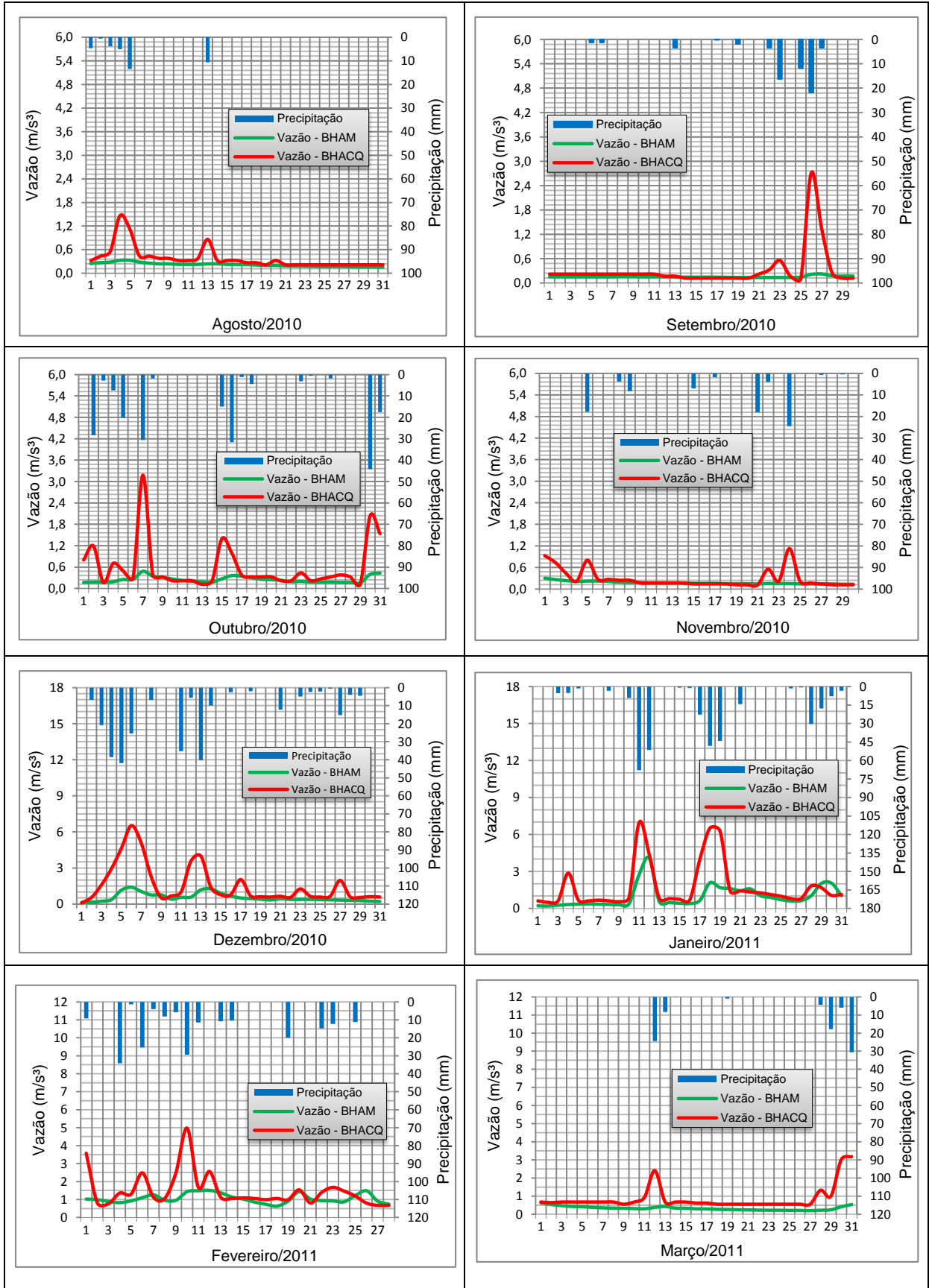


Figura 5.50 - Hidrogramas e hietogramas mensais da pluviosidade e da vazão diária

As fotos da Figura 5.51 mostram os distintos níveis da água, indo do débito de vazante até o extravasamento do leito principal do Arroio Carro Quebrado. As fotos B e C se referem a um mesmo evento de chuva que ocorreu no dia 18 de janeiro de 2011, que teve um total de apenas 22,8 mm de chuva.

É comum também a retenção de materiais tecnogênicos (galho, pedaços de madeira, móveis e outros objetos) na ponte de acesso ao CEDETEG, sendo rotina dos moradores próximos irem à ponte nos eventos de chuva retirar esses materiais para evitar entupimento e o transbordamento das águas (Figura 5.52).

Conforme ocorre a ocupação urbana, a bacia (incluindo os canais) tem suas características naturais alteradas sendo nítido em muitos casos o surgimento de áreas/eventos de riscos.

Conforme ocorre a ocupação urbana, a bacia (incluindo os canais) tem suas características naturais alteradas sendo nítido em muitos casos o surgimento de áreas/eventos de riscos. Em Guarapuava, as áreas de alagamentos comuns em períodos de chuvas concentradas foram identificadas por Amaral e Thomaz (2008), no recorte temporal de 1998 a 2006. Os autores concluíram que as áreas que mais sofrem com alagamentos rápidos são aquelas mais próximas ao centro da cidade, com extensas áreas impermeabilizadas.

Os eventos como alagamentos e inundações se tratam de uma resposta nos processos hidrológicos, que levam ao aumento dos escoamentos superficiais em virtude da

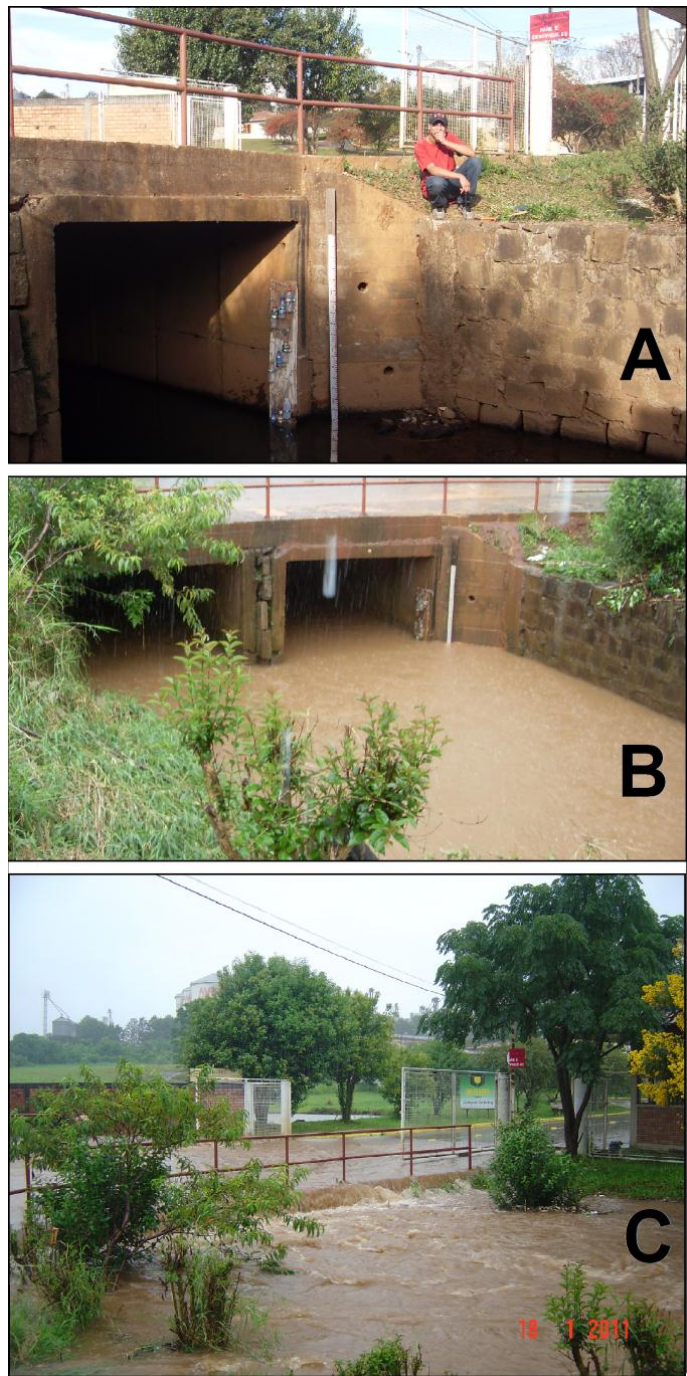


Figura 5.51 – Ponte sobre o Arroio Carro Quebrado, Rua Camargo Varela de Sá, em frente à entrada do CEDETEG.

impermeabilização e a diminuição da infiltração.



Figura 5.52 – Moradores tentando retirar galhos retidos na ponte e terreno de casa alagado

A figura 5.53 apresenta os dados de vazões acumulado nas duas estações, sendo possível observar o comportamento mais linear na área rural em comparação com a urbana, em decorrência da instabilidade do comportamento hidrológico na área urbana.

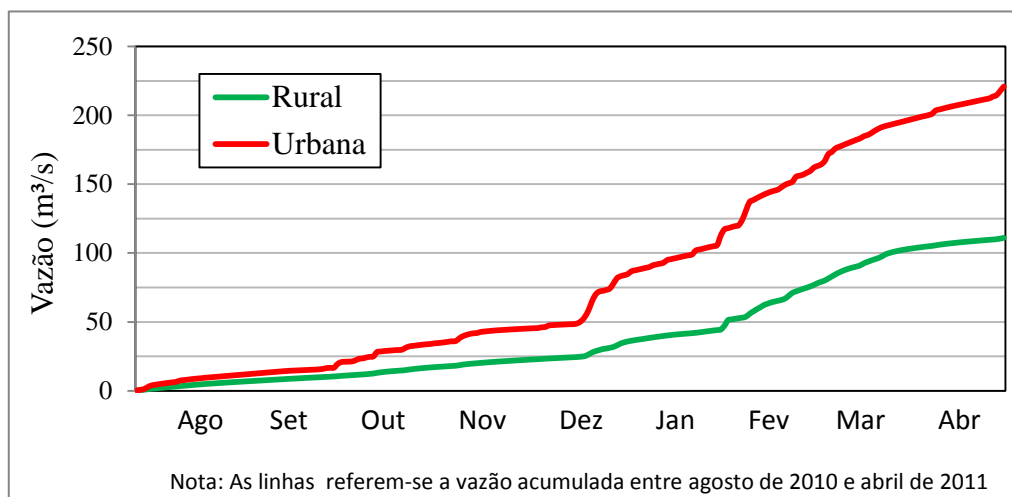


Figura 5.53 – Total das vazões acumuladas na sub-bacia urbana e rural

Comparando o comportamento das duas curvas, é possível observar a disparidade que há entre a área urbana com a rural. Esse comportamento diferente nas sub-bacias “reflete” os impactos dos tipos de uso da terra, urbana e rural (agricultura, pastagens e capoeirões). Essa comparação foi feita pelas características geológicas das duas sub-bacias serem

semelhantes, apresentarem áreas de drenagem com pouca diferença de tamanho e localizarem-se próximas uma da outra.

