

**ANDREA SARTORI JABUR**

**ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS DECORRENTES DE MUDANÇA DO USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO LIGEIRO,  
PATO BRANCO - PR.**

**Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Florestal. Área de Concentração: Conservação da Natureza.**

**Orientador:**

**Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi**

**CURITIBA**

**2010**

Ficha catalográfica elaborada por Tania de Barros Baggio – CRB 760/PR

Jabur, Andrea Sartori.

Alterações hidrológicas decorrentes de mudança do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do alto Rio Ligeiro, Pato Branco – PR / Andrea Sartori Jabur.- 2010.

178f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 05/07/2010

Inclui bibliografia

Área de concentração: Conservação da Natureza

1. Ligeiro, Rio, Bacia. 2. Água - Qualidade. 3. Solo - Uso- Paraná. 4. Cursos de água - Fluxo - Modelos matemáticos. 5. Teses. I. Rizzi, Nivaldo Eduardo, 1954-. II. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

CDD – 551.483

CDU – 556.511

**Dedico este trabalho aos meus pais Issa e Elair pelo incentivo primordial aos estudos e ao meu noivo Romulo, que sempre apoiou meu crescimento profissional.**

Água mole em pedra dura, tanto bate que até que fura (Provérbio Popular).



## AGRADECIMENTOS

Ao professor Nivaldo Eduardo Rizzi, pela paciência e compreensão e por sempre achar que eu ficava chateada pelas correções da Tese.

Ao meu amigo professor José Ilo Filho, que foi fundamental nos trabalhos de campo, auxiliando nas coletas de amostras, para a realização deste trabalho.

Ao meu amigo professor Daniel Carvalho Granemann, que sempre estava disponível para as dúvidas de cartografia e na utilização do programa *AutoCad*. Ao meu amigo professor Ney Lyzandro Tabalipa, que ajudou na identificação dos solos da região de Pato Branco.

As minhas amigas professoras Elizangela Marcelo Siliprandi e Heloiza Piassa Benetti que iniciaram em conjunto a batalha de estudos voltados a doutorado e a minha amiga Macilânia Dartora pelas conversas voltadas ao rio Ligeiro. Agradeço aos professores do Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Maringá, em principal ao professor Edson Ikeda, que sempre auxiliou nas dúvidas de qualidade de água.

Aos meus cunhados Ingrid Ruiz Gasparini e Marcelo Jarenko, que sempre mantiveram a sua residência aberta para minhas idas e vindas a Curitiba. Ao meu irmão Rodrigo, pelo auxílio de pesquisa voltado a parte histórica da cidade de Pato Branco. As minhas irmãs Simone e Danielle que sempre tiveram contato com a pesquisa.

Agradeço ao Laboratório LAQUA e a coordenadora Simone Beux e a estagiária Roberta pelo auxílio nas análises de água. A IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) pelas informações obtidas de clima da cidade de Pato Branco. Ao aluno de Engenharia Civil Clóvis Padoan Filho, por ceder suas fotos e também no auxílio dos dados de precipitação e ao aluno de Tecnologia em Gestão de Obras Douglas Strapassoni pela montagem do coletor de amostras de águas.

Também para a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) de Curitiba e de Pato Branco, que sempre estiveram abertas para repassar as informações. Ao ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências) que repassou as imagens aéreas de 1980 da região de Pato Branco.

Para a UTFPR- Pato Branco pelo apoio da qualificação profissional. Aos professores que sempre estavam disponíveis a substituir as aulas e aos alunos de engenharia civil o qual tiveram que suportar uma professora atarefada.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Tipologia dos canais.....	24
Figura 2. Padrões de drenagem. ....	26
Figura 3. Exemplo de delimitação topográfica.....	27
Figura 4. Esquema simplificado do ciclo hidrológico.....	30
Figura 5. Localização da bacia do rio Ligeiro.....	53
Figura 6. Bacia Hidrográfica do rio Ligeiro.....	54
Figura 7. Delimitação da bacia hidrográfica. ....	55
Figura 8. Gráfico da precipitação anual (milímetros).....	59
Figura 9. Mapa de solo.....	60
Figura 10. Mapa Fitogeográfico do Paraná.....	61
Figura 11. Floresta ripária do rio Ligeiro em área rural.....	63
Figura 12. Processo erosivo das margens e formações de pequenas bacias.....	64
Figura 13. Áreas de preservação permanente nas margens dos rios.....	64
Figura 14. Imagem aérea 1980.....	68
Figura 15. Uso do solo de 1980.....	69
Figura 16. Imagem aérea 2008.....	70
Figura 17. Uso do Solo de 2008.....	71
Figura 18. Pontos de coleta de amostra de água do Rio Ligeiro.....	73
Figura 19. Pontos de coletas de amostras para qualidade de água.....	74
Figura 20. Fluxograma para análise da qualidade da água.....	76
Figura 21. Coleta das amostras de água.....	77
Figura 22. Coletores para amostragem de água superficial.....	78
Figura 23. Vazão média de longo período.....	81
Figura 24. Localização de Pato Branco em relação à Sub-bacia.....	83
Figura 25. Valores de $ML_0$ .....	84

Figura 26. Valores de $ML_1$ .	84
Figura 27. Coeficiente de variação das vazões médias diárias.	85
Figura 28. Ordem dos rios.	87
Figura 29. Fator de forma para diferentes bacias.	89
Figura 30. Fluxograma para o estudo da Curva Número.	93
Figura 31. Ábaco triangular para a classificação do grupo hidrológico de solo.	95
Figura 32. Rua Tapajós, que mantêm o mesmo traçado atual e o rio Ligeiro.	105
Figura 33. Ano de 1947, rio Ligeiro sem a vegetação ciliar.	105
Figura 34. Década de 60, as pessoas atravessavam o rio Ligeiro com uso de pinguelas.	106
Figura 35. Bairro residencial onde o rio Ligeiro canalizado escoava por entre as residências.	108
Figura 36. Parte canalizada do rio, na área central da cidade.	108
Figura 37. Área experimental da UTFPR, tendo como fundo o rio Ligeiro.	109
Figura 38. Recuperação da nascente.	110
Figura 39. Canalização do rio em 2009.	111
Figura 40. Canalização do rio Ligeiro, em bairro residencial.	112
Figura 41. Evolução Urbana de Pato Branco.	115
Figura 42. Áreas de alagamento na baixada sul.	117
Figura 43. Canal trapezoidal localizado internamente da Sede da Unidade Regional de Pato Branco SANEPAR.	118
Figura 44. Canal em pedra aparelhada, parte da área residencial do rio Ligeiro.	118
Figura 45. Ordem da bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro.	122
Figura 46. Mapa de curvas de nível.	123
Figura 47. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica.	124
Figura 48. Curva hipsométrica da bacia hidrográfica.	125
Figura 49. Gráfico da curva de permanência para as vazões mínimas em $m^3/s$ .	137
Figura 50. Gráfico da curva de permanência para as vazões médias em $m^3/s$ .	138
Figura 51. Gráfico da curva de permanência para as vazões máximas em $m^3/s$ .	138

Figura 52. Equação da curva de permanência para as vazões mínimas. ....	139
Figura 53. Equação da curva de permanência para as vazões médias. ....	139
Figura 54. Equação da curva permanência para as vazões máximas. ....	140
Figura 55. Gráfico de intensidade, duração e frequência. ....	144
Figura 56. Pontos de amostragem de solos. ....	145
Figura 57. Resultados da classificação hidrológica do solo. ....	148
Figura 58. Gráfico de capacidade máxima de saturação de 1980 e 2008. ....	151
Figura 59. Capacidade média de saturação de 1980. ....	152
Figura 60. Capacidade média de saturação para 2008. ....	152
Figura 61. Mapa de capacidade máxima de saturação (S) da bacia no ano de 1980. ....	154
Figura 62. Mapa de capacidade máxima de saturação (S) da bacia no ano de 2008. ....	155
Figura 63. Gráfico da Pe para o ano de 1980. ....	161
Figura 64. Gráfico da Pe para o ano de 2008. ....	161
Figura 65. Vazão máxima $m^3/s$ do ano de 1980, considerando Td de 2 horas. ....	162
Figura 66. Vazão máxima $m^3/s$ do ano de 2008, considerando Td de 2 horas. ....	162

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Precipitação anual do período de 1979 a 2009. ....	58
Tabela 2: Esquema demonstrativo do cálculo da altitude média.....	91
Tabela 3. Evolução da ocupação urbana de Pato Branco. ....	114
Tabela 4. Distribuição da altitude de acordo com a área da bacia do rio Ligeiro. ....	121
Tabela 5. Cálculo da altitude média da bacia hidrográfica.....	124
Tabela 6. Precipitação (mm) e Temperatura (°C).....	126
Tabela 7. Resultados obtidos de vazões. ....	137
Tabela 8. Valores da intensidade pluviometria (mm/h). ....	143
Tabela 9. Capacidade de Máxima Saturação da bacia (S) nos anos de 1980 e de 2008. ....	150
Tabela 10. Precipitação Efetiva (mm) e Vazão Máxima (m <sup>3</sup> /s) pelo método de Ven Te Chow, 1980. ....	158
Tabela 11. Precipitação Efetiva (mm) e Vazão Máxima (m <sup>3</sup> /s) método de Ven Te Chow, 2008. ....	160

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Áreas do uso do solo.....	67
Quadro 2. Faixas de confiança. ....	81
Quadro 3. Classificação dos solos segundo a capacidade de infiltração (classe hidrológica)..	95
Quadro 4. Condições antecedentes de umidade. ....	96
Quadro 5. Valores de Curva Número em áreas urbanas e suburbanas.....	97
Quadro 6. Valores de Curva Número para áreas ou regiões rurais. ....	97
Quadro 7. Fator de redução do tempo de pico de vazão.....	102
Quadro 8. Valores de Z em função de Td/Tp.....	103
Quadro 9. Sistemática do método de Ven Te Chow.....	103
Quadro 10. Características da morfometria da bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro.....	120
Quadro 11. Parâmetros qualitativos da água. ....	127
Quadro 11. Parâmetros qualitativos da água. ....	128
Quadro 12. Qualidade bacteriológica da água.....	133
Quadro 13. Resultados dos indicadores de contaminação fecal.....	133
Quadro 14. Faixa de limites para a Classe 2.....	134
Quadro 15. Faixa de limites para a Classe 3. ....	134
Quadro 16. Valores de R2 na regionalização de vazões da Bacia do rio Ligeiro. ....	139
Quadro 17. Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação.....	146
Quadro 18. Uso do solo e Valores Médios de CN nos anos de 1980 e 2008.....	147
Quadro 19. Aplicação da fórmula racional tradicional de cálculo de vazão.....	156

**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

A	- Área
BMP	- <i>Best Management Practices</i>
CE	- Condutividade Elétrica
CE	- Coeficiente de Escoamento Superficial
CEHPAR	- Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza
CN	- Curva Número
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
CV	- Coeficiente de Variação
D	- Distância
D%	- Declividade
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO <sub>5,20</sub>	- Demanda Bioquímica de Oxigênio após 5 dias a 20°C
Dd	- Densidade de Drenagem
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
E	- Evaporação Física
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Es	- Escoamento Superficial
ET	- Evapotranspiração
H	- Altitude
I	- Infiltração
i	- Intensidade Pluviométrica
I	- Declividade Média do Curso D'água
IAPAR	- Instituto Agrônomo do Paraná



Ic	- Índice de Circularidade
It	- Interceptação
ITCG	- Instituto de Terras, Cartografia e Geociências
Kc	- Coeficiente de Compacidade
Kf	- Fator de Forma
L	- Comprimento
LAQUA	- Laboratório de Análise de Água e Alimentos
MMA	- Ministério do Meio Ambiente
N	- Reserva de Água
NI	- Situação de Solo Seco
NII	- Situação de Solo Úmido a Capacidade de Campo
NIII	- Situação de Solo Saturado
OD	- Oxigênio Dissolvido
P	- Perímetro
PCHs	- Pequenas Centrais Hidroelétricas
Pe	- Precipitação Efetiva
pH	- Potencial de Hidrogênio
$P_{m\acute{a}x}$	- Perdas Reais Máximas
Po	- Perdas Iniciais
Pp	- Precipitação Total
Pt	- Fósforo
Q	- Vazão
$Q_{50\%}$	- Vazão com 50% de permanência
$Q_{7,10}$	- Vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de recorrência
$Q_{90\%}$	- Vazão com 90% de permanência

Q <sub>95%</sub>	- Vazão com 95% de permanência
Q <sub>LP</sub>	- Vazão Específica Média de Longo Período
Q <sub>LP</sub>	- Vazão Específica Média de Longo Período em L/s.km <sup>2</sup>
Q <sub>p</sub>	- Vazão Específica em m <sup>3</sup> /s
q <sub>p</sub>	- Vazão Específica em L/s.km <sup>2</sup>
S	- Capacidade Máxima de Saturação
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Estado do Paraná
SCS	- <i>Soil Conservation Service</i>
SIG	- Sistemas de Informações Geográficas
S <sub>LP</sub>	- Erro Padrão
SS	- Sólidos em Suspensão
ST	- Sólidos Totais
T	- Transpiração Biológica
td	- Duração da Precipitação
Tr	- Tempo de Recorrência
UTFPR	- Universidade Tecnológica Federal do Paraná
X	- Fator de Deflúvio
X <sub>p</sub>	- Vazão Uniforme
Y	- Fator Climático
Z	- Fator de Redução do Tempo de Pico

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	XVII
<b>ABSTRACT</b> .....	XVIII
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	19
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	19
1.1.1 Objetivos Específicos .....	21
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	22
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
2.1 ASPECTOS HIDROLÓGICOS E MORFOLÓGICOS DE BACIAS .....	22
2.2 BALANÇO HÍDRICO .....	29
2.2.1 Escoamento Superficial .....	35
2.2.2 Regionalização da Vazão.....	39
2.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	40
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	52
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	52
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	52
3.2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL .....	56
3.3 CONFECÇÕES DE MAPAS .....	65
3.3.1 Materiais .....	65
3.3.1 Metodologia Aplicada .....	65
3.4 AMOSTRAGEM DA QUALIDADE DE ÁGUA.....	67
3.4.1 Materiais .....	67
3.4.2 Pontos de Coletas de Amostras de Água.....	72
3.5 CURVA DE PERMANÊNCIA .....	79
3.6 MORFOMETRIA DA BACIA .....	86
3.7 MÉTODO DA CURVA NÚMERO .....	92

3.8 CÁLCULO DA VAZÃO MÁXIMA .....	99
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	104
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	104
4.1 MODIFICAÇÃO DO ESPAÇO DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	104
4.2 MODIFICAÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO .....	111
4.3 MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	120
4.4 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA .....	125
4.5 REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO .....	136
4.6 ANÁLISE HIDROLÓGICA: CURVA NÚMERO .....	142
<b>5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	164
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	170

## RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo o estudo hidrológico da bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro, localizada na região sudoeste do Estado do Paraná, no município de Pato Branco, estudo da morfometria da bacia, da qualidade da água, das vazões de pico e da regionalização da curva de permanência. A metodologia é baseada na confecção cartográfica, com os mapas temáticos de altitude (hipsometria), drenagem e uso do solo de 1980 e 2008, bem como o levantamento histórico da ocupação da bacia. Coletou-se amostra de água superficial para classificação da qualidade da água e levantamento de campo para visualização das condições ambientais do rio Ligeiro. A regionalização da curva de permanência seguiu os procedimentos definidos pelo projeto HG-52 do Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza e a obtenção da capacidade de saturação do solo como a vazão de pico pelo método aplicado da curva número (CN) desenvolvido pelo SCS (Soil Conservation Service) e equação empírica de Ven Te Chow. Os resultados obtidos em relação a morfometria da bacia é que esta apresenta formato alongado, altitude média de 799 m e ordem 3. A qualidade da água superficial revelou-se fora dos limites da classificação segundo CONAMA 357/2005, para os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio que classificaram a água como classe 4, para fins de navegação ou paisagismo sem contato primário. Em relação a regionalização da curva de permanência, esta apresentou o resultado para  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  um valor de 6,79 L/s.km<sup>2</sup> e 4,83 L/s.km<sup>2</sup> respectivamente, e considerando a área da bacia hidrográfica, de 68,26 km<sup>2</sup>, os valores obtidos foram:  $Q_{90\%} = 0,464 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $Q_{95\%} = 0,32957 \text{ m}^3/\text{s}$  para as vazões mínimas. O aumento das áreas urbanizadas refletiu diretamente nas elevações das vazões de pico. Considerando o tempo de recorrência de 25 anos (duração da chuva de 0,3 h), a vazão de pico de 83,81 m<sup>3</sup>/s em 1980 para 98,40 m<sup>3</sup>/s em 2008, e para um tempo de recorrência de 100 anos, de 125,16 m<sup>3</sup>/s em 1980 para 151,25 m<sup>3</sup>/s em 2008.