Os dados de precipitação e vazão de todo o período de monitoramento estão apresentado no gráfico da figura 5.54. A vazão mediana diária da sub-bacia Carro Quebrado foi de $0,553 \text{ m}^3/\text{s}$ e da sub-bacia Monjolo de $0,251 \text{ m}^3/\text{s}$. Por meio da comparação da vazão com a área de drenagem foi determinado a vazão específica de cada sub-bacia, sendo que na BHACQ foi de $54,71 \text{ l/s.km}^2$ e na BHAM de $20,55 \text{ l/s.km}^2$. Apesar de drenar uma área menor a área urbana apresenta vazão específica bem superior a área rural. Os dados mostram que a área urbana apresentou uma vazão específica ao longo do período de monitoramento cerca de 2,66 vezes a vazão da área rural. Esses valores confirmam os vários trabalhos que mostram nas zonas urbanas maiores taxas de escoamento superficial e menores perdas de águas pelos processos de evapotranspiração.

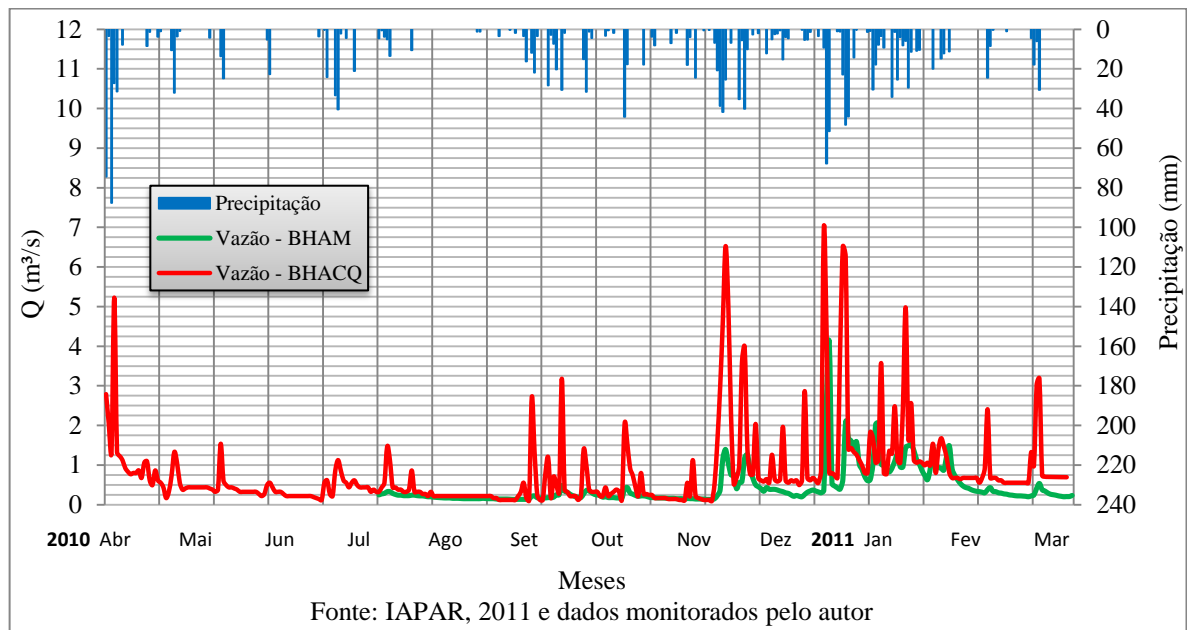


Figura 5.54 – Hidrográfico e hietográfico das sub-bacias Monjolo e Carro Quebrado de abril de 2010 a março de 2011

Só para efeito de comparação a vazão média estimada pelo Instituto de Águas do Paraná em bacias (menores de 5000 km^2) com série histórica de 10anos foi de $28,00 \text{ l/s.km}^2$ (AGUASPARANA, 1985), valor um pouco acima da determinmada na sub-bacia Monjolo. Esses valores podem estar relaciado ao pouco tempode monitoramento condicionando pouca representatividade do regime fluvial da região, contudo são mensuração que devem continuar, sendo os primeiros estudos da área.

Pela análise da Figura 5.54 é possível observar que as vazões máximas são maiores na área urbana, o que condiciona maior energia no fluxo fluvial potencializando alteração na

geometria dos canais. A ocorrência de vazões maiores leva o canal fluvial a buscar um novo ajuste morfológico a fim de acomodar essas magnitudes de vazões, sendo dessa maneira as propriedades geométricas da seção transversal ampliadas pela dinâmica fluvial nos trechos urbanos. Essa discussão pode ser mais bem entendida nas análises dos dados da geometria hidráulica, onde se notou a capacidade das seções abertas urbanas muito maiores que as seções abertas rurais.

As análises feitas são ainda preliminares e necessitam da continuação do monitoramento dos dados pluvio-fluviométricos e uma redução no intervalo de monitoramento, em virtude da resposta hidrológica ser mais rápida na área urbana. Na BHRC como um todos os dados de vazão são escassos sendo essa discussão o resultados dos primeiros estudos na área. O presente estudo, é um trabalho piloto de um projeto maior sobre a dinâmica hidrológica do Rio Cascavel, onde foi instalado recentemente uma estação fluviosedimentológica.

Na figura 5.55 têm-se um perfil transversal do Rio Cascavel, próximo a sua foz onde foi medido a vazão com uma ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) adquirida juntamente com a estação. A ADCP é um instrumento para medição de vazão, com grande precisão, qualidade e quantidade nas informações por ele oferecidas em tempo real. O perfil se apresenta num padrão típico onde se tem um talvegue bem definido no meio da seção. Os pixels mostrando a velocidade do fluxo mostra claramente as cores mais quentes que corresponde a maiores velocidades localizadas na parte central do perfil. O perfil apresentou uma largura de 13,5 metros, área de 11,1 m² e vazão de 1,07 m³/s, sendo esta mediação realizada em 29/04/2011 num período de estiagem.

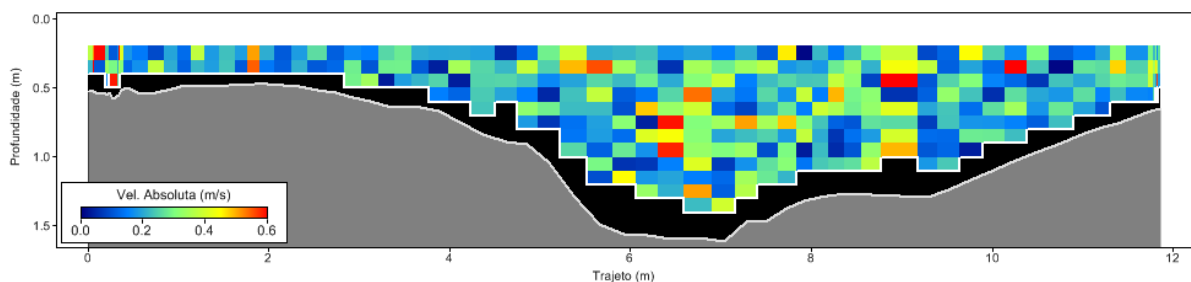


Figura 5.55 – Perfil transversal no setor inferior do Rio Cascavel traçado pela ADCP

5.4. Expansão da área urbana e de seções canalizadas

Por meio da perspectiva histórica, foram obtidos valores para o contínuo crescimento das áreas urbanizadas e as seções transversais fechadas em Guarapuava. Essas modificações ao longo das encostas e no canal fluvial potencializam profundas alterações na dinâmica

hidrológica das sub-bacias. Drew (1994) salienta que o processo urbano diminui a capacidade de armazenamento no solo e incrementa por meio da impermeabilização do solo, o comportamento da água superficial. Em Guarapuava no início do século XX (1910) as áreas urbanizadas se resumiam em 1,7 km² ocupando apenas 2,1% da BHRC, sendo menor a “pressão” sobre os recursos hídricos. No entanto, a área urbana sofreu uma expansão considerável na segunda metade do século XX, sendo ampliados os impactos urbanos.

Passados 100 anos já em 2010, a BHRC apresentava cerca de 32,24 km² da sua área total (cerca de 81 km²) ocupadas pela cidade de Guarapuava que equivale aproximadamente 40% da área da bacia. A figura 5.56, 5.57 e a tabela 5.16 apresentam os dados da expansão urbana de Guarapuava nos últimos cem anos (entre 1910 e 2010).