Palavras-chave: bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro, Curva Número, Métodos para Vazões Máximas e Qualidade da Água.

## ABSTRACT

This research has focused on the hydrological study in the upper Ligeiro river watershed, located in the southwestern region of the State of Paraná, in the Pato Branco City, morphometry study of watershed, water quality, the peak flood and model remain curve. The methodology is based confection mapping, with the maps thematic of altitude, drainage and land use, by 1980 and 2008 survey historical occupation of the watershed. Collected superficial water sample for rating of water quality and field survey for visualization of Ligeiro river environmental conditions. Model remain curve staying followed the procedures defined by the project HG-52 from Central hydraulics and Hydrology Professor Parigot de Souza and obtaining the ability of soil saturation as the peak flow by method applied curve number (CN) developed by SCS (Soil Conservation Service) and empirical equation of Ven Te Chow. The results obtained for morfometric watershed is what presents elongated format, average elevation of 799 m and order 3. The quality of surface water proved to be outside the bounds of classification by CONAMA 357/2005 for the values of Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand that ranked water as class 4 for navigation purposes or landscaping without primary contact. For model remain curve, this presented for  $Q_{90\%}$  and  $Q_{95\%}$  is 6,79 L/s.km<sup>2</sup> and 4,83 L/s.km<sup>2</sup>, respectively, and considering the area of the watershed for 68,26 km<sup>2</sup>, the values obtained were:  $Q_{90\%} = 0.464 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $Q_{95\%} = 0,32957 \text{ m}^3/\text{s}$  minimum to flow. The increase of urbanized areas reflected directly in elevations of peak flows. Considering the time of the recurrence of 25 years (duration rainwater 0,3 hours), the peak flow 83,81 m<sup>3</sup>/s in 1980 to 98,40 m<sup>3</sup>/s in 2008, and for a recurrence time of 100 years, 125,16 m<sup>3</sup>/s in 1980 to 151,25 m<sup>3</sup>/s in 2008.

Key-words: Upper Ligeiro river watershed, Number Curve, Maxims Flow Methods and Water Quality.

## 1. INTRODUÇÃO

---

A evolução urbana desordenada nas bacias hidrográficas tem se historicamente caracterizado pela falta de planejamento do uso do solo e da poluição dos corpos d'águas. Esta falta de planejamento gera graves pressões sobre o ambiente, fazendo com que ocorram as degradações, sejam estas físicas ou químicas, entre os elementos terra, água e ar.

Os impactos da urbanização têm acarretados problemas sociais, como o comprometimento do abastecimento de água potável, as enchentes urbanas, a falta de gestão dos resíduos sólidos e a invasão de locais impróprios para as moradias, como as margens de rios e encostas.

A modificação das características naturais da bacia hidrográfica reflete no funcionamento do ciclo natural da água, isto é, muitas cidades apresentam altos índices de enchentes pela formação excessiva de volumes do escoamento superficial, conseqüência da redução da infiltração da chuva no solo. Este aumento ocorre pela impermeabilização do solo pelo concreto e asfalto.

A impermeabilização faz com que o volume de escoamento superficial seja cada vez maior, pois a infiltração da água pluvial é praticamente nula, diminuindo a recarga dos aquíferos em bacias urbanas. Em contrapartida, as enchentes ocorrem com mais freqüência, fazendo com que a bacia seja sensível às precipitações tanto moderadas como fracas (McCONCHIE, 1992; O'LOUGLIN et al., 1996 apud WATTS; HAWKE, 2003).

Outro fator de mudança é a qualidade superficial e subterrânea da água. A poluição hídrica advém de lançamentos de esgotos (fontes pontuais), sejam domésticos ou industriais, e

pela poluição dos escoamentos superficiais (fontes difusas), que ao passar pelo solo urbano, transporta consigo os poluentes depositados, como óleos e graxas de automóveis, lixo urbano, papéis, trapos e todo o tipo de dejetos.

Conclui-se, portanto, que os rios urbanos, recebem todas as alterações e impactos das atividades antrópicas, existindo uma necessidade de estudos voltados aos diagnósticos e planejamentos das bacias hidrográficas urbanas, com soluções de reduzir os efeitos da degradação ambiental, como na conservação de mananciais de abastecimento público e na preservação do ecossistema aquático.

É fundamental a preservação da vegetação ripária e das margens de inundação dos rios, pois ambos equilibram ecologicamente o ambiente fluvial, mantém a qualidade da água, regula a quantidade de sedimentos transportados pelo escoamento superficial e evita o processo de assoreamento dos corpos d'água.

Este estudo surgiu do seguinte exposto: como um manancial pode ser degradado e poluído pela própria população que o utilizavam? Na tentativa de responder a questão, realizou-se uma pesquisa aos acervos para identificar antigos dados de vazões, qualidade da água e projetos de canalizações e outorgas de uso. O que caracterizou-se foi a falta de informações hidrológicas locais, a perda de dados valiosos e o dificuldade em obtenção de projetos e imagens pela prefeitura local.

Foi na década de 70, que o rio Ligeiro estava em seu melhor auge, pois abastecia as casas dos patobranquenses. Atualmente passa por problemas ambientais pela falta de planejamento e manejo da bacia hidrográfica. Desde a formação da cidade de Pato Branco, a falta de consciência ambiental foi observada por registros fotográficos da época, pois mostra desde a colonização de Pato Branco, a retirada da vegetação nativa. Hoje, a cidade depende de outro manancial, o rio Pato Branco, mas a distância da captação e a falta de água que ocorre na cidade mostram que novamente a cidade não possui um planejamento ambiental.



## **1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho é a caracterização das alterações hidrológicas decorrentes das modificações de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro, localizada no município de Pato Branco, Paraná.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- 1) Caracterização da morfometria da bacia hidrográfica em estudo;
- 2) Análise da qualidade físico-química e bacteriológica da água superficial;
- 3) Determinação do uso do solo, nos anos de 1980 e 2008;
- 4) Simulação das vazões mínima, média e máxima e a obtenção da curva de permanência com uso da metodologia descrita pelo Projeto HG-52, desenvolvido pelo CEHPAR (Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza) ;
- 5) Avaliação do comportamento hidrológico pelo método da Curva Número e da vazão de pico pelo método Ven Te Chow.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

### 2.1 ASPECTOS HIDROLÓGICOS E MORFOLÓGICOS DE BACIAS

A água foi fundamental para o surgimento da vida na Terra, sendo normalmente considerado um recurso renovável. Porém os excessivos consumos humanos, industriais e agropecuários estão transformando este recurso renovável para um recurso não renovável devido à poluição dos corpos d'água, prejudicando o seu uso para o abastecimento público, industrial ou de irrigação.

Segundo Romera; Silva (2005) apud Hirikoshi; Fisch (2007), a água é um elemento vital para a vida dos seres humanos e a sua disponibilidade possibilita o desenvolvimento tecnológico e social dos países. De toda água do Planeta Terra, aproximadamente 97,3% é água salgada e apenas 2,7% é de água doce. Da água doce disponível, 77,2% se encontram em forma de gelo nas calotas polares, 22,4% se trata de água subterrânea, 0,35% se encontra nos lagos e pântanos, 0,04% se encontra na atmosfera e apenas 0,01% estão nos rios.

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água pluvial que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o exutório. É composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por

cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 2001 apud CARDOSO et al., 2006 ).

A quantidade de água que flui em uma bacia depende da sua área de influência, isto é, do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação local, das perdas devidas à evapotranspiração e infiltração (CRISTOFOLETTI, 1980).

Segundo Suguio; Bigarella (1990) descrevendo geomorfologicamente um rio é uma “corrente canalizada” ou confinada. Esta definição também se pode referir aos canais em águas em regiões de seca. Geologicamente a palavra rio é utilizada para descrever o tronco principal de um sistema de drenagem, englobando todas as descrições, considerando o rio como um corpo de água corrente confinada num canal.

De acordo com os mesmos autores, os corpos d'águas podem ser efêmeros, intermitentes ou perenes, conforme o fornecimento de água. Os rios que não são alimentados pelo lençol freático e que contem água só durante e após as chuvas, permanecendo secos a maior parte do ano, são chamados de efêmeros. Os rios intermitentes são aqueles que apresentam água em certa época do ano, e seco noutra, estes recebem fluxo de água do lençol freático. Os rios que sempre apresentam água em seu canal, mantidos por um fluxo mais ou menos estável do lençol freático, são chamados de perenes.

A configuração de um canal é geralmente descrita como retilínea, anastomosada ou meandrante (ALLEN, 1965, LEOPOLD; WOLMAN, 1964, apud SUGUIO; BIGARELLA 1990). Na mesma paisagem, estas três formas podem ocorrer associadas, como também, desta mesma maneira ocorrer em variações temporais, em um sistema pluvial, como exemplo: um canal pode ser meandrante durante os estágios de cheias e anastomosado em períodos de seca (RUSSEL, 1954 apud SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

Os canais retilíneos são relativamente pouco freqüentes quando comparado aos outros padrões. Possuem sinuosidade desprezível em relação a sua largura. Os rios anastomosados se

caracterizam por sucessivas ramificações e posteriores reencontros de seus cursos, separando ilhas assimétricas de barras arenosas. Os canais meandrantés são os canais sinuosos, formado de curvas acentuadas que ao passar do tempo formam os conhecidos meandros abandonados (ferraduras) (figura 1) (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

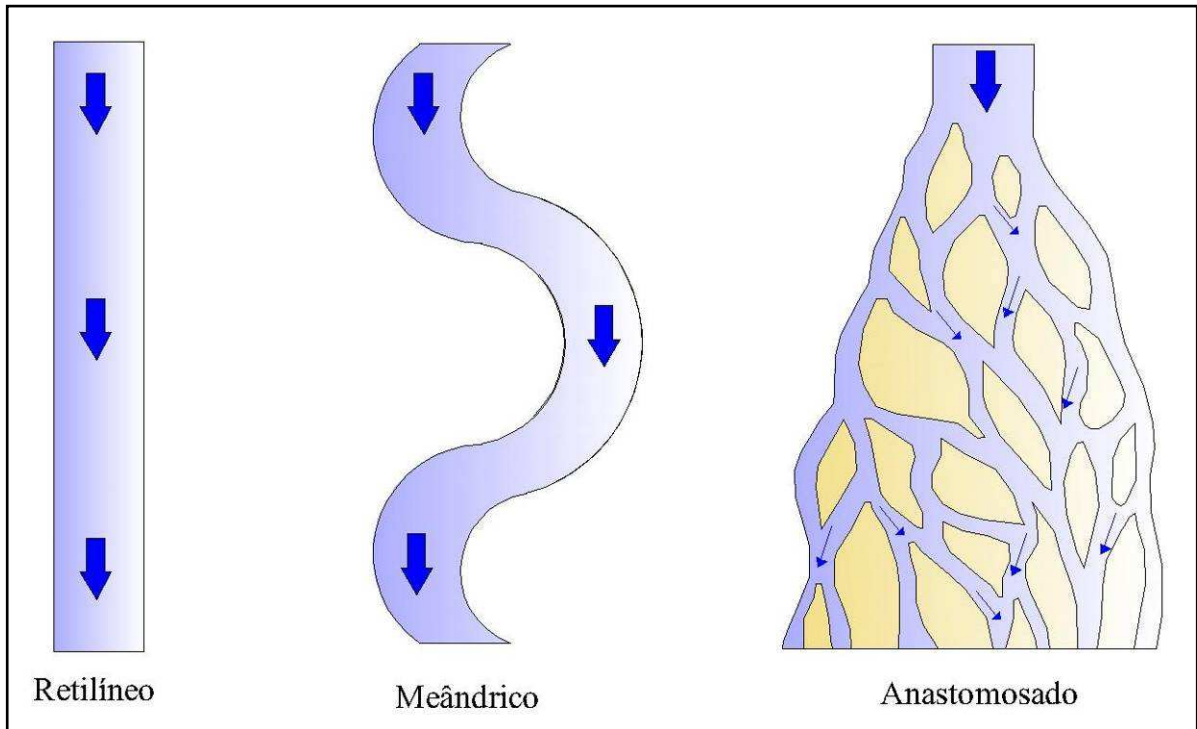


Figura 1. Tipologia dos canais.

Fonte: Modificado de CRISTOFOLETTI, 1980.

Para análise de bacias hidrográficas, é preciso expressar quantitativamente as características físicas e os processos hidrológicos. As características físicas compreendem manifestações de forma (a área da bacia, sua forma geométrica, o perímetro entre outros), e as de processo compreendem a relação com o balanço hídrico, como escoamento superficial e deflúvio.

Os parâmetros mais utilizados para as análises das características morfométricas de bacias podem ser classificados, conforme Lima (1986), em área, fator de forma, compacidade,

altitude média, a declividade média, o número de canais, comprimento da bacia, hipsometria e orientação.

Através da análise da bacia hidrográfica, pode-se compreender a sua funcionalidade na paisagem em qual esta inserida. As bacias de drenagem podem ser classificadas, segundo Cristofolletti (1980), de acordo com seu escoamento global, em exorreicas, endorreicas, arreicas e criptorreicas.

As bacias exorreicas são quando o escoamento das águas se faz de modo contínuo, até chegar ao mar ou oceano, quando as bacias desembocam diretamente no nível marinho. As bacias endorreicas são quando as drenagens são internas e não desembocam no mar, e sim em lagos ou em areias de deserto, ou perdendo-se em depressões cársicas.

As bacias criptorreicas são representadas por bacias não estruturadas, sem padrões de delimitações, como exemplos, áreas desérticas, onde a atividade dunária é intensa, obscurecendo as linhas e os padrões de drenagem. As bacias criptorreicas são subterrâneas, como bom exemplo, em áreas cársicas<sup>1</sup>.

Em relação aos padrões de drenagem, o qual se refere ao arranjo espacial dos cursos fluviais Cristofolletti (1980, p. 103) define como:

“Podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Uma ou várias bacias de drenagem podem estar englobadas na caracterização de determinado padrão.”

Os padrões descritos aqui seguem a teoria de Cristofolletti (1980), que considera tipos de padrões de drenagem dendrítica, treliça, retangular, paralela, radial e anelar (figura 2). A drenagem dendrítica (*tree-like*<sup>2</sup>), também é denominada arborescente, porque em seu desenvolvimento se assemelha à configuração de uma árvore, sendo que, o tributário maior

---

<sup>1</sup> Cársicas – regiões com calcário.

<sup>2</sup> Como uma árvore.

corresponde ao tronco da árvore, os tributários aos seus ramos e as menores vazões, raminhos e folhas (CRISTOFOLETTI, 1980).

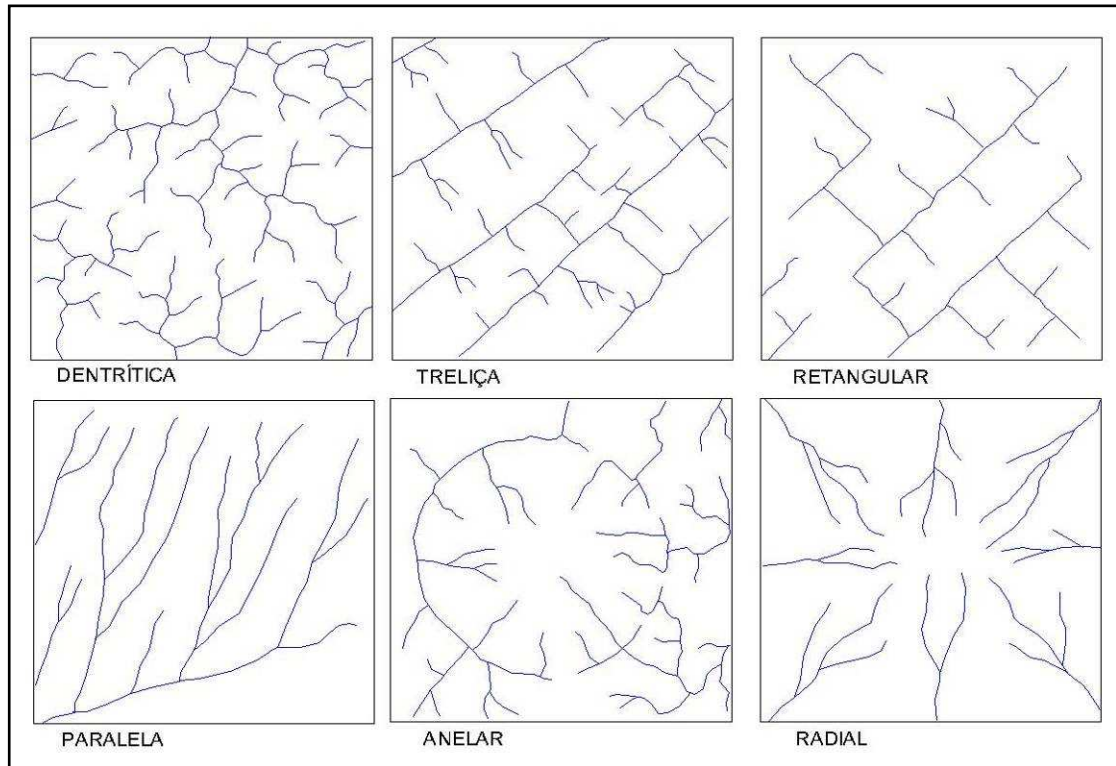


Figura 2. Padrões de drenagem.  
Fonte: modificado de CRISTOFOLETTI, 1980.

A drenagem em treliça é composta por rios principais conseqüentes, correndo paralelamente, recebendo afluentes subseqüentes, que fluem em direção transversal aos primeiros. A drenagem retangular é uma modificação da drenagem em treliça, caracterizando pelo aspecto ortogonal (ângulos de 90°), devida as bruscas alterações retangulares no curso das correntes fluviais, tanto nas principais como nas tributárias (CRISTOFOLETTI, 1980).

A drenagem paralela, como o próprio nome diz, compreende ao escoamento dos rios, de forma paralelas entre eles, podem ser denominados de cauda eqüina ou rabo de cavalo. A drenagem radial é composta por correntes fluviais que se encontram disposta, como os raios

de uma roda, em relação a um ponto central. E por último, a drenagem anelar, que se assemelha a anéis (CRISTOFOLETTI, 1980).

A área da bacia segundo Tucci (1997) é um dado fundamental para definir a potencialidade hídrica da bacia, porque seu valor multiplicado pela chuva precipitada define o volume de água recebido pela bacia. Considera a área de uma bacia como sendo sua área superficial, ou seja, sua área projetada verticalmente. A determinação da área deve ser feita através do uso de cartas topográficas, de imagens aéreas, ou com o uso de software.

É natural que alguns casos a delimitação da bacia hidrográfica não corresponda exatamente aos seus limites subterrâneos (LIMA, 1986), ou seja, o divisor topográfico pode não coincidir com o divisor freático. Figura 3 ilustra a não coincidência entre a área superficial e a área sub-superficial da bacia ocorrendo vazamento para fora em A e para dentro em B.

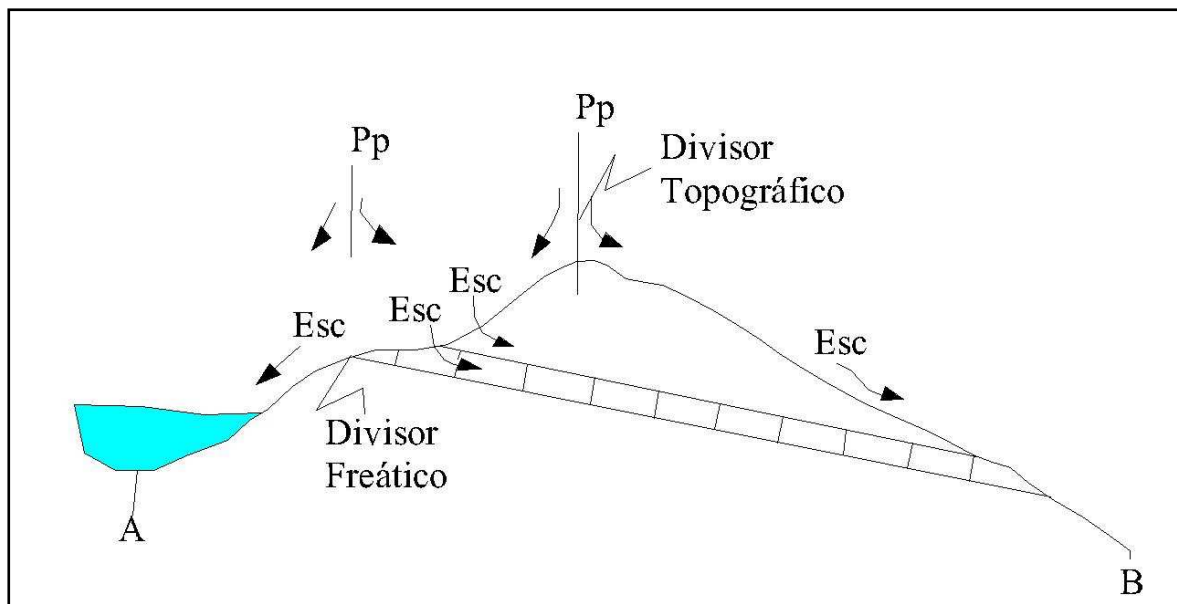


Figura 3. Exemplo de delimitação topográfica.

Fonte: modificado de LIMA 1986.

Estudo na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, na cidade de Guanhões, em Minas Gerais, com área de 6,98 km<sup>2</sup> e perímetro de 14,864 km, elaborado por Tonello et al.

(2006) apresentou de forma geral que a bacia possui forma alongada, com baixa densidade de drenagem, relevo forte-ondulado e declividade média de 33,9%. Segundo os autores, esses parâmetros possuem grande influência sobre o escoamento superficial e sobre o processo de erosão. Este processo resulta em perda de solo, água, matéria orgânica e nutrientes, que possam a vir provocar o assoreamento e eutrofização dos corpos d'água. Caracterizaram-se as sub-bacias da bacia hidrográfica principal, onde cada uma foi analisada individualmente, concluindo-se que as cinco sub-bacias apresentam deficiência de densidade de drenagem e forma alongada. Em termos de declividade média, os valores variaram entre 29,6 e 40,4%, representando o relevo forte-ondulado. Pôde-se constatar no trabalho que a morfometria diferenciada entre as sub-bacias evidenciou a necessidade de um manejo específico de cada uma delas.

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan em Nova Friburgo no estado do Rio de Janeiro, segundo Cardoso; Dias; Martins (2006) apresentou área de drenagem de 9,9 km<sup>2</sup> e perímetro de 17,684 km. A bacia hidrográfica do rio Debossan tem formato alongado, coeficiente de compacidade de 1,5842, fator de forma de 0,3285 e índice de circularidade de 0,3985. A densidade de drenagem obtida para a bacia foi de 2,3579 km/km<sup>2</sup>, considerada uma densidade baixa. A forma alongada da bacia hidrográfica indica segundo Cardoso; Dias; Martins (2006) que a precipitação pluviométrica sobre a bacia concentra-se em diferentes pontos, amenizando possíveis problemas de enchentes.

Já estudo desenvolvido por Lima Neto et al. (2008) caracterizou a morfometria da microbacia do rio Granjeiro, no município de Crato no Ceará em conjunto o estudo de impactos ambientais. A caracterização morfométrica foi feita através de parâmetros que caracterizam a forma da bacia, o sistema de drenagem e o relevo. A área da microbacia é de 45,61 km<sup>2</sup> e o perímetro de 37,01 km. Com os resultados obtidos de morfometria aponta a



microbacia apresenta uma forma alongada e estreita, em relação a densidade de drenagem, o valor obtido foi de 1,02, o que representa baixa drenagem.

Constatou-se, pela morfometria, que a microbacia do rio Granjeiro deveria ser a menos propensa a cheias por apresentar o formato alongado, mas os problemas ambientais por ações antrópicas contribuem com a inversão do quadro, como o assoreamento do rio e enchentes nos bairros por onde o rio passa. Para minimizar os impactos ambientais, foram sugeridas ações através de medidas estruturais e não-estruturais, compatíveis com a realidade sócio-ambiental local.

## 2.2 BALANÇO HÍDRICO

Segundo Santos et al. (2001) o significado da palavra hidrologia vem do grego *hydor* (água) e *logos* (ciência) designando portanto, a ciência que estuda a água sobre a terra, sua ocorrência, a circulação e distribuição, suas propriedades e seus efeitos sobre o ambiente e a vida.

Em hidrologia entende-se por precipitação toda a água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre (figura 4), apresentando-se sob diferentes formas, como neblina, chuva (convectivas, orográficas e frontais), granizo, saraiva, orvalho, geada e neve (TUCCI apud BAUNGARTEN, FELIX; MÜLLER, 2003).

A água contida nas nuvens representa energia potencial, ao cair como chuva, esta é capaz de realizar trabalho (SUGUIO; BIGARELLA, 1990). A água precipitada é interceptada por parte da vegetação (dossel), é evaporada e retorna para a atmosfera. A parte da água precipitada que chega ao solo, é infiltrada, e esta infiltração pode ocorrer com maior intensidade ou menor intensidade, com a capacidade do solo em absorvê-la. Quando esta capacidade for superada, inicia-se o escoamento superficial.

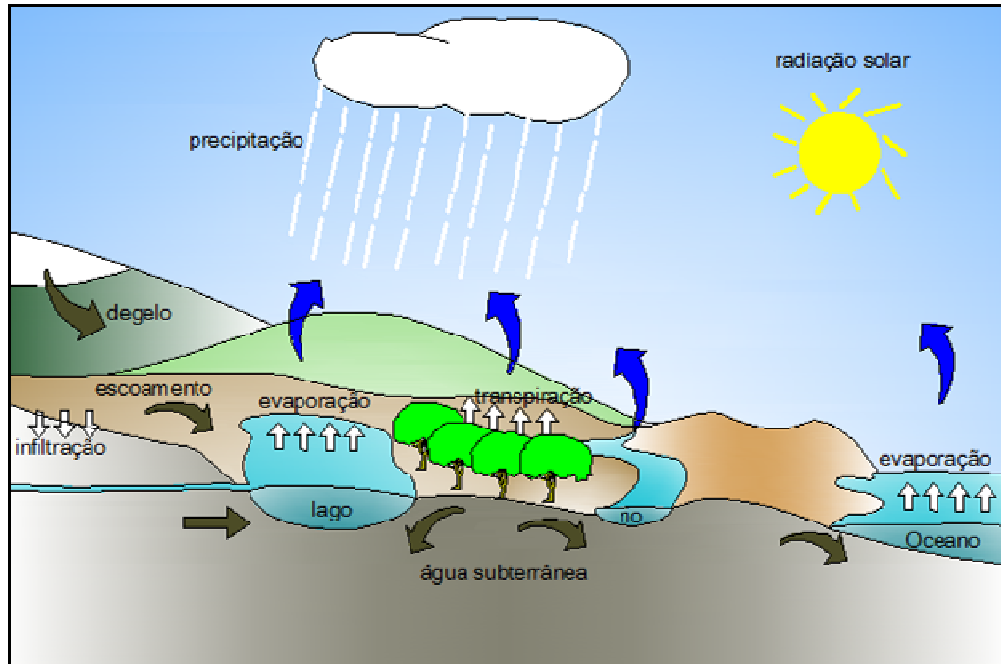


Figura 4. Esquema simplificado do ciclo hidrológico.

Fonte: modificado de CRISTOFOLETTI, (1980); SUGUIO; BIGARELLA (1990).

O escoamento superficial escoa direcionado aos fundos de vales, rios, lagos e oceanos. Durante este escoamento pode ainda, parte da água ser retida por depressões naturais ou antrópicas no solo. O escoamento superficial se faz na superfície do terreno, podendo o fluxo ser confinado em canais ou então em forma de fluxo em lençol (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

A água infiltrada no solo é absorvida pelas raízes e volta à atmosfera (transpiração das plantas) ou evaporação do solo. O conjunto destes dois fenômenos denomina-se de evapotranspiração. Esta parte superior do solo limita-se por uma quantidade de água conhecida como capacidade de campo. Quanto mais água for adicionada a esta zona, atingindo a capacidade de campo, a água passa para uma zona mais profunda (zona de saturação ou de escoamento subterrâneo).

Os estudos voltados a balanço hídrico demonstram como funciona o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, sendo este natural ou modificado, apresentando os dados de entrada e saída da bacia, considerando a teoria da conservação de massa, muito estudada pela

mecânica dos fluidos. Segundo Hirikoshi; Fisch (2007), devido à grande demanda atual por recursos hídricos, faz-se necessário o conhecimento do ciclo da água da bacia hidrográfica, principalmente das variáveis de precipitação e evapotranspiração.