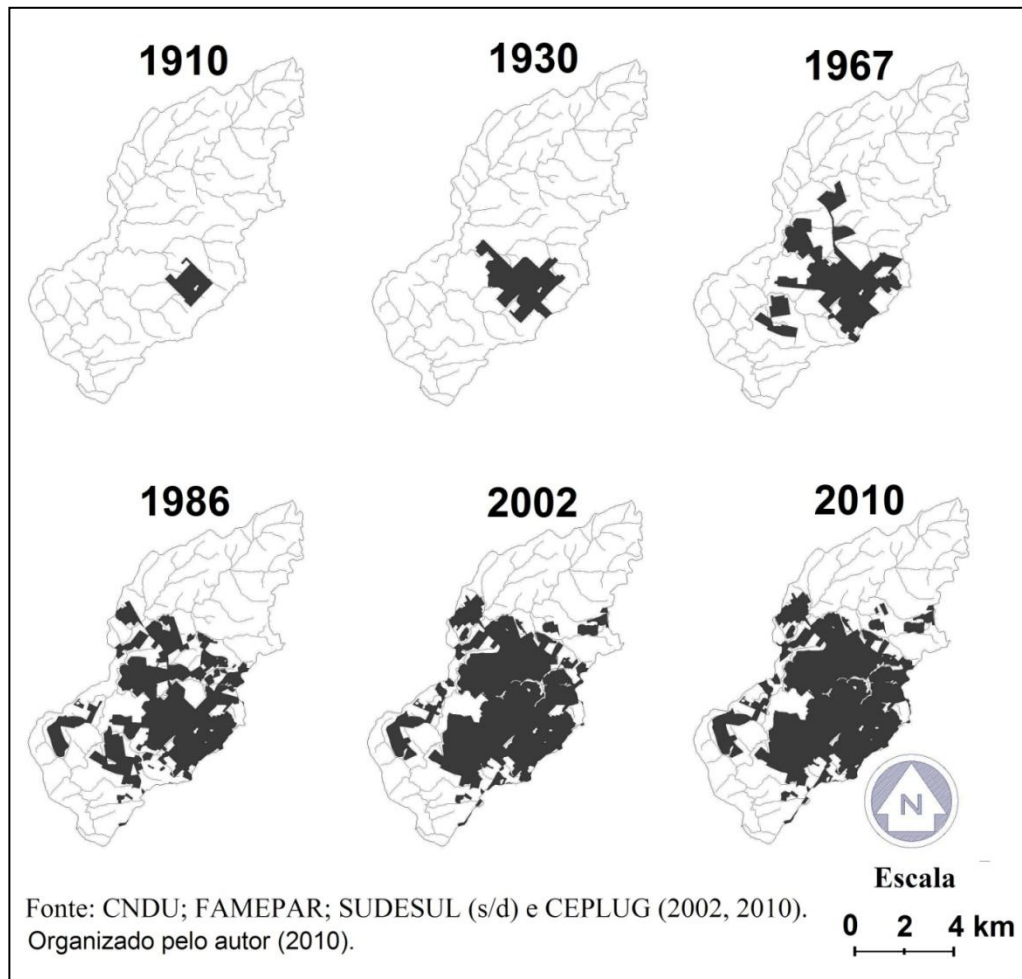


Figura 5.56 – Expansão urbana de Guarapuava na BHRC

Os dados acima mostram a taxa do crescimento da expansão urbana em Guarapuava, que tem favorecido alterações dos sistemas naturais ao longo das encostas e trechos fluviais. As áreas urbanas se referem aos locais onde estão instalados ruas, casas e edifícios, e que tem

consequentemente favorecido alterações na estrutura dos solos como a impermeabilização e a compactação.

Com o desenvolvimento urbano há um incremento de infraestrutura como as obras de engenharia ao longo dos canais fluviais (pontes e canalizações). As pontes criam zonas de seções fechadas, alterando a geometria dos trechos onde são construídas. A própria percepção do rio e sua importância vêm sendo esquecida pela população, sendo que no trabalho de campo a pergunta rotineira da população era: o rio vai ser canalizado?

A tabela 5.16 mostra os dados da expansão urbana na BHRC e o incremento de seções transversais interceptadas seja por ruas ou trechos canalizados, nas sub-bacias: BHACQ, BHABP e BHAE.

Tabela 5.16 – Expansão urbana e aumento de interceptação do arruamento no canal fluvial

Ano	km ²	%	Interceptações fluviais por ruas*
1910	1,70	2,10	23
1930	5,58	6,89	45
1967	12,11	14,95	71
1986	22,43	27,69	112
2002	31,27	38,60	138
2010	32,24	40,00	152
Área total	81,03	100,00	-

Nota: * os dados se referem números aproximados das interceptações fluviais por arruamentos, com base nos mapas de 1910, 1930, 1967, 1986, 2002, 2010 e a carta topográfica de 1980.

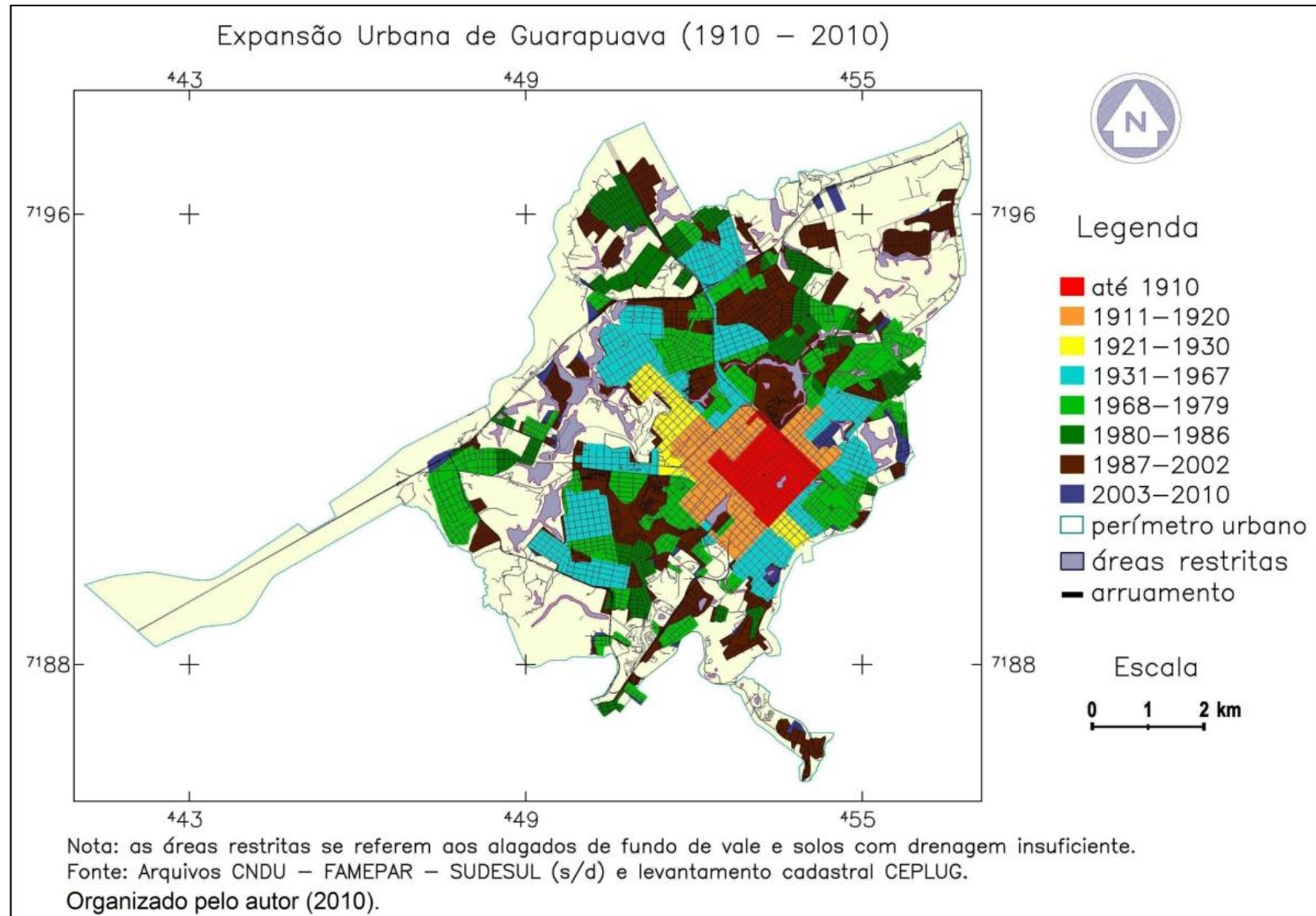


Figura 5.57 - Expansão físico-territorial urbana de Guarapuava (1910-2010)

O aumento das seções canalizadas pode ser visualizado espacialmente pela reconstituição das redes de drenagem com seções transversais abertas nas sub-bacias urbanas na figura 5.58.

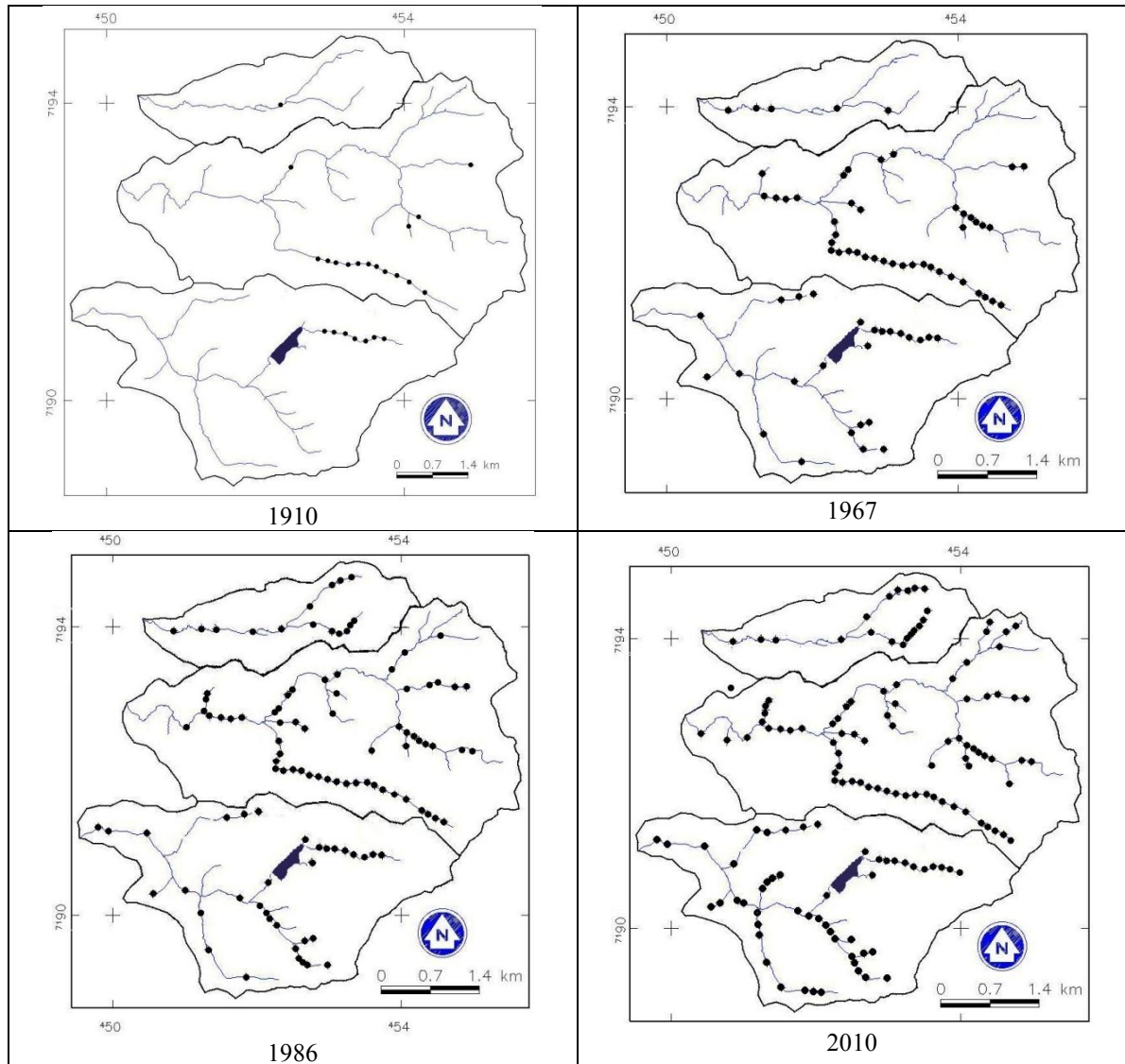


Figura 5.58 – Modificações na rede de drenagem das três principais sub-bacias urbanas de Guarapuava (1910-2010), onde os pontos assinalados indicam cobertura da rede de drenagem por ruas

As alterações na rede de drenagem tiveram início, já na instalação no núcleo central da cidade, com o cobrimento de trechos principalmente dos Arroios Carro Quebrado e do Engenho, para a instalação do arruamento. Vários canais de primeira ordem apresentam as áreas de nascentes urbanizadas e/ou semi-urbanizadas, em decorrência da contínua instalação de estruturas de engenharia em vários trechos dos canais. Pelos mapas da figura 5.54 é possível observar que principalmente a partir da segunda metade do século passado é que

ocorreu o maior incremento de seções canalizadas, o que reflete o incremento populacional urbano em Guarapuava. Com o adensamento urbano, atualmente vários trechos fluviais das sub-bacias correm em subsuperfícies, devido à construção de casas e rios, revelando que as alterações não são apenas pontuais nas seções transversais, mas abrangem longos trechos ao longo do perfil longitudinal. Com a intenção de melhor compreender essa realidade dos trechos canalizados em Guarapuava, esses dados serão analisados a seguir a partir das mensurações feitas em campo.

5.5. Trechos fluviais canalizados

5.5.1. Arroio Barro Preto

A sub-bacia do Arroio Barro Preto apresenta amplas áreas impermeabilizadas, que tem potencializado alterações nos processos hidrológicos, e conseqüentemente mudanças na morfologia dos canais fluviais com a implantação de canalizações em vários trechos.

Na tabela 5.17 tem-se o comprimento total e a porcentagem das classes de canalização (não canalizados, canalizados – mistos e canalizados - fechados).

Tabela 5.17 - Classes de canalização na sub-bacia do Arroio Barro Preto

Classe dos trechos fluviais	Comprimento em cada trecho (km)	Percentual por trechos (%)	Percentual Acumulado (%)
Não canalizados	3,56	68,73	68,73
Canalizados – mistos	0,27	5,21	73,94
Canalizados - fechados	1,35	26,06	100,00
Total	5,18	100,00	100,00

Na sub-bacia Barro Preto a maior parte dos trechos fluviais está na classe “não canalizados” com 68,73 %. Esses trechos geralmente apresentam nas suas áreas adjacentes planícies bem desenvolvidas, ocupadas por residências próximas do canal, Ainda que esses trechos não apresentem obras de engenharia visível, é possível perceber alguns impactos decorrentes do processo de urbanização. A figura 5.59 apresenta alterações da morfologia fluvial em um trecho inferior da sub-bacia do Arroio Barro Preto.



Figura 5.59 – Alterações na rede de drenagem da sub-bacia do Arroio Barro Preto

Na figura 5.59 os pontos A' e A'' mostra o aterramento da planície para a construção de residências, além da ligação da rede de esgoto doméstico (ponto B) diretamente no arroio. O insuficiente planejamento da ocupação de áreas ribeirinhas e a instalação de residências ilegais têm potencializado os riscos, nos eventos de chuva concentrada.

A classe dos trechos fluviais “canalizados – mistos” apresentam os menores valores representando 5,21% do total. Esses se localizam em áreas densamente ocupadas, sendo os trechos mais potencias a terem a seção transversal fechada por obras de engenharia. A exemplo dos canais “não canalizados”, os trechos “canalizados – mistos” apresentam alterações nas planícies sendo que em alguns casos a estrutura de concreto da margem do canal é a mesma das edificações construídas ao lado.

Por último cabe destacar a classe dos trechos fluviais “canalizados – fechados”, que representaram 26,06 % dos canais da bacia e localizam principalmente nas áreas mais densamente ocupadas e em trechos fluviais sobrepostos por arruamentos. Nos trabalhos de campo se observou que várias pontes e dutos apresentam seções fechadas que estão parcialmente ou totalmente aterradas por entulho, sedimentos e vegetação (Figura 5.60).



Figura 5.60 – Seções fechadas com entulho e alteradas pela desestabilização do solo

A figura 5.60 mostra os dutos de uma seção fechada alterada (A', A'', A''', A''''), com entulhos e vegetação impedindo a passagem de água (B' e B'') além de barranco com indícios de processos erosivos. Em seções deste tipo durante eventos de chuva, em decorrência da baixa capacidade de escoamento fluvial da seção fechada para drenar a vazão do trecho fluvial, acabam favorecendo o represamento da água a montante da canalização e consequentemente as enchentes e inundações.

No mapa da figura 5.61 é possível observar a disposição dos trechos fluviais e suas características de acordo com as classes estabelecidas.

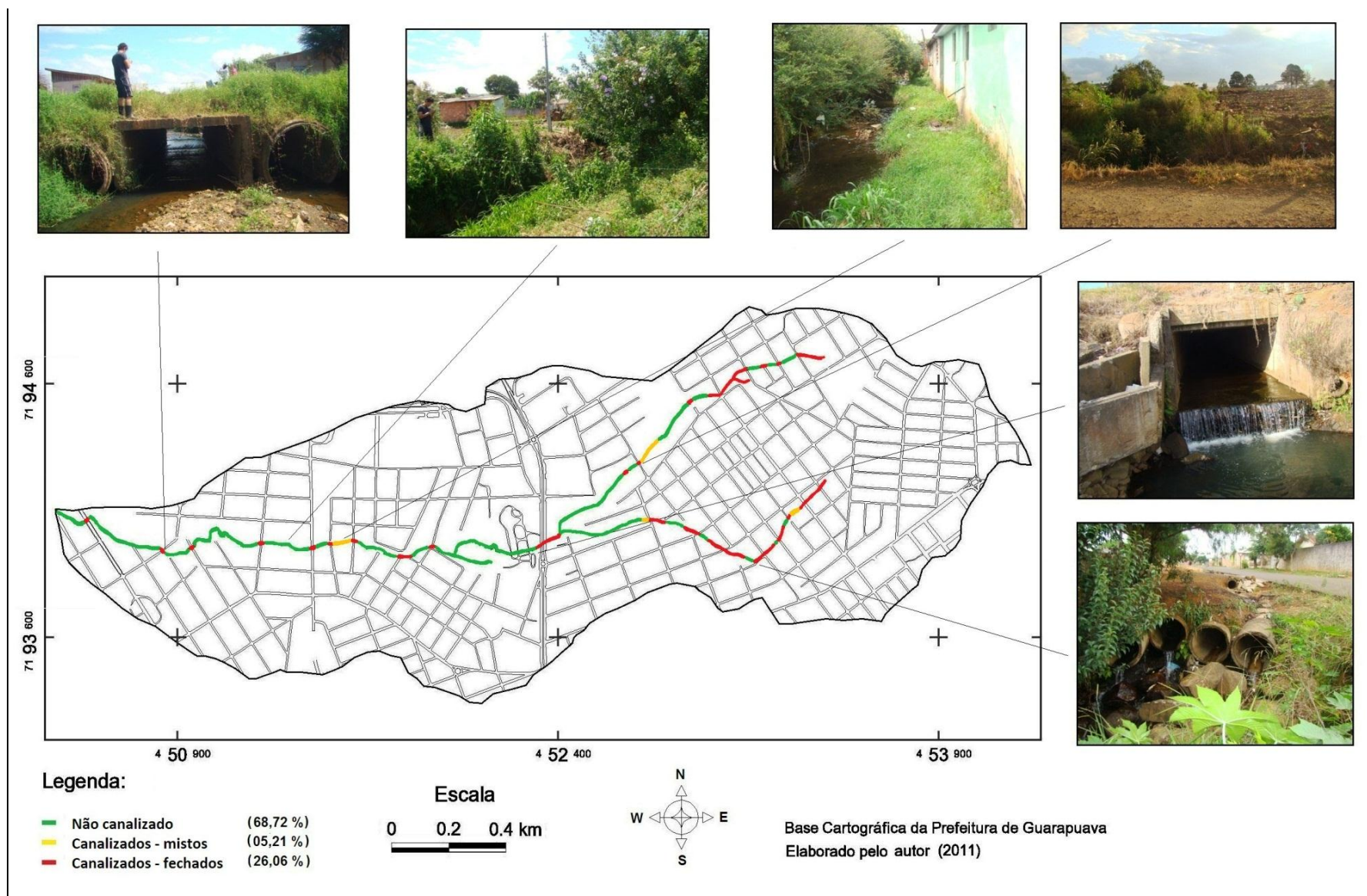


Figura 5.61 – Classes de canalização na sub-bacia do Arroio Barro Preto

5.5.2. Arroio Carro Quebrado

A sub-bacia do Arroio Carro Quebrado contém extensas áreas impermeabilizadas, com canais retificados, debaixo de pontes, galerias e ruas, desaparecendo em diversos pontos. Grande parte do centro urbano de Guarapuava está inserida na sub-bacia, apresentando locais críticos de enchentes durante as chuvas de verão, na tabela 5.18 são apresentadas as classes de canalização na área.

Tabela 5.18 – Tamanho das classes de canalização na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado

Classe dos trechos fluviais	Comprimento em cada trecho (km)	Percentual por trechos (%)	Percentual acumulado (%)
Não canalizados	13,83	74,76	74,76
Canalizados – mistos	1,33	7,19	81,95
Canalizados - fechados	3,34	18,05	100,00
Total	18,50	100,00	100,00

Pelos dados nota-se que a maior classe foi a de trechos fluviais “não canalizados” com cerca de 74,76 % da área. Esses trechos geralmente apresentam vegetação ciliar bastante alterada (quase inexistente) com as planícies ocupadas em grande parte por residências próximas do canal, além de alguns trechos em áreas úmidas que alagam nos períodos de chuvas frequentes. Apesar desses trechos não apresentarem obras setoriais, nota-se alguns impactos decorrentes do processo de urbanização, como alteração de margens, ocupações irregulares, e descarte de resíduos. A figura 5.62 apresenta alterações da morfologia fluvial em um trecho inferior da sub-bacia do Arroio Carro Quebrado.



Figura 5.62 – Modificação na rede de drenagem da sub-bacia Arroio Carro Quebrado

Pelos pontos A da figura é possível notar áreas de acúmulo de resíduos sólidos ao longo do leito e margens do arroio, já no ponto B há a instalação de uma residência a poucos metros do trecho fluvial. De maneira geral, na maior parte dos trechos fluviais os problemas continuam quase que os mesmos, sendo estando presentes resíduos poluidores no canal e a ocupação de áreas de risco.