Segundo Rizzi (2010) para os estudos de manejo de bacia o que interessa é conhecer o ciclo hidrológico em nível local, isto é, em uma bacia hidrográfica, que estará composto pelo que se estabelece nas unidades menores e homogêneas de tipologias de uso (pastagem, floresta, agricultura, entre outros). O ciclo hidrológico pontual, considerando a massa de água constante, permite se estabelecer a seguinte equação hidrológica:

$$Pp = It + I + Es + ET \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

**Pp:** é a precipitação total (mm ou L/m<sup>2</sup>), isto é, precipitação meteorológica horizontal (neblina, orvalho, entre outros) e/ou vertical (chuva, granizo, neve) em um intervalo de tempo (1 hora, 1 dia, 1 mês, 1 ano);

**It:** corresponde a interceptação (mm ou L/m<sup>2</sup>), a fração da precipitação vertical que não chega ao solo, sendo armazenada na vegetação (em dossel) e sofrendo um processo de evaporação posterior;

**I:** corresponde à quantidade de água ou fração da precipitação que se infiltra no solo e que depende das características dos mesmos (mm ou L/m<sup>2</sup>);

**Es:** representa a quantidade de água ou fração da precipitação que escorre pela superfície do terreno ou solo, denominado escoamento superficial (mm ou L/m<sup>2</sup>);

**ET:** é a evapotranspiração real (mm ou L/m<sup>2</sup>), isto é, a fração evaporada diretamente do solo ou de uma massa livre de água mais aquela tomada do solo pelas plantas e transpirada para a atmosfera.

Em Oliveira Júnior; Dias (2005) a precipitação interna ( $P_i$ ) é a chuva que atinge o piso florestal, incluindo gotas que passam diretamente pelas aberturas entre as copas e gotas que respigam do dossel. A fração da chuva que é retida temporariamente pelas copas juntamente com aquela que atinge diretamente os troncos e que posteriormente escoam pelo tronco de árvores, chegando ao solo, é denominada escoamento pelo tronco ( $E_t$ ). A soma da precipitação interna e escoamento pelo tronco são responsáveis pela água que atinge o solo (ARCOVA et al. Apud OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005).

Segundo Arcova; Cicco; Rocha (2003) uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera, processo denominado de interceptação. O restante alcança o piso como gotejamento ou precipitação interna e como fluxo que escoam pelo tronco das árvores.

Da precipitação que incide na bacia, nem toda água chega ao solo, à menos que este se encontre completamente descoberto. Assim, uma fração é interceptada pela vegetação e retorna para atmosfera na forma de vapor. Esta fração que atinge o solo é denominada precipitação efetiva ( $P_e$ ) e vem dado pela seguinte igualdade matemática (LIMA apud OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005):

$$P_e = P_p - I_t \quad \text{equação (2)}$$

**$P_e$** : precipitação efetiva em mm ou  $L/m^2$ .

Considerando esta diferença conceitual entre precipitação a céu aberto e precipitação efetiva, e substituindo a equação (1) na equação (2), tem-se o seguinte resultado (equação 3):

$$P_e = I + E_s + E_T \quad \text{equação (3)}$$

Isto permite afirmar, segundo Rizzi (2010), que o balanço estabelecido pode se modificar segundo as características do terreno sobre o qual se encontra e segundo o espaço de tempo e o ciclo que se considera. No hemisfério norte o balanço hídrico inclui-se um sexto termo, o da água ou neve acumulada sobre o solo que não se infiltra, não escorre e nem é evaporado, apresentado na equação (4):

$$Pe = I + Es + ET + N \quad \text{equação (4)}$$

Onde:

N: seria a reserva de água armazenada na bacia (mm ou l/m<sup>2</sup>)

Considerando que o termo evapotranspiração (ET) pode se dividir em dois: evaporação física (E) e transpiração biológica (T), assim, a equação do balanço hídrico efetivo poderá ser descrito pela seguinte equação:

$$Pe = I + Es + E + T + N \quad \text{equação (5)}$$

Para o caso de um solo inclinado, segundo Azagra; Hevia (1995), impermeável e sem vegetação de recobrimento de uma encosta, a equação será obtida considerando: **P = Pe; It = 0; I = 0; T = 0** e desta forma seria igual a:

$$Pe = Es + E \quad \text{equação (6)}$$

Para o caso de um solo inclinado, permeável e sem vegetação de recobrimento de uma encosta, a equação será obtida considerando: **P = Pe; I<sub>t</sub> = 0; I ≠ 0; T = 0** e desta forma seria igual a:

$$Pe = Es + I + E \quad \text{equação (7)}$$

Assim considerando um ponto do rio onde não existe vegetação ciliar ou cobertura vegetal ( $I_t = 0$ ) e onde se tem o processo de infiltração ( $I \neq 0$ ) e sabendo que  $I < 0$ , se pode deduzir que é um trecho de rio ganhador de água por estar conectado com o lençol freático. Se, em caso de  $I > 0$ , se trata de um rio encaixado e rio perdedor de água, pois não está conectado a fontes ou mananciais (AZAGRA; HEVIA, 1995).

Na realidade, a quantidade de água incluída em um sistema não é constante no tempo, portanto, é necessário se estabelecer uma relação entre os fluxos a partir do estado inicial e final, o que é o mesmo que aplicar a equação de conservação de massa ou equação de continuidade.

Para o estudo do balanço hídrico são utilizados modelos hidrológicos que relacionam os processos de precipitação e evapotranspiração para o estabelecimento da capacidade de armazenamento de água da bacia. Thorntwaite Mather utiliza o conceito de evatranspiração potencial (EPT) para estimativa do processo de evaporação e transpiração. A evapotranspiração real será igual à potencial e o restante de água será utilizado para recarregar o armazenamento do solo ou convertido em excedente hídrico. Caso a precipitação não seja suficiente para se manter a evapotranspiração real, o modelo retira a água armazenada no solo. Porém, esta retirada apresenta resistência, fazendo que a evapotranspiração real seja inferior a potencial, gerando déficit hídrico. (VICTORIA; BALLESTER; PEREIRA, 2005)

Em Hirikoshi; Fisch (2007), o balanço hídrico de uma região tende a se manter sem grandes alterações naturais, mas com aumento populacional e o uso indiscriminado d'água, as ações antrópicas podem acabar interferindo no ciclo hidrológico, por meios das variações nas taxas de precipitação, de infiltração no solo, da evapotranspiração e do escoamento superficial.

Estudos em bacias florestais mostram que a cobertura florestal possui estreita relação com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, interferindo no movimento da água em vários compartimentos dos sistemas, inclusive nas saídas para a atmosfera e para os rios. (ARCOVA; CICCIO; ROCHA, 2003).

### 2.2.1 Escoamento Superficial

Em muitos trabalhos de obras de engenharia hidráulica, uma análise criteriosa do escoamento superficial deve ser estabelecida na determinação da vazão de pico e na forma do hidrograma, para um dado período de retorno. Segundo Fadiga Jr; Martins (2003) é importante reconhecer que os valores obtidos em cálculo serão sempre aproximados, devidos aos métodos utilizados e aos critérios adotados, mas quanto mais meticulosos e sistemáticos forem os procedimentos utilizados, menor será a probabilidade de ocorrência de erros comprometedores.

Dois métodos são os mais utilizados para estudos em bacia hidrográfica, o já clássico método racional, aplicável a bacias hidrográficas pequenas, e os métodos baseados na teoria do hidrograma unitário, utilizados em bacia de maior porte.

É fundamental para estudos hidrológicos, o conhecimento da chuva excedente ou escoamento superficial direto que representa a parcela da água precipitada total que escoam inicialmente pela superfície do solo contribuindo para a vazão dos rios. A chuva excedente é responsável pelas vazões de cheia em pequenas bacias impermeabilizadas.

Segundo Fadiga Jr; Martins (2003) distinguem-se duas abordagens principais para o cálculo da chuva excedente:

- A chuva excedente é calculada diretamente por meio de relações funcionais que levam em conta a precipitação, a classe hidrológica do solo, o uso, umidade antecedente

entre outros. Estes métodos baseiam-se em equações empíricas, são largamente utilizadas, pois são de fácil uso e resultados satisfatórios. Exemplos são o método da curva número do *Soil Conservation Service* (SCS)<sup>3</sup> ou método racional.

- O segundo enfoque se refere à métodos de avaliação da capacidade de infiltração dos solos, como por exemplo, o método definido por Horton (AZAGRA; HEVIA, 1996).

Segundo Mata-Lima et al. (2007) o método racional é, inquestionavelmente o método de cálculo da vazão mais divulgado, em relação aos outros métodos de cálculos. Uma dessas razões da sua utilização esta na simplicidade de sua fórmula.

Para a determinação da vazão de pico do hidrograma, pelo método racional, é preciso obter a área da bacia em estudo, do coeficiente de *runoff* e da intensidade da precipitação (WATSS; HAWKE, 2003). Porém o método racional é indicado para pequena bacias hidrográficas, no máximo de 4 km<sup>2</sup>, conforme em TUCCI (1997), pois quanto maior a bacia hidrográfica, mais ocorrem desvio de cálculos.

O modelo chuva-vazão desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS), órgão do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), é muito utilizado para estimar o número da curva de escoamento superficial “CN” e também a distribuição e o volume do escoamento superficial de uma área (MENDES FILHO; VENDRAME; CARVALHO, 2007; TIBÚRCIO; CASTRO, s.d.).

A metodologia da Curva Número (CN) do SCS se baseia na classificação hidrológica do solo (conforme seu grupo hidrológico), sua utilização (uso do solo) e a condição de sua superfície no que diz respeito à potencialidade de gerar escoamento superficial. (BAUGARTEN; FELIX; MÜLLER, 2003).

Wats; Hawke (2003) considera que a CN é melhor de ser trabalhada que o Método Racional para estimativa de picos de vazão, o qual, o último citado, utiliza o coeficiente de

---

<sup>3</sup> Atualmente denominado de Natural Resouch Conservation Service (NRCS).



*runoff* (escoamento), porém este coeficiente apresenta alta incerteza, diferenciando da CN que mostra uma forte correlação entre o uso do solo e a resposta hidrológica.

Mata-Lima et al. (2007) considera o método da CN é de aplicação mais complexa, designadamente no que concerne à atribuição do número do escoamento (CN), que tal como o coeficiente de escoamento (C) da fórmula racional, caracteriza as condições biofísicas da bacia hidrográfica. Continuando com Mata-Lima (2007), o uso da CN inibe a aplicação em situações de projeto, por isso as entidades de consultoria em engenharia realizam estudos hidrológicos-ambientais baseados no método racional.

O número da curva de escoamento superficial “CN” é definido a partir de tipologias dos solos (urbano, rural, vegetação entre outros), do tipo de solo (classe hidrológica) e níveis umidade antecedente do solo. No Brasil, encontram-se problemas na estimativa desse valor de “CN”, pois esta não foi desenvolvida para os solos tropicais como os do Brasil (MENDES FILHO; VENDRAME; CARVALHO, 2007).

Segundo Sartori et al. (2005b) apud Mendes Filho; Vendrame e Carvalho (2007) o complexo hidrológico solo-cobertura da terra é a parte fundamental para a composição da “CN” média da bacia e esta é a principal variável para estimar a chuva excedente. É de fundamental importância se avaliar o potencial máximo de retenção de água no solo, uma vez que a impermeabilização de áreas urbanas leva a um acréscimo significativo do número de vezes em que a bacia produz escoamento superficial, implicando num aumento das velocidades de escoamento, e da capacidade de arraste de cargas poluidoras.

Para o estudo da CN é necessário a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para a confecção de mapas que identifiquem o uso do solo e a sua tipologia. O uso de mapas temáticos auxilia na determinação da CN de cada tipologia e a capacidade de retenção da água do solo. Quanto mais impermeabilizado o solo, menor a capacidade de retenção de água no solo e maior a produção de escoamento.

Os resultados do uso da CN e SIG foram positivos no estudo de Mendes Filho; Vendrame e Carvalho (2007), em duas bacias hidrográficas do Ceará: a bacia do rio Maranguapinho e a bacia do rio Aracoiaba. Os pesquisadores utilizaram o geoprocessamento através do ArcView GIS a confecção dos mapas concluindo-se pela viabilidade técnica do uso do SIG em estudos hidrológicos.

Outro método também muito utilizado é o proposto por Ven Te Chow o qual apresenta estimativas de vazões máximas, ou seja, das vazões de projeto para a previsão de enchentes e elaboração de obras hidráulicas. Esta estimativa é feita com base de dados de chuvas intensas que ocorrem na respectiva bacia em estudo. Este método utiliza as hipóteses de hidrograma unitário, considerando que o fenômeno de transformação da chuva em vazão é regido por equações lineares. Neste Método as vazões máximas são proporcionais às chuvas efetivas (NUNES; FIORI, 2007).

Neste método a chuva efetiva, denominada de chuva excedente é responsável pelas vazões de cheias principalmente em bacias de pequenas escalas e urbanizadas. É na impermeabilização do solo devido ao processo de urbanização a principal geradora do aumento do escoamento superficial.

A pesquisa de Nunes; Fiori (2007) realizada na bacia do rio Atuba em Curitiba, utilizou-se dois métodos de transformação de chuva-vazão, o método de Ven Te Chow e CN. O trabalho estudou três diferentes anos (1962, 1980 e 2000), para avaliar a urbanização da bacia e seu impacto na formação do escoamento superficial. O aumento das áreas urbanizadas refletiu diretamente na elevação das vazões de pico. Para um tempo de recorrência de 5 anos os pesquisadores observaram aumento da vazão de pico de 150,21 m<sup>3</sup>/s em 1962 para 178,50 m<sup>3</sup>/s em 1980 e, para 216,96 m<sup>3</sup>/s em 2000. Em um tempo de recorrência de 10 anos, a vazão de pico que era de 187,45 m<sup>3</sup>/s em 1962 aumentou para 218,80 m<sup>3</sup>/s em 1980 e para 261,34

m<sup>3</sup>/s em 2000; resultante da modificação do uso do solo local, de edificações com superfícies livres para edificações densas.

### 2.2.2 Regionalização da Vazão

Os estudos hidrológicos exigem, em sua maioria, a manipulação de dados de vazões e sua representação gráfica é fundamental ao hidrólogo para a compreensão do comportamento hidrológico dos rios, para o uso em obras de engenharia hidráulica. As medições de vazões é uma etapa importante na estruturação de uma série hidrológica. As estações fluviométricas requerem elevados custos financeiros e disponibilidade de equipamentos e pessoal capacitado, dificultando o levantamento de dados com maior frequência (PINHEIRO; BADIA, 2008).

A função da curva de permanência é primordial para estudos de pré-viabilidade de empreendimentos em bacias hidrográficas, para o uso de outorgas, tendo como exemplo, abastecimento de água para fins domésticos ou mesmo para pequenas centrais hidrelétricas (PCH). Para atingir os objetivos de uma outorga, é preciso determinar o equilíbrio entre as demandas dos diversos usuários e a disponibilidade hídrica, além de garantir vazões mínimas para assegurar a preservação da qualidade ambiental, sendo primordial identificar a disponibilidade de água para cada risco pré-fixado, isto é, a vazão mínima que se pode retirar de um corpo d'água com certo nível de garantia, (SILANS et. al., 1998 apud CÓRDOVA; PINHEIRO; PINHEIRO, 2000). A curva de permanência é uma metodologia bastante difundida para esta identificação (CÓRDOVA; PINHEIRO; PINHEIRO, 2000).

A falta de informações locais, em pequenas bacias, área menor que 100 km<sup>2</sup> (CÓRDOVA; PINHEIRO; PINHEIRO, 2000), leva o hidrólogo a buscar formas de transferências de informações de um local para outro na bacia. Devido aos altos custos de implementação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica, é fundamental a

otimização das informações disponíveis. A regionalização consiste no conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou insuficientes (TUCCI, 1997).