A classe dos trechos fluviais “canalizados – mistos” apresentaram os menores valores com média de 7,19 % do total. Esses trechos fluviais predominam próximas as áreas centrais dos trechos com canalização fechada e em alguns a própria estrutura de concreto da margem do canal é a mesma das edificações construídas ao lado.

Por último cabe destacar os trechos fluviais com “canalização – fechada” que representaram 18,05 % dos canais da bacia. Eles se localizam principalmente nas áreas mais densamente ocupadas e em trechos fluviais com pontes que ligam as ruas. Vários trechos apresentam áreas totalmente impermeabilizadas que são ocupadas por residências, sendo que os rios passaram a ser considerados como simples redes pluviais de drenagem (Figura 5.63).



Figura 5.63 – Moradia construída sobre tributário do Arroio Carro Quebrado

A figura 5.63 mostra um trecho fluvial sobreposto por uma casa, representando uma área de risco significativo, haja vista a variação da vazão. No mapa da figura 5.64 é possível observar a disposição dos trechos fluviais e suas características de acordo com as classes de canalização definidas na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado.

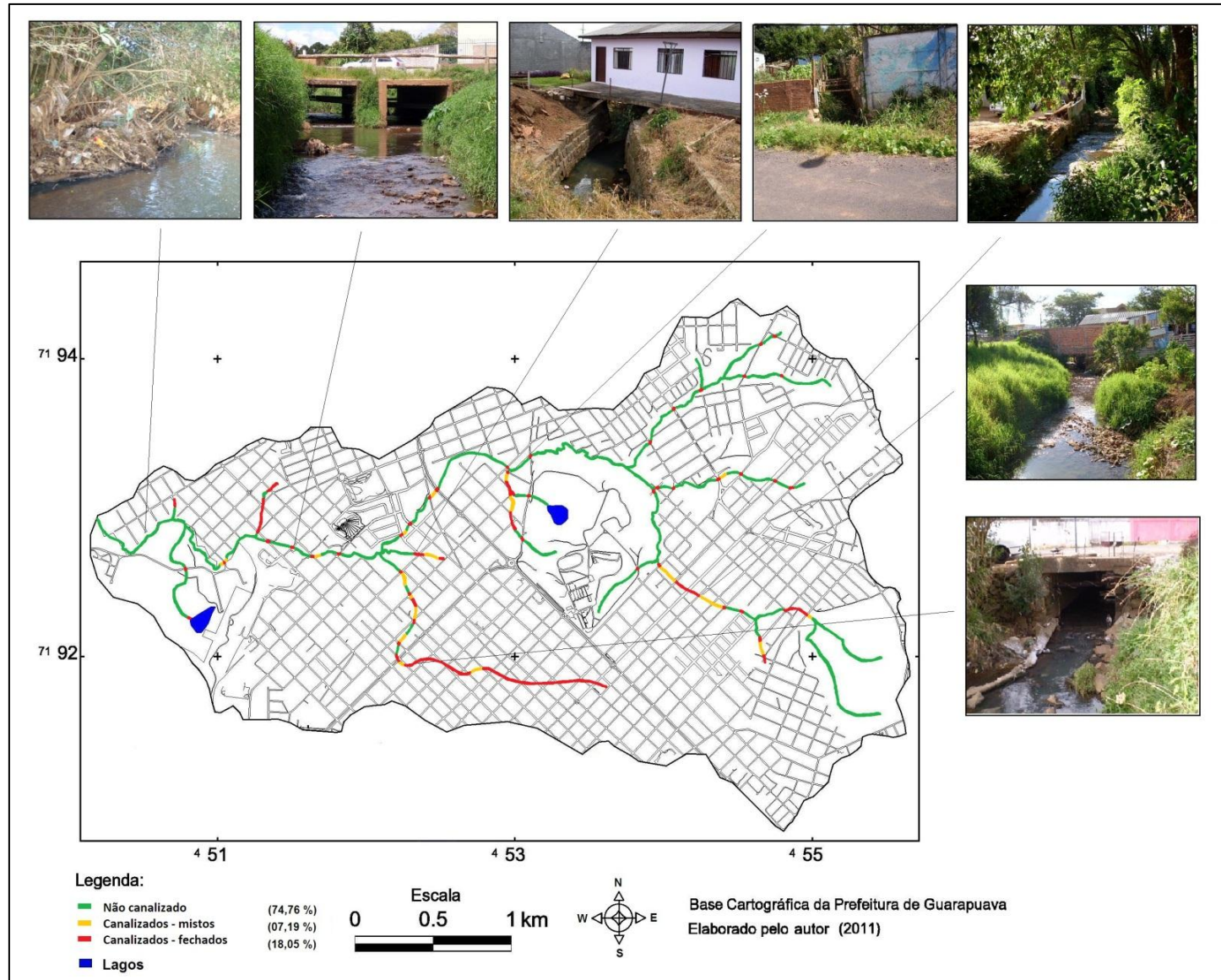


Figura 5.64 – Classes de canalização na sub-bacia do Carro Quebrado

5.5.3. Arroio do Engenho

Com grande parte urbanizada a sub-bacia do Arroio do Engenho está totalmente compreendida dentro dos limites do perímetro urbano de Guarapuava. O setor de montante desta sub-bacia é densamente urbanizado, apresentando planícies em fundos de vales com ocupações irregulares e precária infraestrutura urbana. A drenagem urbana alterou grandemente os canais, que foram canalizados em grande parte dos seus trechos, a fim de acomodar casas e ruas. A tabela 5.19 apresenta os dados referentes ao tamanho das classes de canalização.

Tabela 5.19 – Tamanho das classes de canalização na sub-bacia do Arroio do Engenho

Classe dos trechos fluviais	Comprimento em cada trecho (km)	Percentual por trechos (%)	Percentual acumulado (%)
Não canalizados	8,07	66,30	66,30
Canalizados – mistos	0,48	04,00	70,30
Canalizados - fechados	3,62	29,70	100,00
Total	12,17	100,00	100,00

Os trechos fluviais “não canalizados” corresponderam a 66,30% dos canais da área, localizando-se principalmente nas áreas menos densamente ocupadas ao longo dos setores intermediários e inferiores da sub-bacia.

Nos trabalhos de campo uma constante na sub-bacia foi à identificação de pontos de ligações de esgotos diretamente no rio. Nas áreas de periferia foi constatado que várias casas são irregulares e despejam os efluentes domésticos no próprio arroio (Figura 5.65).



Figura 5.65 – Área de despejo de efluentes

Também foram mapeados os trechos fluviais “canalizados – mistos”, que representaram cerca de 4,0% dos canais da sub-bacia. Assim como nas outras sub-bacias, esses canais situam-se de modo geral em locais que servem de limite entre a casa e o arroio, potencializando risco de alagamentos e inundações as residências ribeirinhas.

Por último cabe destacar os trechos “canalizados - fechados”, que representaram aproximadamente 29,70 % dos canais da bacia, ou seja, um índice significativo se comparado às demais sub-bacias estudadas. Nesses trechos notou-se também que várias pontes e dutos apresentam seções que estão parcialmente ou totalmente aterradas por entulho, sedimentos e vegetação.

Uma visão espacial geral da distribuição das classes de canalização da sub-bacia Arroio do Engenho é apresentada na figura 5.66.

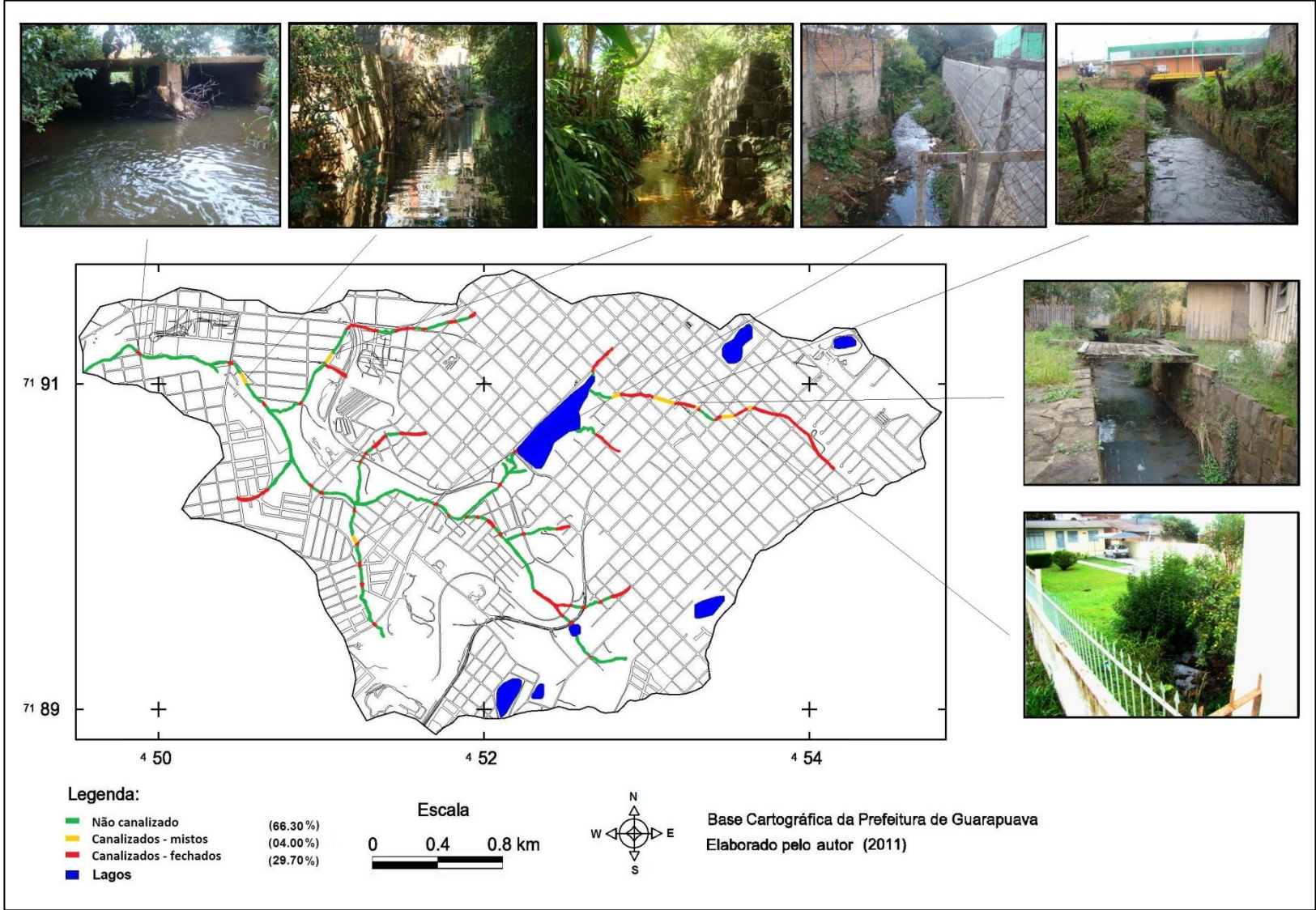


Figura 5.66 – Classes de canalização na sub-bacia do Arroio do Engenho

5.5.4. Discussão geral das classes de canalização fluvial

As obras de canalização são comuns nas áreas urbanas provocando alterações morfológicas nos canais fluviais. Na cidade de Guarapuava essa realidade não é diferente, sendo que os Arroios da área urbana têm sido canalizados, ao passo que a mancha urbana se expande. As sub-bacias dos Arroios Carro Quebrado, Barro Preto e do Engenho apresentaram significativos trechos de seus canais com obras de canalização, tanto mistos como fechados (Tabela 5.20).