A curva de permanência retrata as características do regime de vazões, informando dados de disponibilidades hídricas. As curvas constituem um instrumento de comparação entre bacias hidrográficas distintas, colocando os efeitos: relevo, vegetação e uso da terra (SANT'ANA; FIOR; KAVISKI, 1989). A curva de permanência pode ser considerada um hidrograma, onde as vazões são arranjadas em ordem de magnitude, permitindo a visualização da potencialidade natural do rio, destacando-se as vazões mínimas e o grau de permanência de qualquer valor de vazão (PINTO et. al., 1976).

Segundo Tucci (1997), a curva de permanência relaciona a vazão ou nível de um rio e a probabilidade de ocorrer vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada, esta curva pode ser trabalhada com base em valores diários, semanais ou mensais, dependendo do objetivo do estudo. Esta função hidrológica é utilizada em estudos hidrelétricos, de navegação, da qualidade da água, escolhas de mananciais para diversos usos entre outros.

### 2.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS

A modificação da bacia hidrográfica, através da urbanização afeta tanto o ciclo hidrológico, como a qualidade da água. Em geral, as fontes de poluição da água resultam dos esgotos domésticos, despejos industriais, escoamento superficial das áreas urbanas, das águas provenientes da irrigação (PEREIRA, 2004).

Cada uma destas fontes de poluição tem características e implicações na qualidade da água, que podem ser caracterizada pelos parâmetros de qualidade, pois fornece o nível de poluição ao qual está sujeito o corpo d'água (PEREIRA, 2004). A tipologia de fontes de

poluentes está dividido em: poluição pontual e poluição difusa. Ambas podem atuar separadamente ou em conjunto, conforme o uso do solo da bacia hidrográfica.

A poluição do escoamento superficial acontece toda vez que a chuva escoar pelo solo e transporta os poluentes. Esta poluição vem sendo estudada em diversos países, principalmente no Brasil, como descreve Tucci; Porto; Barros (1995, p. 387) sobre a poluição do escoamento superficial:

“Já, há algum tempo, associa-se urbanização à poluição dos corpos d’água, devido aos esgotos domésticos não tratados e despejos industriais. Mais recentemente, no entanto, percebeu-se que parte dessa poluição gerada em áreas urbanas tem origem no escoamento superficial sobre áreas em fase de construção, depósitos de lixo ou de resíduos industriais e outros. O escoamento superficial da água, nesses locais, carrega o material solto ou solúvel que encontra até os corpos d’água, levando, portanto, cargas poluidoras bastantes significativas. Além disso, a impermeabilização leva ao aumento do número de vezes em que a bacia produz escoamento superficial e ao aumento também, das velocidades de escoamento, gerando maior capacidade de arraste e, portanto, maiores cargas poluidoras. As redes de drenagem urbana são responsáveis pela veiculação dessa carga e sabe-se hoje, que se constituem em importantes fontes de degradação de rios, lagos e estuários.”

A fonte pontual, se refere a poluição decorrente de ações modificadoras localizadas, podendo ser quantificadas as emissões de poluição, pois sua origem é específica. Um exemplo deste tipo de fonte pontual é o lançamento de produtos tóxicos por uma indústria diretamente em um rio.

A fonte difusa ou não pontual provém de atividades que depositam os poluentes de forma dispersa, não homogênea, sobre uma área determinada. Desta forma a fonte de poluição não pode ser localizada em seu ponto de origem, pois provém de atividades como tráfego de veículos, tipos de comércio, usos de agrotóxicos, cujas contribuições particulares não podem ser identificadas ou avaliadas de forma precisa. A poluição difusa alcança os corpos d’água, distribuídos ao longo das margens, não se concentrando em um único local como é o caso da poluição pontual.

Algumas fontes difusas consistem em uma coleção de pequenas atividades poluentes como sedimentos provenientes de atividades de construção, campos de cultivo e áreas com

erosão, agroquímicos, pesticidas, fertilizantes, metais pesados e focos de bactérias, entre outros. A precipitação e o vento podem aumentar as emissões não pontuais devido ao transporte de sedimentos químicos ou outros poluentes, existentes em campos de cultura e depósitos a céu aberto os quais podem poluir a água, o ar e o solo.

Novotny apud Tucci; Porto; Barros (1995, p. 388), apresenta cinco condições que caracterizam fontes não pontuais (ou difusas) de poluição, sobre uma bacia hidrográfica, provinda de atividades comerciais e pequenas indústrias:

- “- O lançamento de carga poluidora é intermitente e está relacionada à precipitação;
- os poluentes são transportados a partir de extensas áreas;
- as cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque não é possível identificar exatamente sua origem;
- o controle da poluição de origem difusa, obrigatoriamente, deve incluir ações sobre a área geradora da poluição, ao invés de incluir, apenas o controle do efluente quando do lançamento;
- o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada varia de acordo com a intensidade e a duração do evento meteorológico, a extensão da área de produção naquele específico evento e com outros fatores, que tornam a correlação vazão x carga poluidora praticamente impossível de ser estabelecida.”

É difícil relacionar as concentrações de poluentes com o uso do solo, pois cada bacia hidrográfica possui diferente variabilidade e densidade de habitantes, tipologia de indústrias e comércio. Por exemplo, áreas industriais podem ser formadas por indústrias pesadas, as mais poluidoras ou por indústrias leves, menos poluidoras. O mesmo pode ocorrer com áreas residenciais de baixa ou alta densidade populacional, que conforme a verticalização do local pode gerar quantidades variadas de poluentes.

Segundo Andreolli et al. (2003), em termos gerais as áreas urbanas e industriais, representam as maiores modificações antrópicas existentes na superfície terrestre, dos corpos d'água, da atmosfera e do ecossistema em geral. No que se referem aos mananciais urbanos, os resíduos provenientes das atividades humanas, ao poluírem a água, não causam apenas danos ao ecossistema natural e a comunidade aquática, esta poluição afeta também ao ser

humano, através de malefícios associados à falta de salubridade ambiental e do comprometimento da qualidade das águas necessárias ao abastecimento público.

Segundo este mesmo autor, as faixas ripárias de preservação ambiental, que deveriam estar desocupadas para a preservação permanente da floresta, a sua ocupação, por um contingente despreparado para entender a gravidade de sua relação com meio natural e sem condições sócio-econômicas de resolvê-los, acaba por agravar os problemas e contribuir significativamente para a poluição dos rios urbanos.

Estudos desenvolvidos por Rivera Vázquez et al. (2007) em rios da região de Texcoco, cidade localizada no oeste do México, com em média 100.000 habitantes, recebem poluição de águas residuais domésticas não tratadas. O objetivo da pesquisa foi identificar as fontes de poluição e determinar o nível de contaminação. Os rios estudados foram Texcoco, Chapingo e São Bernadino. As fontes poluidoras ocorreram devido ao crescimento urbano e semi-urbano sem o planejamento, e sem a coleta e tratamento do esgoto doméstico.

Os principais dados obtidos foram os de coliformes totais e coliformes fecais, no período de 2004 a 2005, valores entre  $1,6 \times 10^4$  a  $2,4 \times 10^4$  NMP (número mais provável)  $100 \text{ mL}^{-1}$  e de coliformes fecais entre  $1 \times 10^4$  a  $2,4 \times 10^7$ . Estes dados passaram os limites estabelecidos pela norma do México, (NOM-001-SEMARNAT, *Secretaría Del Medio Ambiente y Recursos Naturales*), que estabelece valores de 1000 NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$ , em uso de água para irrigação não restringida. Logo, os pesquisadores consideram o tratamento urgente das águas residuárias, para a redução da poluição nos corpos d'águas locais.

A temperatura demonstra grande influência como parâmetro físico de qualidade, na biologia e na química do corpo d'água. A temperatura da água pode ser determinante para a espécie de peixes locais, de invertebrados e plantas aquáticas e influência nos níveis de atividade, aumento das taxas metabólicas e habilidade de competições (KLEIN, 1979 apud

JANKE et al., 2009; EATON et al., 1995 apud JANKE et al., 2009; LeBLANC et al., 1997 apud JANKE et al., 2009).

As superfícies pavimentadas podem tornar-se mais quentes do que as superfícies naturais, devido à falta da proteção da vegetação e em uma escala de curto período de tempo, pode produzir um escoamento mais “morno”, que é lançado aos corpos d’água durante o evento da precipitação. Água da chuva nas piscinas (artificiais) de retenção atua como transferência de calor, prolongando a exposição da água de superfície à radiação solar e pode ter efeitos adversos adicionais, contudo é recomendada para a melhoria de qualidade da água da chuva para o aproveitamento em residências, como usos em vasos sanitários e lavagem de roupas, a remoção, por exemplo, dos sedimentos e do fósforo contidos na água (VAN BUREN, et. al., 2000 apud JANKE et al., 2009; GALLI, 1990 apud JANKE et al., 2009).

O programa de proteção da bacia hidrográficas da Cidade de New York (DEP)<sup>4</sup>, é responsável pela operação, manutenção e proteção do suprimento de água e sua distribuição. No início dos anos 1990, o DEP iniciou um programa para melhoria da qualidade da água, o qual seria definido áreas para preservação ambiental para manutenção das nascentes. Através de extensivos regulamentos para fazendas em área de bacia hidrográficas, definiu-se que cada fazenda deveria incluir-se no *Best Management Practices* (BMP)<sup>5</sup>, no qual o governo entraria com os subsídios, de modo que os fazendeiros manteriam a área como área de agricultura.

Mantendo o uso do solo local e a preservação ambiental, o programa de proteção ajuda na montagem de pequenas estações de tratamento de efluentes rurais, em troca, os fazendeiros não podem mudar o uso do solo local, mesmo que vendam suas propriedades. Deste modo o DEP melhorou a qualidade da água dos reservatórios de abastecimento, como exemplo na

---

<sup>4</sup> New York City Department of Environmental Protection

<sup>5</sup> Boas Práticas de Gerenciamento



redução entre 20 a 30% do conteúdo de fósforo proveniente do esgoto de suinocultura e reduzindo os custos no tratamento desta água.

No estudo da qualidade de corpos d'água, para a definição de limites de concentração de cada poluente o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) dividiu os sistemas hídricos em treze classes de acordo com o tipo e uso de suas águas (PEREIRA, 2004). Esta classificação, denominada de enquadramento, apresenta parâmetros para cada classe, como valores de cor, turbidez, oxigênio dissolvidos entre outros. Os parâmetros devem ser avaliados e comparados aos valores estabelecidos pelo CONAMA através da resolução nº357 de 2005, para lançamento de efluentes em corpos d'águas, podendo estabelecer o grau de poluição, permitido ou não na lei ambiental, de ser despejado diretamente nos corpos d'água. Esta resolução classifica as águas em (CONAMA 2005):

- **ÁGUAS DOCES** – com salinidade menor ou igual a 0,5‰ (per mil ou 0,0005), estas são divididas em 5 tipologias.

Classe especial: são as águas destinadas ao abastecimento doméstico com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Classe 1: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção a comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação a hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e, à proteção das comunidades aquáticas;

Classe 2: águas destinadas ao abastecimento público para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção a comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas

frutíferas e de parques, jardins, campos de esportes e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aqüicultura e à atividade de pesca.

Classe 3: águas podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.

Classe 4: águas podem ser destinadas à navegação; e à harmonia paisagística.

- **ÁGUAS SALINAS** – salinidade entre 0,5 a 30‰.

Classe especial: são águas destinadas à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

Classe 1: são águas destinadas à recreação de contato primário; à proteção das comunidades aquáticas; e à aqüicultura e à atividade de pesca.

Classe 2: são águas destinadas à pesca amadora; e à recreação de contato secundário.

Classe 3: são águas destinadas à navegação; e à harmonia paisagística.

- **ÁGUAS SALOBRAS** – salinidade maior ou igual a 30‰

Classe especial: são águas destinadas à preservação dos ambientes aquáticos em unidade de conservação de proteção integral; e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

Classe 1: são águas destinadas à recreação de contato primário; à proteção das comunidades aquáticas; à aqüicultura e à atividade de pesca; ao abastecimento para o consumo humano após tratamento convencional ou avançado; e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e a irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

Classe 2: são águas destinadas à pesca amadora; e à recreação de contato secundário.

Classe 3: são águas destinadas à navegação; e, à harmonia paisagística.

A seguir, serão descritos alguns parâmetros químicos, físicos e biológicos, que são mencionados pela legislação para a avaliação da qualidade da água:

Cor: A coloração da água se origina de sólidos dissolvidos (PEREIRA, 2004; VON SPERLING, 1995), de decomposição da matéria orgânica que libera compostos orgânicos complexos, tendo como exemplos os ácidos húmicos (PEREIRA, 2004), ferro e manganês (VON SPERLING, 1995), quando ocorrem por origem antropogênica, é devido a resíduos industriais (ex.: tinturarias, tecelagem, produção de papel) e esgoto doméstico (VON SPERLING, 1995). Segundo a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2008) é pouco freqüente a relação entre cor acentuada e risco sanitário nas águas coradas. O problema maior de coloração na água, em geral, é o estético já que causa um efeito repulsivo aos consumidores.

Turbidez: A turbidez das águas é devido ao excesso de materiais em suspensão, isto é, material particulado não dissolvido, encontrado suspenso no corpo d'água composto por substâncias inorgânicas e orgânicas. A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva (VON SPERLING, 1995), Segundo a CETESB (2008) a alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e das algas. Esse desenvolvimento reduzido de fotossíntese, por sua vez, influencia na biota local. Além disso, afeta adversamente os usos domésticos, industriais e recreacionais das águas.

Segundo Sewell (1978, p. 78) a turbidez da água devido a sólidos em suspensão é exemplo de uma condição de poluição de um fenômeno natural agravada pelo homem. Se orgânicos, provêm freqüentemente - embora nem sempre - do esgoto doméstico, de processos

industriais ou da eutrofização induzida pela poluição. Se inorgânicos, os sólidos em suspensão provêm geralmente do solo, inclusive da areia e barro.

Temperatura: A temperatura é a medição da intensidade de calor, sua origem natural acontece pela transferência de calor por radiação, condução e convecção. A modificação da temperatura por origem antropogênica pode ocorrer por despejos de torres de resfriamento ou despejos industriais (VON SPERLING, 1995). A elevação da temperatura facilita a perda de oxigênio presente na água, pois reduz a solubilidade dos gases.

pH: O termo pH (potencial hidrogeniônico) é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de íons de hidrogênio nessa solução. A concepção do pH de soluções aquosas compreende uma escala de 14 unidades entre a faixa ácida (0 – 7) e a outra alcalina (7 – 14) (CETESB, 2008).

Quanto mais próximo de zero o pH a solução torna-se ácida e de 14 a solução é alcalina e menor a diversidade de organismos existentes em um corpo d'água em ambas as condições. Isto porque os organismos possuem uma estreita faixa de tolerância às mudanças do pH (VON SPERLING, 1995).

Alcalinidade: É a capacidade da água de neutralizar os ácidos (capacidade de resistir as mudanças de pH), capacidade de tamponar. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e os hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) (VON SPERLING, 1995).

Oxigênio Dissolvido (OD): O oxigênio é essencial para a vida aquática, como os microrganismos aeróbicos (PEREIRA, 2004; VON SPERLING, 1995). É o gás de maior concentração na água, depois do nitrogênio, também o mais importante (VIANETEA ARANA apud PEREIRA, 2004). Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias aeróbicas utilizam do oxigênio, e podem até reduzir a sua quantidade na água, o que, em certos casos, conduz à mortandade de peixes e outros seres aquáticos (PEREIRA, 2004; VON

SPERLING, 1995). Caso o oxigênio seja totalmente consumido, têm-se as condições anaeróbias, com geração de maus odores (VON SPERLING, 1995).

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): Segundo o GLOSSÁRIO DE ECOLOGIA (1997, p. 52), a Demanda Bioquímica de Oxigênio é a quantidade de oxigênio usada na oxidação bioquímica da matéria orgânica, em um tempo, temperatura e condições específicas. Corresponde à medida indireta da concentração de material biologicamente degradável presente em resíduos orgânicos.

Para a CETESB (2008) a DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é freqüentemente usado e referido como DBO<sub>5,20</sub>. Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica.

DQO – Demanda Química de Oxigênio: O teste de Demanda Química de Oxigênio (DQO) baseia-se no fato de que todos os compostos orgânicos, com poucas exceções, podem ser oxidados pela ação de um agente oxidante forte em meio ácido. Uma das limitações, entretanto é o fato de que o teste não diferencia matéria orgânica biodegradável e matéria orgânica não biodegradável, a primeira determinada pelo teste de DBO. A vantagem é o tempo de teste, realizado em poucas horas, enquanto o teste de DBO requer no mínimo 5 dias (período de incubação). (SEWELL, 1978 p. 76).

Óleos e Graxas: Consideram-se óleos ou graxas os hidrocarbonetos, ácidos graxos, gorduras, óleos e ceras entre outros. Na ausência de produtos industriais, os óleos e graxas constituem-se de materiais graxos de origem animal e vegetal, e de hidrocarbonetos originados do petróleo (PEREIRA, 2004).

Quando essas substâncias estão presentes em quantidade excessiva, dificultam o tratamento de águas residuárias, prejudicam a transferência de oxigênio da água para o ar e formam uma película fina (filmes) sobre a superfície da água e se depositam nas margens, causando assim diversos problemas ambientais (VON SPERLING, 1995).

Nitrogênio: Antes do desenvolvimento das análises bacteriológicas, as evidências da contaminação das águas eram determinadas pela concentração de nitrogênio nas suas diferentes formas (nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal) (PEREIRA, 2004).

Segundo (VON SPERLING, 1995), o nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos ou represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos, denominado o processo de eutrofização.

No ciclo do nitrogênio, quando a amônia transforma-se em nitrito e este em nitrato, implica no consumo de oxigênio do meio, afetando a vida aquática, e mais, a identificação da forma predominante de nitrogênio, pode fornecer o estágio de poluição (VON SPERLING, 1995).

Fósforo: O fósforo é um elemento químico essencial à vida aquática e ao crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (PEREIRA, 2004), quando encontrado em grandes concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado destes microrganismos, gerando eutrofização (VON SPERLING, 1995).

Sulfatos: Geralmente se formam a partir da oxidação do gás sulfídrico no meio aquático oxigenado, esta oxidação pode ser química ou biológica por microrganismos. A distribuição de sulfato é fortemente relacionada pela formação geológica da bacia de drenagem, em ambientes próximos ao mar, a influência é maior, já que nos oceanos o sulfato é abundante (PEREIRA, 2004).

Sólidos Sedimentáveis: É a determinação dos sólidos que sedimentam no período de duas horas no cone Imhoff, cuja a capacidade é de 1 litro. Os sólidos sedimentáveis representam as partículas que depositam no fundo dos corpos d'água e causam os problemas de assoreamento nos corpos d'água prejudicando a vida aquática (VON SPERLING, 1995).

Coliformes Fecais: A detecção dos agentes patogênicos, principalmente bactérias, protozoários e vírus, em uma amostra de água são extremamente difíceis, em razão das baixas concentrações, que demandaria grandes volumes de água (VON SPERLING, 1995).

Por isso, para facilitar as análises, utiliza-se os indicadores de contaminação fecal, os coliformes totais e os coliformes fecais. Os coliformes totais, denominados atualmente de termotolerantes, constitui o grupo de bactérias que representa as fezes de animais de sangue quente. Os coliformes fecais ou *eschirichia coli* (*E.coli.*), representam fezes de origem humana. Segundo (VON SPERLING, 1995) quando forem divididos os valores de Coliformes Fecais por *E. coli* e o resultado for maior que 4 ( $CF/EC > 4$ ) a contaminação é predominantemente humana; em caso do valor ser menor que 1 ( $CF/EC < 1$ ) a contaminação é predominantemente por outros animais de sangue frio e, por último, se o valor encontra-se entre 1 a 4 ( $1 < CF/EC < 4$ ) a interpretação é duvidosa.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

---

A pesquisa desenvolvida para a tese tem do ponto de vista da sua forma de abordagem, em relação ao problema estabelecido para o estudo, uma pesquisa quantitativa. A pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável, significando traduzir em números opiniões e informações para a classificação e análise (SILVA; MENEZES, 2001).

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Ligeiro, com área total de 175,87 km<sup>2</sup> (17587 ha) é contribuinte da margem esquerda do rio Chopim, que por sua vez é afluente da margem esquerda do rio Iguaçu. A área de estudo se refere ao alto do rio Ligeiro com 68,26 km<sup>2</sup> (6826 ha) onde se localiza a cidade de Pato Branco, sudoeste do Paraná (figuras 5, 6 e 7).

A bacia do rio Iguaçu é a maior do estado do Paraná, com área de 70.800 km<sup>2</sup> e 80,4% desta área esta compreendida no estado do Paraná, 16,6% em Santa Catarina e apenas 3% na Argentina (Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos- SEMA, 2000).

A cidade de Pato Branco situa-se a 432 km de Curitiba, entre as cidades de Francisco Beltrão e de Coronel Vivida, que integram a região do sudoeste do estado do Paraná (TABALIPA; FIORI, 2005). A cidade desenvolveu-se ocupando ás áreas das nascentes do rio



Ligeiro, e sem o planejamento urbano, o rio foi degradado, com a retirada da vegetação ripária, a canalização do leito e lançamento de efluentes sem tratamento.

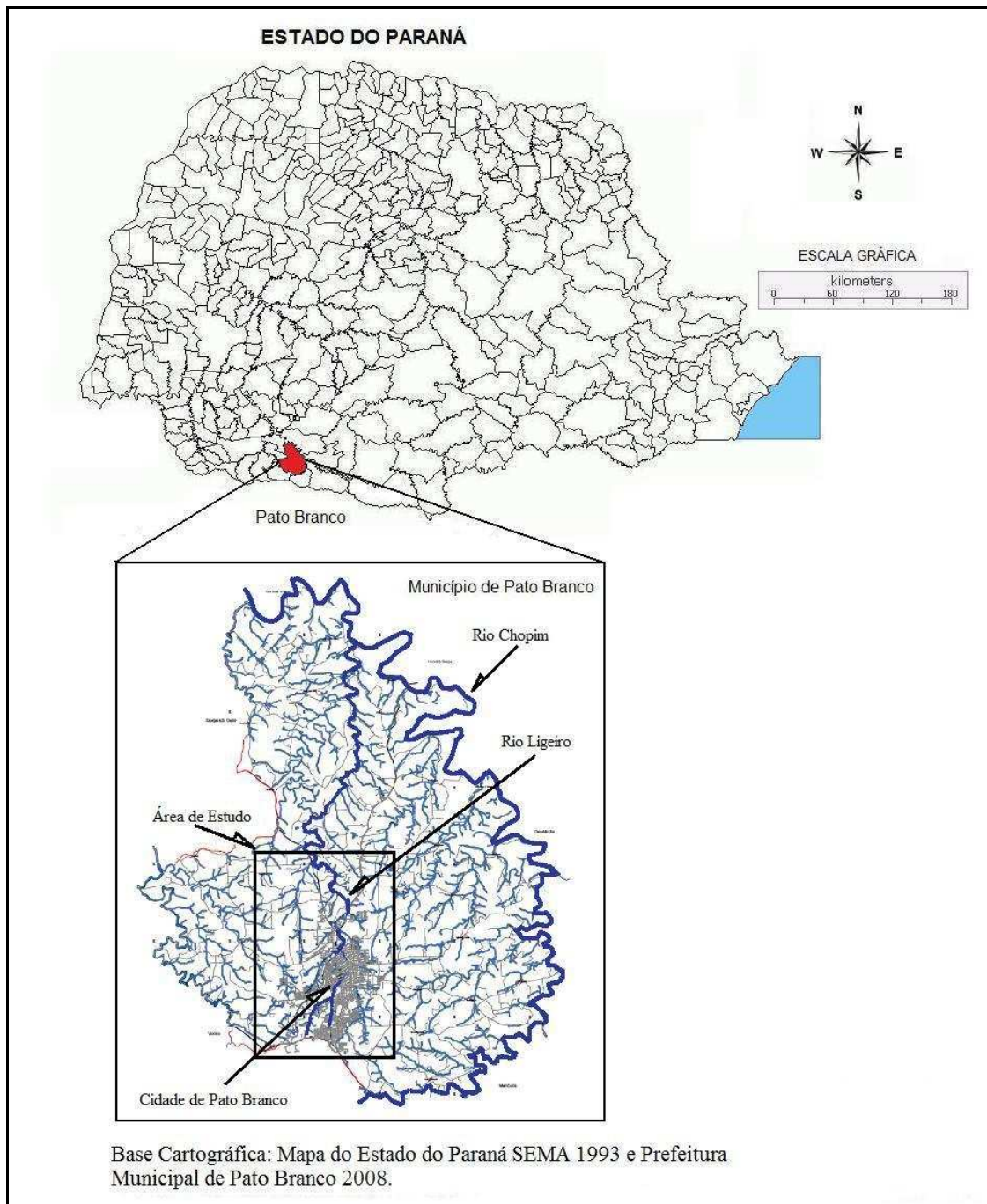


Figura 5. Localização da bacia do rio Ligeiro.

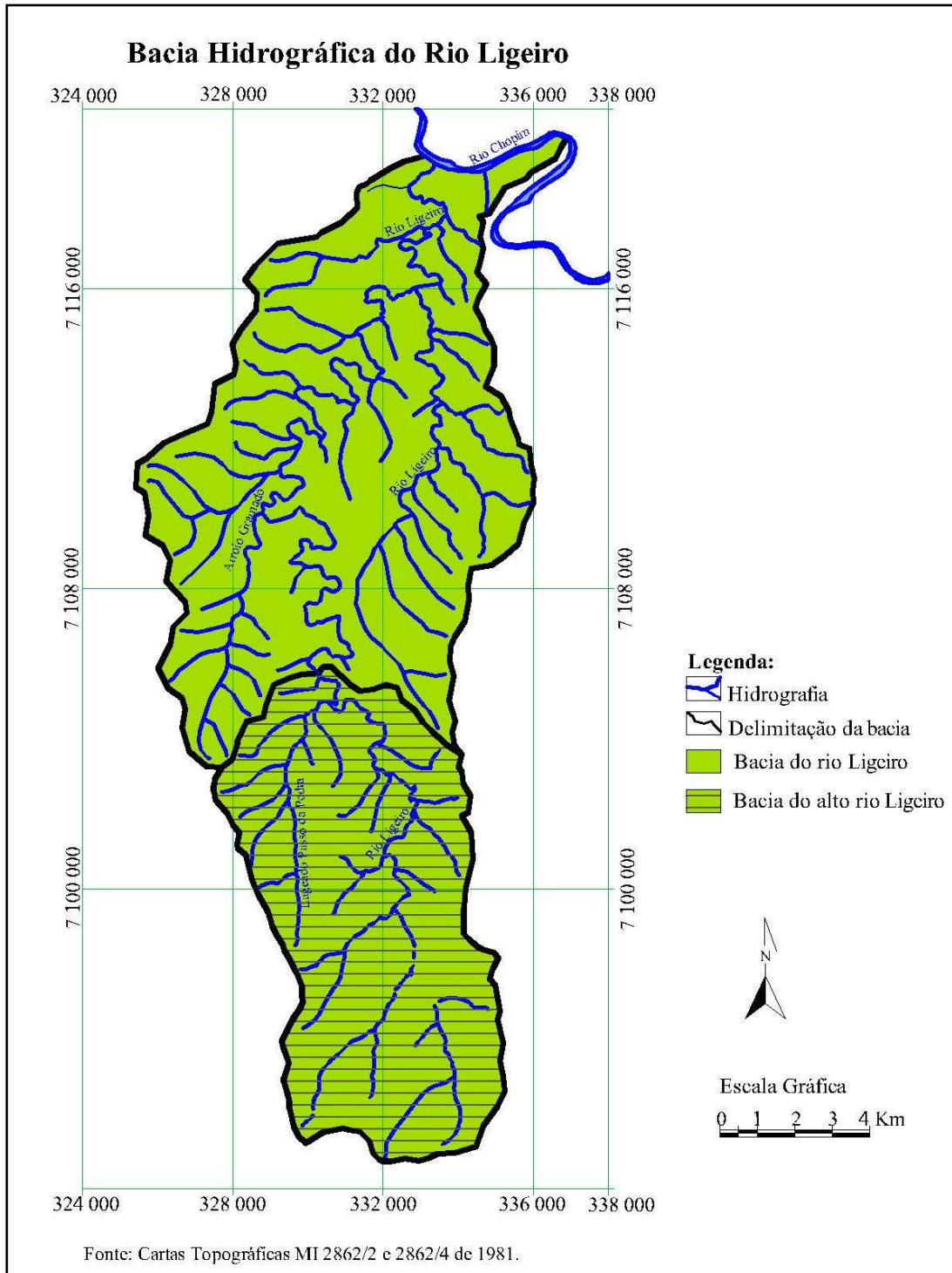


Figura 6. Bacia Hidrográfica do rio Ligeiro.