Tabela 5.20 - Classes de canalização em sub-bacias urbanas de Guarapuava

	Sem Canalização (%)	Canalizados Mistos (%)	Canalizados Fechados (%)	Canalizados Mistos + Fechados (%)
BHACQ	74,76	7,19	18,05	25,24
BHABP	68,73	5,21	26,06	31,27
BHAE	66,30	4,00	29,70	33,70
Média	69,93	5,46	24,60	30,07

Contabilizados as somas das classes de canalização a BHACQ foi a que apresentou a menor proporção (25,24%) de trechos fluviais canalizados, ao passo que a BHAE apresentou a maior proporção (33,70) de trechos canalizados (Figura 5.67).

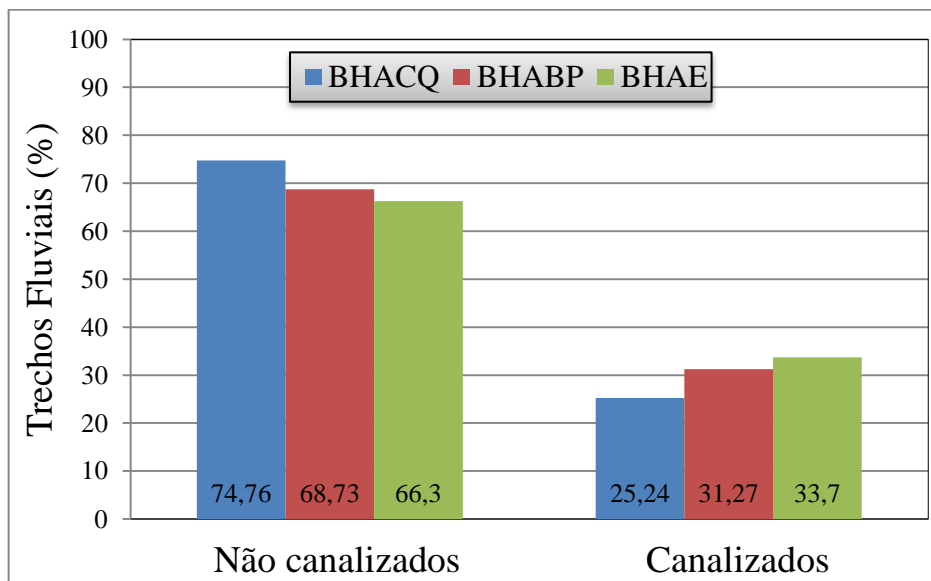


Figura 5.67 – Porcentagem de canalização nos arroio em sub-bacias urbanas de Guarapuava

Esses valores demonstram variação pouco significativa se comparado os dados mensurados nas três sub-bacias. De maneira geral, tomando uma média dos dados levantados e a representatividades dessas sub-bacias, pode-se afirmar que a área urbana de Guarapuava apresenta cerca de 30% dos seus trechos fluviais canalizados, sendo o restante representado por trechos não canalizados. Os trechos canalizados potencializam alterações morfológicas nos canais, como a artificialização fluvial (retilização), alteração da dinâmica do fluxo d'água além do assoreamento e erosões em distintos trechos dos canais.

Os trechos dos Arroios que não possuem canalização apresentam poucas áreas com vegetação ciliar, estando essas localizadas em sua maior parte em áreas de turfeiras no setor de montante da BHACQ. As áreas urbanas que possuem seções “não canalizadas” apresentam várias alterações das margens seja pela retirada de solo ou pela deposição de resíduos antrópicos ou aterramento. Nessas, há ocupação ribeirinha próxima dos Arroios, sendo que principalmente na BHAE, as residências apresentam estrutura de saneamento básico precária, tendo em alguns trechos pontos de descarga de esgoto doméstico. Os trechos fluviais canalizados também apresentam alguns problemas ambientais, sendo visível nos trabalhos de campo. Várias seções fechadas sobrepostas por ruas apresentaram acúmulo de sedimentos (tecnogênicos e naturais), e de arbustos, que tem diminuído a capacidade das seções, formando zonas de retenção de água nos eventos de chuva que vem erodindo em alguns trechos as margens e alagando as áreas adjacentes das seções. Enfim, são alguns dos principais problemas de ordem ambiental potencializados pela canalização presentes na área urbana de Guarapuava, e tem gerado prejuízos a população residente próxima aos Arroios.

Poucos trabalhos relacionados a essa temática são desenvolvidos no país, sendo importante os estudos que abordem a quantificação/espacialização da canalização a fim de contribuir com soluções aos problemas relacionados a enchentes/alagamentos, erosões e o saneamento básico.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo mostrou as modificações ocorridas em canais de três sub-bacias urbanas (Barro Preto; Carro Quebrado e do Engenho) da BHRC, por meio da comparação com as características e dinâmicas da sub-bacia rural Monjolo. As discussões foram centradas em cinco aspectos metodológicos principais sendo: mensuração dos aspectos geométricos das seções transversais abertas e fechadas; coleta e caracterização de sedimentos de leito; monitoramento do regime fluvial; identificação das classes de canalização e o mapeamento da expansão urbana de Guarapuava e das seções interceptadas por arruamento.

Nas sub-bacias urbanas foram mensuradas as propriedades geométricas das seções transversais abertas e fechada, ao passo que na sub-bacia rural foi mensurada as seções abertas. O trecho rural foi o que apresentou melhor alometria das propriedades geométricas da seção transversal, com correlações (propriedades da seção versus área de contribuição) que se mostraram positivas e com significativos ajustes no sentido de montante para jusante, e vice-versa. No entanto, os canais rurais também apresentaram algumas seções alteradas, onde se observou processos erosivos com assoreamento de leito, interferência nos canais para permitir a chegada do gado até o leito fluvial e pequenas obras setoriais como construção de barragens e represas.

Os levantamentos das propriedades geométricas dos canais urbanos evidenciaram que a urbanização tem contribuído significativamente nos impactos da morfologia dos canais fluviais, sendo observados vários trechos urbanos no sentido de montante/jusante com relações geométricas desajustadas. As mensurações de campo se dividiram nas seções abertas e fechadas na sub-bacia urbana. As relações entre as propriedades geométricas das seções abertas, no geral, mostraram-se mais ajustadas em comparação com as das seções fechadas, mas ainda assim com menores ajustes do que as seções medidas na área rural. A sub-bacia do Arroio Barro Preto foi a que apresentou os menores ajustes, com destaque para o seu trecho inferior. A sub-bacia do Arroio Carro Quebrado demonstrou correlações moderadas, no entanto ainda com várias seções desajustadas, com destaque para o baixo ajuste no tributário da margem esquerda localizado na área central de Guarapuava. Por fim cabem ressaltar a sub-bacia Arroio do Engenho que apesar de apresentar desajustes nas suas relações geométricas foi a que apresentou os melhores ajustes entre as sub-bacias urbanas estudadas. Os canais mais próximos das áreas densamente urbanizadas apresentam suas propriedades geométricas mais alteradas com seções ora com valores nas propriedades geométricas subestimados, ora

superestimados, em decorrências principalmente de obras setoriais no canal como pontes e trechos canalizados. De modo geral, tomando os valores das três sub-bacias urbanas como representativas de Guarapuava foi determinado uma média de $7,0 \text{ m}^2$ de área da Amp nos trechos urbanos, ao passo que o valor médio determinado na área rural pelo modelo empírico foi de apenas $2,33 \text{ m}^2$, o que revela uma média da área da Amp urbana três vezes maiores que a Amp rural.

Com relação às seções transversais fechadas, as sub-bacias urbanas apresentaram valores médios acima dos estimados pelo modelo empírico. A alometria das seções transversais fechadas não apresentou proporcionalidade em todas as bacias com destaque para os trechos inferiores das sub-bacias Barro Preto e Engenho. Tomando a média de todas as seções transversais fechadas mensuradas, foi determinado o valor de $4,72 \text{ m}^2$ de área de seção transversal fechada em Guarapuava, estando o mesmo $2,88$ vezes maior que a média determinada pelo modelo empírico ($1,64 \text{ m}^2$). Os dados mensurados nas três sub-bacias demonstraram de maneira geral que as áreas urbanas têm apresentado área de seção fechada maiores que nas áreas rurais o que é normal se tratando de obras de engenharia que tendem a serem superestimadas a fim de acomodar os fluxos com tempos de retorno maiores. Todavia, se observa várias seções com área similares ou até mesmo subestimadas em comparação com as seções estimadas pelo modelo empírico. Estas por apresentaram uma dinâmica hidrológica diferenciada (maior vazão máxima e específica) são áreas com potenciais de extravasamento d'água nas áreas adjacentes dos canais provocando alagamentos e inundações.

Também foram determinados alguns resultados com relação aos sedimentos tecnogênicos, estes compõem o leito dos canais e respondem aos tipos de usos e planejamento feitos no solo ao longo da bacia de drenagem. Uma constante nos levantamentos de campo foi várias seções fluviais transversais fechadas totalmente/parcialmente assoreadas por materiais tecnogênicos, que ficam retidos na vegetação e margens dos canais contribuindo na diminuição da capacidade dos canais. Além dessas peculiaridades, em todas as amostradas coletadas nas sub-bacias urbanas foi identificada a presença de sedimentos de origem antrópica, representados em sua maioria por materiais como vidros, lajotas, pedaços de concreto, telhas, brita, orgânicos entre outros. A percentagem de sedimentos tecnogênicos nas amostras apresentou pouca variação com uma mediana nas três sub-bacias entre 16 e 23%. A relação das áreas de drenagem de cada ponto amostrado com a percentagem de sedimentos tecnogênicos não apresentou correlação. Portanto conclui-se que o descarte indevido de

resíduos urbanos ao longo das encostas e nos canais fluviais; a falta de manutenção das seções fechadas tem contribuído para a descaracterização fluvial, potencializando alteração na qualidade da água e na hidrologia.