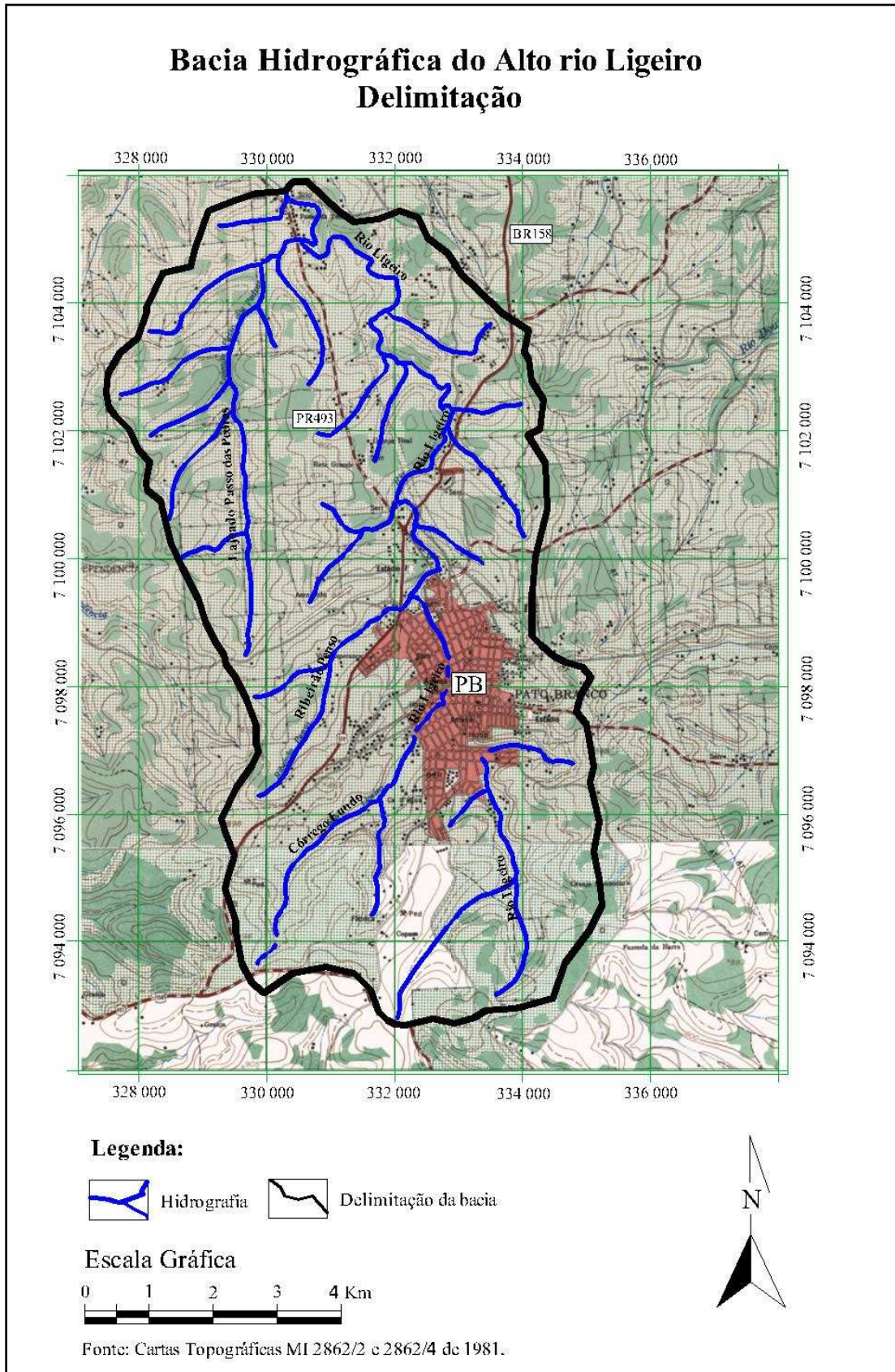


Figura 7. Delimitação da bacia hidrográfica.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

A escolha da bacia hidrográfica adveio do processo de degradação que sofreu o rio Ligeiro. O rio, que antigamente tinha seu uso, como água de abastecimento da cidade de Pato Branco, foi poluído e modificado fisicamente. Deste modo, o rio Ligeiro atualmente recebe efluentes domésticos e industriais, e o abastecimento atual da água para o município, é obtido por outra bacia hidrográfica (a do rio Pato Branco) a uma distância de 14 km (quatorze quilômetros), este também afluente superior do rio Chopim, da margem esquerda.

O reconhecimento da área de estudo *in loco*, se fez através de saídas de campo e conversas adquiridas entre pesquisadores e moradores locais, muitas vezes dados de “informações pessoais”. Muitos dados importantes, como as vazões do rio Ligeiro, a sua qualidade de 1970 e 1980, foram destruídos, conforme as normas da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), que estabelece que a cada 5 anos o arquivo morto seja incinerado.

A área de estudo está inserida em um polígono, o qual inicia-se com as coordenadas UTM (Projeção Universal Transversal de Mercator) 22 J, S = 7.105.947 a E = 327.467, S = 7.105.947 a E = 336.000, S = 7.092.689 a E = 327.467 até S = 7.092.689 a E = 336.000. Situa-se no Terceiro Planalto Paranaense, no extremo sudoeste do estado, na divisa com a República da Argentina e com o Estado de Santa Catarina. O seu primeiro traçado urbano da cidade de Pato Branco foi desenhado pelo engenheiro Duílio Beltrão, autor da idéia de nomear as ruas com os nomes indígenas.

O município de Pato Branco foi instituído em 14 de dezembro de 1952. A área compreendia os atuais municípios de Itapejara do Oeste, Verê, Dois Vizinhos, Mariópolis, Bom Sucesso do Sul e parte de Renascença. (KRÜGER, 2004). Em Schwarz (2001), Pato Branco, no seu desenvolvimento e ocupação do espaço, cresceu no sentido norte-sul acompanhando a vertente do vale do rio Ligeiro e seus afluentes.

Segundo Burian (s/d) dos 17 municípios existentes em 1980, na região sudoeste do Estado do Paraná, apenas cinco concentravam maior parcela da população no meio urbano: Pato Branco, Francisco Beltrão, Palmas, Clevelândia e Mariópolis,. Estes municípios com maior perfil urbano são também os que apresentam melhores índices de qualidade de vida, considerando alfabetização, saneamento, estrutura de saúde e coleta de lixo. Para Voltolini (1996) o rio Ligeiro obteve este nome devido a um prático cortador de erva-mate, o qual morava próximo a margem do rio, como segue descrito abaixo:

“Era um paraguaio de erva da empresa Luiz Pastoriza. Morava bem no meio do mato, às margens do rio, na altura da atual ponte da BR 158. Esse paraguaio tinha duas características que, no meio da população, o tornaram simpático e notável. Uma era pegar pássaros para vender, dar de presente. Era o seu passatempo...o seu hobby, como diríamos hoje. Quando ia visitar alguém, sua companhia era um papagaio amestrado que, em tom de brincadeira, aproximava das pessoas, pedindo-lhe que as bicasse. E o louro não fazia de rogado...A outra nota com que se distinguia o paraguaio era – digamos – psíquica...tanto atrapalhado na execução de seus compromissos, fazendo tudo às pressas...desesperadamente, como se no fim de alguns segundos estivesse a desgraça e para evitá-la só uma ação-relâmpago. Não deu outra...para uns virou o “Ligeirinho”, para outros, o “Ligeiro”. “Lá no ligeiro!” todo mundo sabia onde era. Virou nome do local onde morava o simpático paraguaio. Desse ponto da margem, o nome escorregou para o caudal – rio do Ligeiro – e as águas, como um condutor, o estenderam ao longo de todo o leito...da nascentes à foz no Chopim: Rio Ligeiro.” (VOLTOLINI, 1996, p. 40).

A precipitação média anual de Pato Branco é de 2.091 mm/ano, com dados diários obtidos de 1979 a 2009, cedidos pelo IAPAR (Instituto Ambiental do Paraná) (tabela 1 e figura 8). De acordo com estes dados observa-se que a máxima precipitação total (3345,4 mm) ocorreu em 1983.

O clima da região, segundo Tabalipa; Fiori (2005), obedecendo à classificação de Köppen, o clima se classifica como do tipo Cfb – Subtropical Úmido mesotérmico, que tem os seguintes significados: C – mesotérmico, f – temperado úmido e b – verão brando, com geadas severas e demasiado frequentes, sem estação seca, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22° C, umidade relativa de ar 80%, índice hídrico igual a 100, sem deficiência hídrica.

Segundo Tabalipa (2008) a alteração das rochas basálticas, associada ao clima da região, deu origem aos solos, sendo as áreas aplainadas e suavemente onduladas ocupadas por solos mais profundos, enquanto as superfícies de maiores declividades são ocupadas por solos rasos.

Tabela 1. Precipitação anual do período de 1979 a 2009.

<b>Ano</b>	<b>Precipitação total</b>	<b>Média</b>
1979	2069,9	172,49
1980	1920,8	160,07
1981	1803	150,25
1982	2318,5	193,21
1983	3345,4	278,78
1984	1947,2	162,27
1985	1327,1	110,59
1986	2120,5	176,71
1987	2069,6	172,47
1988	1432,9	119,41
1989	2091,3	174,28
1990	3101,2	258,43
1991	1721,4	143,45
1992	2343,9	195,33
1993	2180,2	181,68
1994	2291	190,92
1995	1578,4	131,53
1996	2484,3	207,03
1997	2768,5	230,71
1998	2997,8	249,82
1999	1630	135,83
2000	2054,4	171,20
2001	1870,6	155,88
2002	2347,2	195,60
2003	1601,8	133,48
2004	1829,8	152,48
2005	1994	166,17
2006	1394,7	116,23
2007	2019,6	168,30
2008	1672,8	139,40
2009	1861,1	155,09
<b>Total</b>	<b>60655</b>	<b>5054,58</b>
<b>Média</b>	<b>2091,55</b>	<b>174,30</b>

Fonte: modificado do IAPAR/2010.

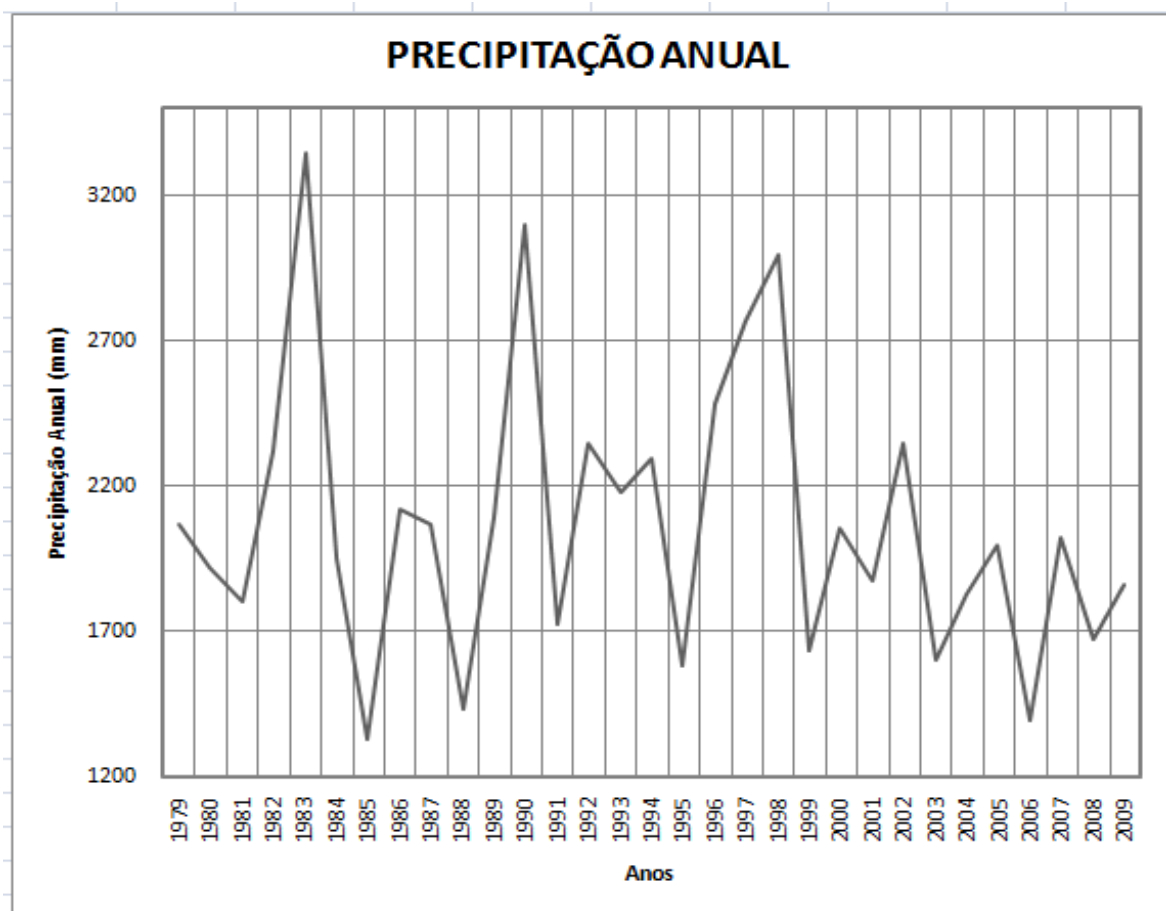


Figura 8. Gráfico da precipitação anual (milímetros).

São cinco os principais solos encontrados na região (figura 9): Latossolo (Roxo Álico), em locais de relevo suave e ondulado, Nitossolo (Terra Roxa Estruturada) em relevo ondulado, Cambissolo (Distrófico) em relevo forte ondulado, Neossolo (Solos Litólicos Distróficos ou Álicos) em relevo montanhoso e por último o Gleissolos (Depositos Aluvionares) (MAACK, 1968 apud TABALIPA, 2008).

Os solos determinados na região de estudo estão representados pela figura 9, observando o mapa pode-se constatar que o solo predominante é o Latossolo (Roxo Álico), seguido de algumas áreas de Nitossolo.



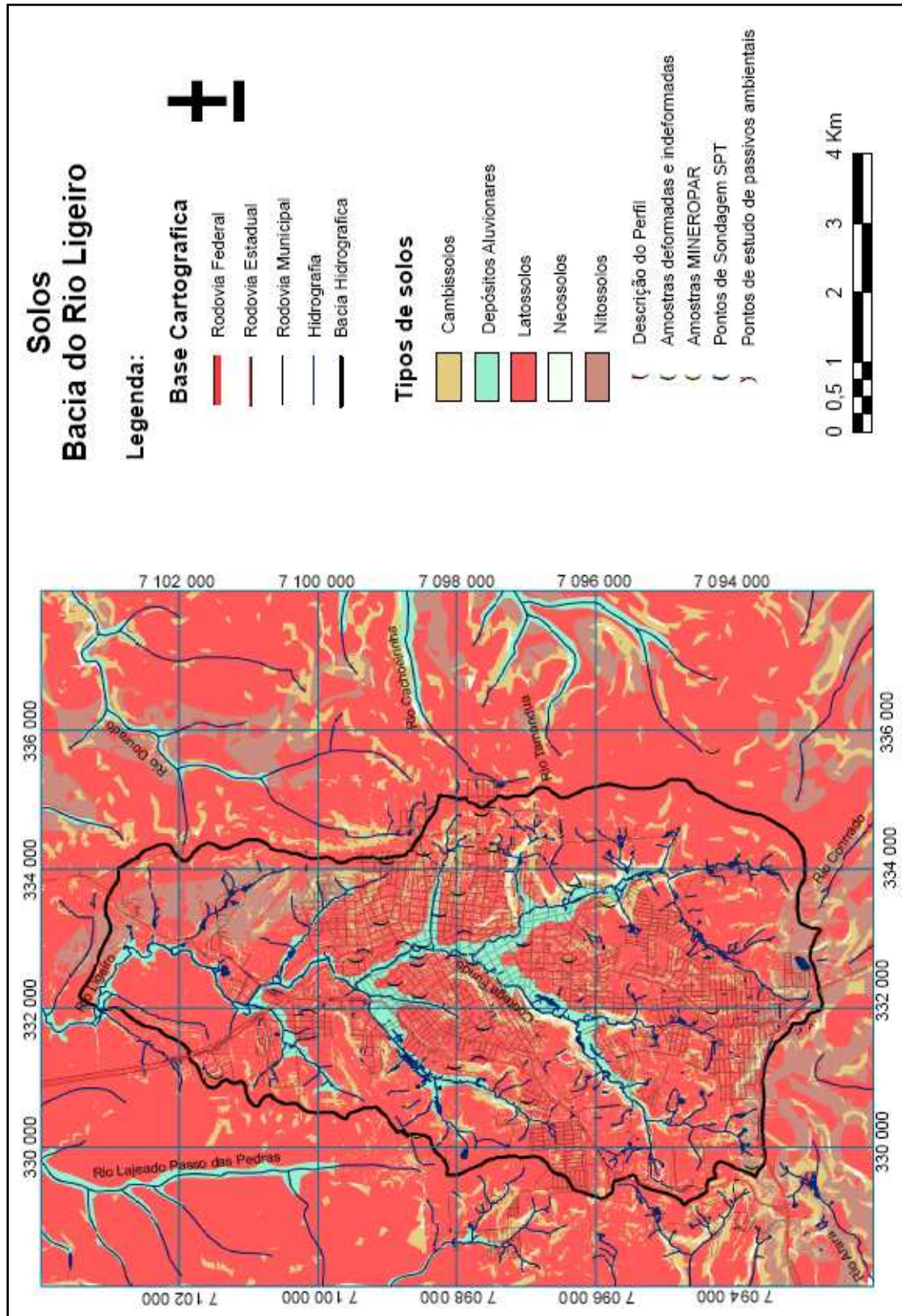


Figura 9. Mapa de solo.