As análises das vazões são ainda preliminares e necessitam da continuação do monitoramento dos dados pluvio-fluviométricos nas sub-bacias rural e urbana. No entanto, já permitem afirmar algumas hipóteses elaboradas no início da pesquisa. Na sub-bacia do Arroio Carro Quebrado as vazões de pico têm sido antecipadas e são maiores do que as encontradas na sub-bacia rural. Por outro lado, a sub-bacia do Arroio Monjolo apresenta uma dinâmica de ascensão e recessão do nível d'água mais suave, sem a ocorrência de picos de vazão tão acentuados nos eventos de chuvas concentradas. As vazões máximas são maiores na área urbana, o que condiciona maior energia no fluxo fluvial potencializando alteração na geometria dos canais. A vazão mediana diária da sub-bacia Carro Quebrado (urbana) foi de 0,553 m³/s e da sub-bacia Monjolo de 0,251 m³/s. Apesar de drenar uma área menor a área urbana apresenta vazão específica bem superior a área rural. A vazão específica na BHACQ foi de 54,71 l/s.km², enquanto, na BHAM de 20,55 l/s.km². Os dados mostram que na área urbana a vazão específica, ao longo do período de monitoramento foi superior em cerca de 2,66 vezes a vazão específica na área rural. Tanto o volume, quanto a ocorrência de vazões maiores levam o canal fluvial a buscar um novo ajuste morfológico a fim de acomodar essas magnitudes de vazões, sendo dessa maneira as propriedades geométricas da seção transversal ampliadas.

Ao longo dos trechos urbanos nota-se também a presença de canalização que está intimamente relacionada com a expansão urbana de Guarapuava, sendo que as três sub-bacias urbanas apresentaram trechos de rio canalizados. A sub-bacia do Arroio Barro Preto têm mais de trinta e um por cento dos trechos fluviais canalizados, sendo que em vários pontos podem-se constatar seções fechadas obstruídas e assoreadas que denotam a inexistência de manutenção periódica. No Arroio Carro Quebrado as seções fechadas perfazem cerca de 25,24 %, com destaque para o principal tributário da margem esquerda que está quase em sua totalidade canalizado. Por fim o Arroio do Engenho é o que apresenta as maiores porcentagem de trechos canalizados com um total de quase 34% dos trechos fluviais. De maneira geral, constatarem-se várias seções mistas que estão associadas a paredes das moradias ao longo dos arroios, além de casas que foram construídas em cima dos canais, ou seja, em áreas de riscos. Contabilizados todos os trechos fluviais urbanos de Guarapuava, os mesmos encontram-se

numa média com cerca 30% de seus trechos canalizados, com alterações morfológicas que refletem na dinâmica dos fluxos. Várias seções transversais fluviais fechadas sobrepostas por ruas apresentam área de drenagem subestimada, além de um grande número delas estarem obstruídas, pelo acúmulo de sedimentos (tecnogênicos e naturais), e de vegetação, diminuindo a capacidade de escoamento fluvial e favorecendo zonas de retenção de água durante eventos de chuva.

Tendo em vista os resultados da pesquisa, sugere-se que estudos futuros continuem analisando a dinâmica hidrológica e a geomorfologia fluvial, assim como que viabilizem ações que venham minimizar os problemas ambientais, tais como:

- a) Continuidade do monitoramento do regime fluvial, uma vez que são fundamentais para os estudos envolvendo a dinâmica fluvial e os problemas potencializados em áreas urbanas.
- b) Intervenção por parte do poder público nos trechos urbanos onde os canais estão subestimados, o que potencializa a ocorrência de alagamentos e inundações induzidos pelos impactos urbanos.
- c) Reconstituição das áreas marginais com ocupações irregulares, por meio da instalação de parques arbóreos nas áreas ribeirinhas, com o intuito de conservar a zona ripária e oferecer oportunidades de áreas de lazer.
- d) Realizar a remoção da população das áreas ribeirinhas dos cursos fluviais,
- e) Implementar uma coleta de resíduos sólidos (lixo) eficiente e periódica.
- f) Instalar estações de monitoramento de qualidade da água com o propósito de identificar os locais mais críticos quanto à poluição de forma contínua.
- g) Avaliar a rede de esgoto, não só identificando a rede atual, como a rede clandestina, e promover soluções junto aos órgãos públicos.
- h) Reestruturar trechos fluviais com seções transversais (prioritariamente as fechadas)

desajustadas, a fim de minimizar as ocorrências de alagamentos e cheias que ocorrem em decorrência das seções subestimadas.

- i) Promover projetos de recuperação dos canais como uma alternativa de planejamento e gestão do espaço urbano.
- j) Elaborar projetos ambientais de sensibilização da população local sobre a importância da conservação e preservação dos ambientes fluviais.
- k) Realizar estudos futuros que avaliem a expansão das áreas impermeáveis na BHRC e seu efeito na dinâmica dos processos hidrológicos.
- l) Envolver nos novos estudos, além dos aspectos físicos, os fatores econômicos, sociais, culturais e políticos que integram a dinâmica ambiental.

7. REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial. 2003, p. 160.
- ALLAN, J. D. **Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters**. Londres: Chapman & Hal, 1995, p. 389.
- AMARAL, A. A.; THOMAZ, E. L. Identificação de Áreas de Alagamento na Cidade de Guarapuava, Paraná: no período de 1998-2008. In: GOMES, M. F. V. B.; HAURESKO, C.; BORTOLI, C. (org.) **Cidade, cultura e ambiente: sob a perspectiva geográfica**. Guarapuava: Ed. UNICENTRO. 2008, p. 181-202.
- AGUASPARANA, Instituto de Águas do Paraná. **Vazões médias em pequenas bacias, 1985**. Disponível em: < <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/mp14.pdf> > Acesso em: 25 de mai de 2011.
- ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2007, p. 320.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1998, p. 332.
- BENETTI, A.; BIDONE, F. O Meio Ambiente e os Recursos Hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**, UFRGS, ABRH, EDUSP. Porto Alegre. 2001, p. 849-875.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Cárstico estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais: fundamentos geológicos, geográficos, alteração química e física das rochas, relevo e dômico**. Florianópolis: EDUFSC. 1994, p. 425.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 jan. 1997.
- BRASIL. Resultado do Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) de 2010. Governo Federal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 04 nov. 2010.
- BROOKES, A. **Channelized Rivers: Perspectives for Environmental Management**. Wiley-Intercience. 1998, p. 326.
- CÂMARA, A. S.; FERREIRA, F.; CASTRO, P. Spatial simulation modelling. In: FISCHER, M., SCHOLTEN, H. J., UNWIN, D. (eds), **Spatial Analytical Perspectives on GIS**. London: Taylor & Francis. 1996, p. 201-212.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM. 1994, p. 372.
- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto. 1991, p. 147.
- _____. **Geomorfologia**. [?], 2001. Disponível em: < www.funape.org.br/geomorfologia > Acesso em: 10/2010.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional. 2003, p. 174.

CASTRO, L. M. A. **Proposição de indicadores para avaliação de sistemas de drenagem urbana**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2002.

CAVIGLIONE, J. H. et al. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina : IAPAR, 2000. 1 CD.

CHARLTON, R. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. Madison Avenue, New York. 2008, p. 243.

CHIN, A. Urban transformation of river landscapes in a global context. **Geomorphology**, n° 79. 2006, p. 460-487.

CHOCAT, B. et al. Toward the Sustainable Management of Urban Storm-Water. **Indoor and Built Environment**. n° 16. jun. de 2007, p. 273-285.

CHRISTOFOLETTI, A. Morfologia de bacias de drenagem. **Not. Geomorfol**. n° 18. 1978, p. 130-132.

_____ A análise de Bacias Hidrográficas. In: CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia** 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 1980, p.102-127.

_____ **Geomorfologia Fluvial: o canal fluvial**. v. 01, São Paulo: Edgard Blucher, 1981, p. 313.

_____ Impactos no meio ambiente ocasionados pela urbanização tropical. In: SOUZA, M. A.; SANTOS, M.; SCARLATO, F. C.; ARROYO, M. (org.). **Natureza e Sociedade de hoje: uma leitura geográfica**. 3ª ed. São Paulo: HUCITEC. 1997, p. 244.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo: Ática, 1995. p. 94.

CUNHA, S. B. Morfologia dos Canais Urbanos. In: POLETO, C. (org.) **Ambiente e Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH. 2008, p. 329-356.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1996, 372 p.

CICCO, V.; ARCOVA, F. C. S. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo: **Scientia Forestalis**, n° 56, 1999. p. 125-134.

DARBY, S. E. Effect of riparian vegetation on flow resistance and flood potential. **Journal of Hydraulic Engineering**. v. 125. n° 5, may de 1999, p. 443-454.

DIAS-OLIVEIRA, E. et al., Aspectos Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava – PR. In: V SIMPÓSIO PARANAENSE DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 2010, p.36-51, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: UTFPR, 2010. 1 CD-ROM.

DREW, D. **Processos Interativos Homem-Meio-Ambiente** (tradução João Alves dos Santos). 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1994.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water in Environmental Planning**. San Francisco, W. H. Freeman Co. 1978, p. 818.

ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS**. 116 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Meteorologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Pamital, Paraná**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

FERNANDEZ, O. V. Q. Determinação do nível e da descarga de margem plena em cursos fluviais. **Boletim de Geografia**, Universidade Estadual de Maringá (UEM), nº 21. 2003, p. 97-109.

_____. Relações da geometria hidráulica em nível de margens plenas nos córregos de Marechal Cândido Rondon, região oeste do Paraná. **Geosul**, Florianópolis, v. 19, nº. 37. 2004, p. 115-134.

_____. Relações preliminares da geometria hidráulica regional para rios das regiões Oeste e Sudoeste do Estado do Paraná. **GEOgraphia** (UFF), v. 11. 2009, p. 89-103.

_____. Determinação da descarga dominante em estações fluviométricas das regiões Oeste e Sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.11, nº.1. 2010, p. 69-74.

FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP. The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Stream corridor restoration: principles, processes and practices. **Federal agencies of the US gov't**. Disponível em: <http://www.nrcs.usda.gov/technical/stream_restoration/>. Acessado em fev. de 2011.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais (REA)** v. 10, nº. 1. 2008, p. 49-64.

GIRALDO, F. et al., **Urbanización para el desarrollo humano: Políticas para un mundo de ciudades**. UN-Habitat, Bogotá, 2009, 504 p.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Identificação dos riscos. **Revista Emergência**, ed. 25 fev/mar de 2011, [?].

GOMES, M. F. V. B. **Trajatória Ambiental de Guarapuava: leituras da paisagem**. 344 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2009.

GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.(org.) **Impactos ambientais urbanos do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2006, p. 189-248.

GRISON, F. **Geometria Hidráulica de Bacias Hidrográficas Paranaenses**. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

GUERRA, A. J. T. **Dicionário Geológico Geomorfológico**. 8ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446 p.

- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand. Brasil, 2009. p. 472.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 192.
- GREGORY, K. J.; PARK, C. Adjustment of River Channel Capacity Downstream From a Reservoir. **Water Resources Research**, v. 10. 1974, p. 870-873.
- GREGORY, W.V. et al. An ecosystem perspective of riparian zones. **Bioscience**, 41(8). 1991, p. 540-551.
- HARMAN, W. A. et al. Bankfull hydraulic geometry relationships for North Carolina streams. *Journal of the American Water Resources Association*. v. 39. jun. de 2007. p. 861-871.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. Am. Bull.** v. 56, nº 3. 1945, p. 275-370.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Médias históricas em estações do **IAPAR**. Estação Guarapuava período de 1976 a 2009. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Guarapuava.htm>, acesso em 28 de dez. de 2010.
- JARAMILLO-VILLA, U. **Efeito da retificação de rios sobre as taxocenoses de peixes: estudo em rios costeiros de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Programa de Pós-Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.
- KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: **Anais ... I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias**. Universidade Federal de Santa Catarina: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Alfredo Wagner. 2003, p. 01-13.
- KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos hídricos e saneamento**. 1ª ed. Curitiba: Organic Trading. 2008, 160 p.
- LIMA, A. G. **Controle geológico e hidráulico na morfologia do perfil longitudinal em rio sobre rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral no Estado do Paraná**. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2009.
- LIMA, W. P. Função Hidrológica da Mata Ciliar. In: BARBOSA, L. M. (coord.) In: **Anais ... Simpósio sobre Mata Ciliar**. Campinas: Fundação Cargill. 1989, p. 25-42.
- LEOPOLD, L. B. **Environmental Impact of Oil Development, Northern Alaska**, U.S. Department of the Interior, Washington. 1968, p. 66.
- _____ The Sediment Size that Determines Channel Morphology. In: BILLI, P. et al., (ed.) **Dynamics of Gravel-bed Rivers**. John Wiley and Sons. 1992, p. 297-311.
- _____ Flood Hydrology and the Floodplain. In: WHITE, G. F.; MYERS, M. F.; (ed.), **Coping with the Flood: The Next Phase**, Water Resources Update, Spring issue. 1994, p.11-15
- LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T. **The hydraulic geometry of stream channels and some**

physiographic implications. United States Geological Survey, Prof. Paper. 1953, p. 56.

LOBODA, C. R. **Práticas Socioespaciais e Espaços Públicos em Guarapuava-Pr.** 352 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

LUCAS, L. M.; CUNHA, S. B. Rede de drenagem urbana em área tropical: mudanças na morfologia do canal e níveis de poluição das águas – Rio dos Macacos – Rio de Janeiro-RJ. **Revista GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n° 22. 2007, p. 39-64.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná.** 2ª ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná. 1981, p. 450.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1995, p. 23-50.

MARTIN, W. D. et al. Channel-Forming Discharge Selection in River Restoration Design. **Journal of Hydraulic Engineering.** v. 133, n°. 7. jul. de 2007, p. 831-837.

MINERAIS DO PARANÁ. **Geologia de planejamento: Caracterização do Meio Físico da Área Urbana de Guarapuava.** Curitiba: MINEROPAR. 1992. [?].

_____. **Atlas geológico do estado do Paraná-PR.** MINEROPAR, Curitiba, 2001. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, C. A. F. **O clima da Região Sul: Geografia regional do Brasil.** Tomo I. cap. III. Biblioteca Brasileira, IBGE, 1963. [?].

NARDY, A. J. R. et al., Geologia e Estratigrafia da Formação Serra Geral. **Geociências.** v. 21. n°1/2. São Paulo: UNESP. 2002, p.15-32.

NAVRATIL, O. et al., Determination of bankfull discharge magnitude and frequency: comparison of methods on 16 gravel-bed river reaches. **Earth Surf. Process. Landforms.** v. 31. 2006, p.1345-1363.

NETTO, O. M. C. **Técnicas de Minimização da Drenagem de Águas Pluviais: Gerenciamento do Saneamento em Comunidades Organizadas.** São Paulo, 4 e 5 de maio de 2004 (aula sobre drenagem urbana ppt). Disponível em: <[www.etg.ufmg.br/tim2/aula drenagem.ppt](http://www.etg.ufmg.br/tim2/aula_drenagem.ppt)>. Acesso em fev. de 2011.

OLIVEIRA, A. M. S.; QUEIROZ NETO, J. P. Q. Depósitos tecnogênicos induzidos pela erosão acelerada no Planalto Ocidental paulista. **Boletim Paulista de Geografia.** 1994, p. 91-123.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH. 2001, p. 628.

PELOGGIA, A. U. G. A ação do homem enquanto ponto fundamental da geologia do Tecnógeno: proposição teórica básica e discussão acerca do caso do município de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências.** n°. 27(3). 1997, p. 257-268.

- PERES, C. K. et al., Diagnóstico da qualidade da água do rio Cascavel, município de Guarapuava, Estado do Paraná. v. 4 nº 1. **Revista Ambiência**: Ed. UNICENTRO, Guarapuava, jan/abr. 2008, p. 25-35.
- PETTS, G. E.; AMOROS, C. **Fluvial Hydrosystems**. London: Chapman & Hall. 1996, p. 307.
- PICKUP, G.; WARNER, R. F. Effects of hydrologic regime on magnitude and frequency of dominant discharge. **Journal of Hydrology**, nº. 29. 1976, p. 51-75.
- PINHEIRO, M. V. **Avaliação técnica e histórica das enchentes em Itajubá - MG**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2005.
- PRANDINI, F. L. et al., Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica. In: II Congresso Brasileiro de Florestas Tropicais. Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 18-24 de julho. 1976. **Anais** Mossoró/RN. 1976.
- KELLER, E. A. Hydrology and human use. In: CHARLES, E. **Environmental Geology**. Merril Publishing Company. 1981, p. 227-270.
- REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (ed.) **Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora Distribuidora de Livros. 2000, p. 807.
- RICHARD, G. A. **Quantification and prediction of lateral channel adjustments downstream from cochiti Dam, Rio Grande, NM**. Ph.D Dissertation (Department of Civil engineering Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 2001, p. 276.
- RILEY, S. J. Comparison of morphometric measures of bankfull. **Journal of Hydrology**, v. 17. 1972, p. 23-31.
- ROSGEN, D.L. **Applied River Morphology**. Michigan: Wildland Hydrology. 1996. p. 350.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8. 1994, p. 63-74.
- ROSSATO, M. S.; BASSO, L. A. SUERTEGARAY, D. M. A. Formação de Depósitos Tecnogênicos em Barragens. O caso da Lomba do Sabão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**, Universidad de Barcelona, Vol. VII, nº 407, 30 de octubre de 2002. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-407.htm>>. Acessado em out/2010.
- SANTOS, G. F.; PINHEIRO, A. Transformações Geomorfológicas e Fluviais Decorrentes da Canalização do Rio Itajaí-Açu na Divisa dos Municípios de Blumenau e Gaspar (SC). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 3, nº 1. 2002, p. 1-9.
- SANTOS, I. et al., **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. 2001, p. 372.
- SÃO PAULO. Hidrologia e Hidráulica: conceitos básicos e metodologias. In: DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA (Estado de São Paulo). **Guia Prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. Secretaria de Estado de Energia,

Recursos Hídricos e Saneamento, São Paulo, 2005. [?].

SCHMIDT, L. P. **A (re) produção de um espaço desigual: poder e segregação socioespacial em Guarapuava (PR)**. 281 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

SILVA, J. M. **Valorização fundiária e expansão urbana recente de Guarapuava-PR**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1995.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa. 2003, p. 320.

SILVA, M.; SALDAN, P. C. Poder e propriedade da terra em Guarapuava-PR. In: XV SEMANA DE GEOGRAFIA, 2006, Guarapuava. **Anais ...** Guarapuava: UNICENTRO, 2006. 1 CD-ROM.

SILVA, R. C. V.; MASCARENHAS, F. C. B.; MIGUEZ, M. G. **Hidráulica Fluvial**. 2ª ed. v.1, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. 2007, 306 p.

SPÓSITO, M. E. B. **Capitalismo e urbanização**. São Paulo: Contexto. 1988, p. 80.

STEFENON, D. L. **Colônia vitória: Territorialidade e Segregação**. 76 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia). Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava. 2003.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed Geomorphology. **American Geophysical Union Transactions**. v. 38 (6). 1957, p. 912-920.

SUGUIU, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2ª ed. Florianópolis: Ed. UFSC. 1990, p.183.

TEODORO, V. L. et al., O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista do Centro Universitário de Araraquara**. nº. 20. 2007, p. 137-156.

THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. **Aspectos climáticos de Guarapuava-PR**. Guarapuava: UNICENTRO. 2003, p. 106.

TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (ed.) **Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora Distribuidora de Livros. 2000, p. 475-508.

_____ **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: ABRH. 2000, p. 943.

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

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (org.) **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH. v. 9. 2003, p. 348.

VESTENA, L. R.; CHECCHIA, T.; KOBİYAMA, M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia Regional Conference on Geomorphology, 6., 2006, Goiânia. **Anais ...** vol. II, Goiânia: União

da Geomorfologia Brasileira / International Association of Geomorphologists, 2006. 1 CD-ROM.

VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças na Rede de Drenagem Urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.) **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. – 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2006, p.111-145.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1975, p.245.

ZAKIA, M. J. B. **Identificação e Caracterização da Zona Ripária em uma Microbacia Experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas**. 99 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.

WESCHE, T. A. Stream channel modifications and reclamation structures to enhance fish habitat. In: GORE, J. A. (ed.) **The Restoration of Rivers and Streams: Theories and Experience**, chapter 5. Boston: Butterworth Publishers. 1985, p. 103-163.

WILLIAMS, G. P. Bankfull discharge of rivers. **Water Resources Research**, 14(6). 1978, p. 1141-1154.

WOLMAN, M. G. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. **Geografiska Annaler**, v. 49, nº 4/2. 1967, p. 385-395.

WOLMAN, M. G.; LEOPOLD, L. B. **River flood plains: some observations on their formation**. United States Geological Survey Professional Paper 282-C, 1957, 107 p.

WOLMAN, M.; SCHICK, A. P. Effects of construction on fluvial sediment: urban and suburban areas of Maryland. **Water Resources Research** 3 (2). 1967, p. 451-464.