Fonte: EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) & IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) – Levantamento de reconhecimento dos solos do Sudoeste do Paraná, 1972 apud TABALIPA, (2008).



Até o início do século passado, a cobertura florestal no Estado do Paraná correspondia a 83,41% de seu território. Segundo Veloso e Goes-Filho apud Galvão; Kuniyoshi; Roderjan (1989), as principais formações florestais do Estado do Paraná, são as Florestas Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Estacional Semidecidual, a Savana Gramíneo-lenhosa e as Áreas de Formações Pioneiras (figura 10).

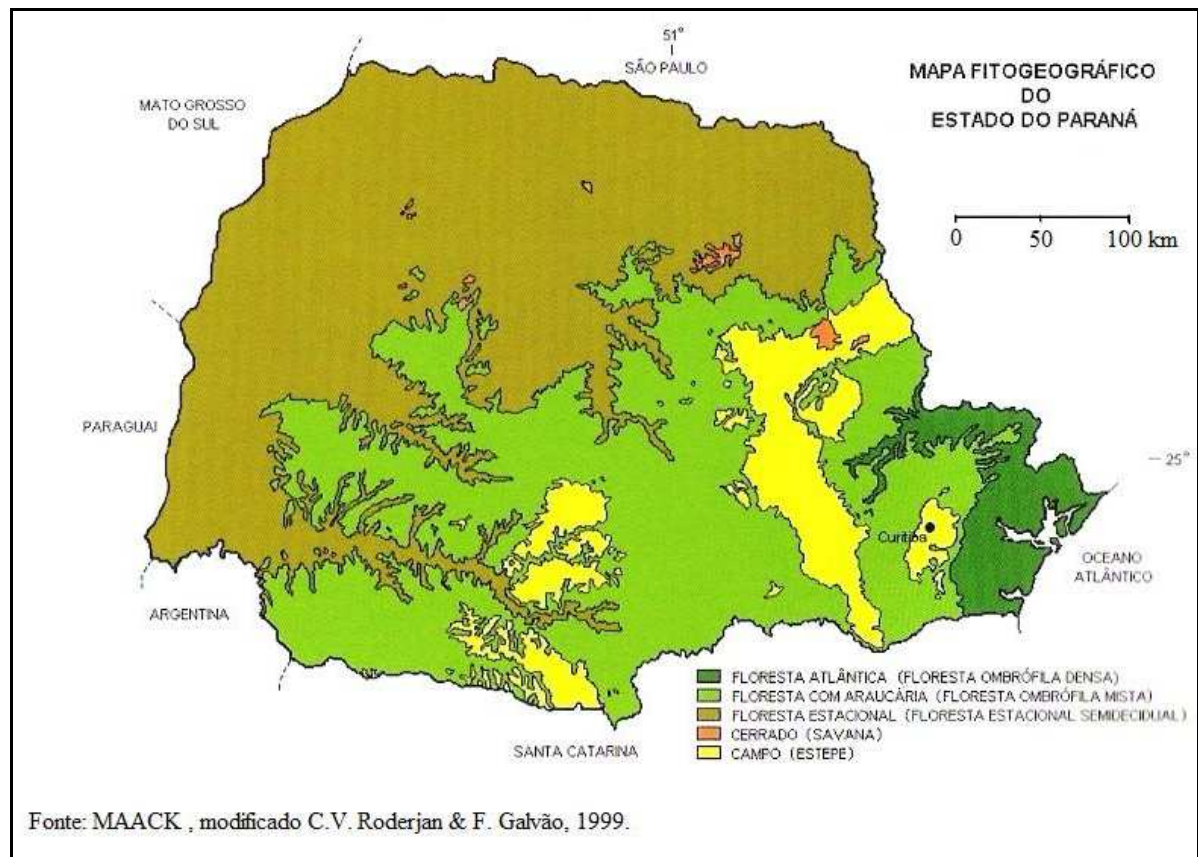


Figura 10. Mapa Fitogeográfico do Paraná.  
Fonte: Museu de Arte da UTFPR (MusA), 2003.

A Floresta Ombrófila Mista corresponde às formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região Sul do Brasil, onde se contempla a coexistência de representantes das floras: tropicais consideradas afro-brasileiras e da temperada, também denominada de austro-brasileira (RODERJAN et.al.; 2002). O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002, p. 220) constata que:

“Na região Sul do Brasil, destaca-se a floresta ombrófila mista, mais conhecida como floresta com araucária. Trata-se de vegetação com ocorrência praticamente restrita a essa região, cujo ritmo de desmatamento provocou a diminuição de sua área de distribuição a menos de 5% da superfície originalmente ocupada”.

Para o MMA (Ministério do Meio Ambiente, 2002), a conservação da Mata Atlântica e a dos campos Sulinos enfrentam grandes desafios, isto porque os biomas apresentam altos índices de biodiversidade e de endemismo<sup>6</sup>, mas encontra-se em situação crítica de alteração de seus ecossistemas naturais; seus domínios abrigam 70% da população e concentram-se as maiores cidade e os grandes pólos industriais do Brasil.

A Floresta Ombrófila Mista é dividida em montana e aluvial. A vegetação montana, no estado do Paraná, encontra-se acima de 1200 m s.n.m (sobre o nível do mar). A Floresta Ombrófila Mista Aluvial corresponde às florestas ripárias, também denominadas de florestas ciliares ou de galeria, que se desenvolveram as margens dos rios que percorrem terrenos planos até suave-ondulada. Podem apresentar diferentes graus de desenvolvimento, desde comunidades simplificadas pelo grau de hidromorfia dos solos – Neossolos Flúvicos e Gleissolos – onde *Sebastiania commersoniana* (B.) L. B. Smith & R. J. Downs (Euphorbiaceae) é a espécie mais característica, até associações mais complexas, em que *Araucaria angustifolia* tem participação expressiva na fisionomia. (RODERJAN et.al.; 2002).

Apesar da importância da floresta aluvial, para ambiente fluvial, tanto na qualidade da água, como na infiltração do solo e no balanço hídrico da bacia hidrográfica, no Paraná nota-se que as florestas de galerias não foram preservadas, observados tanto em áreas urbanas como em áreas rurais. A sua retirada modifica todo o funcionamento fluvial, originando processo como a poluição física (exemplo: o assoreamento dos corpos d’água ou o aumento da turbidez da água).

---

<sup>6</sup> grupos taxonômicos que se desenvolveram numa região restrita, segundo o dicionário de Ecologia.

Segundo MusA (2003), “as florestas ciliares são uma eficiência estratégica da natureza na proteção dos cursos d’água, assegurando a estabilidade de suas margens e a circulação da fauna”.

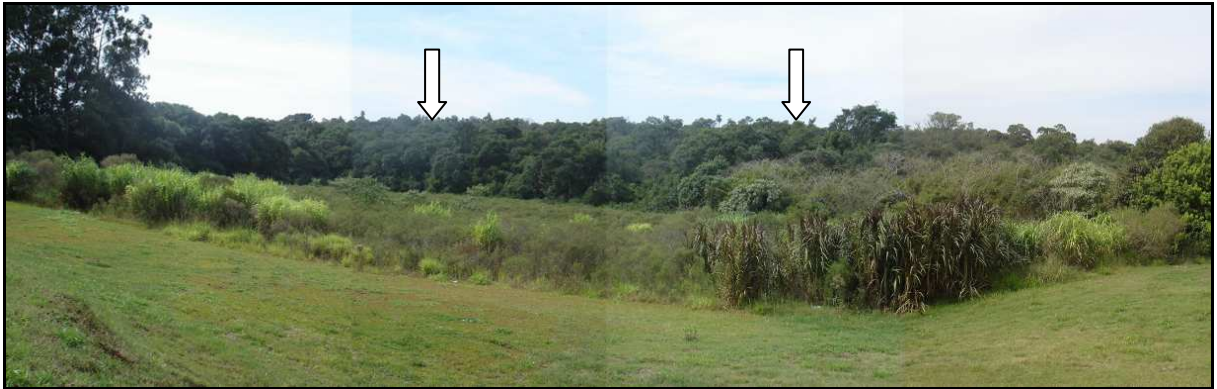


Figura 11. Floresta ripária do rio Ligeiro em área rural.

O depósito de vegetação (como exemplo, galhos e folhas) no corpo d’água pode aumentar a rugosidade do leito, reduzir a energia hidráulica, e isto tem extrema influência na formação de piscinas naturais (BISSON et al., 1987; BILBY, WARD, 1989; BILBY, BISSON, 1998 apud BAILLIE, DAVIES, 2002). Qualquer modificação no uso do solo que significativamente altere a floresta e a deposição de restos vegetais pode potencialmente modificar a estrutura morfológica do canal (BAILLIE, DAVIES, 2002).

O depósito de grandes galhos e a formação de pequenas bacias naturais, foi verificada em parte do rio ligeiro, locais onde ocorreram desmoronamento das margens e acúmulo de resíduos sólidos, como pneus e garrafas plásticas, como exemplo deste local, a área experimental da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) – Campus Pato Branco (figura 12).

As áreas ripárias são reconhecidas pela Legislação Ambiental do Brasil como Áreas de Preservação Permanente, Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965 (IAP – Instituto Ambiental do Paraná, 2008). Esta lei apresenta valores para delimitação, da floresta ripária, conforme a

largura do corpo d'água, quanto maior a largura do rio, maior é a faixa ripária para a proteção do ecossistema aquático (figura 13).



Figura 12. Processo erosivo das margens e formações de pequenas bacias.

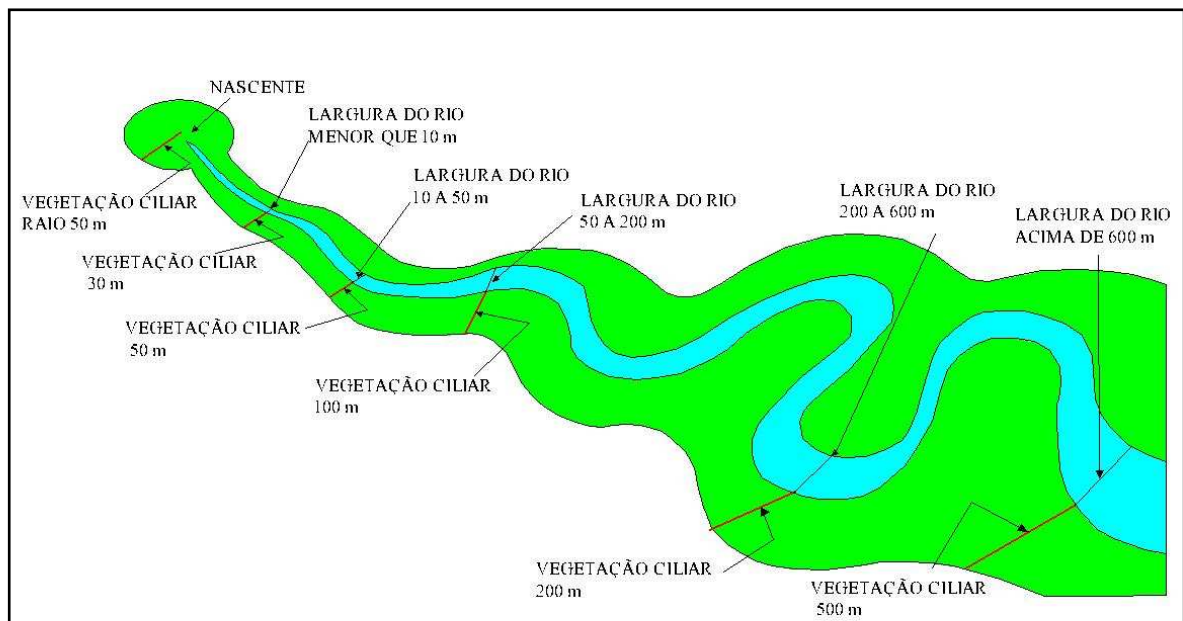


Figura 13. Áreas de preservação permanente nas margens dos rios.  
Fonte: Modificado de Instituto Ambiental do Paraná (IAP), 2008.

Parte importante dos rios do Primeiro Planalto Paranaense é drenada pela bacia hidrográfica do rio Iguaçu, desenvolvendo-se às suas margens e na de seus afluentes as principais cidades dessa região, inclusive Curitiba, a capital do estado. Em função do

crescimento urbano, essas áreas sofreram intensa modificação, quando alguns cursos de água foram simplesmente retificados ou mesmo canalizados. (BARDDAL et al, 2003).

### 3.3 CONFECÇÕES DE MAPAS

#### 3.3.1 Materiais

- Para a montagem do fotomosaico de 1980, foram utilizadas as fotografias aéreas verticais pancromáticas referente ao aerolevanteamento executado em 23 de março, na escala nominal de 1:25.000, fotos nº 34590, 34591, 34592, 34593, 34594, 34595, 34560, 34559, 34558, 34557, 34556, 34555, 35259, 35258, 35257, 35256, 34356, 34355, 34354, 34353, 34352.

- Foi usada a imagem digital do satélite SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*), data da passagem: 29/08/2008.

- Para a confecção do mapa base da bacia hidrográfica, utilizou-se a carta topográfica Folha Pato Branco – SG.22-Y-A-III-2, elaborado pelo Ministério do Exército – escala 1:50.000, ano de 1981, e a Folha Mariópolis – SG.22- Y-A-III-4.

- Plano diretor da Prefeitura de Pato Branco das datas de 1989 e de 2008, com o uso dos mapas temáticos de evolução da ocupação urbana uso do solo e zoneamento urbano de Pato Branco.

#### 3.3.1 Metodologia Aplicada

Para as confecções dos mapas base utilizou-se as cartas topográficas de Pato Branco e Mariópolis cedidas em meio digital pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG) do Paraná. A partir desse material já digitalizado, através do software AutoCAD

2008, procedeu-se à confecção da delimitação da área da bacia hidrográfica, como também à obtenção dos dados de altitude, área total e perímetro total. Após a delimitação da bacia, confeccionou-se o mapa hipsométrico, no qual as curvas de nível foram digitalizadas uma por uma.

O mapa de uso do solo foi elaborado com o uso de imagens aéreas da área em estudo. Trabalhando com as imagens aéreas nos anos de 1980 e 2008, delimitaram-se áreas que apresentassem as seguintes características:

- **Edificação residencial de alta densidade** – que consiste nas partes centrais densamente construídas de uma cidade, com cerca de 85% de impermeabilização do terreno, onde unem-se as áreas comerciais e residenciais, com verticalização central. As áreas residenciais de alta densidade compreendem a edifícios até no máximo de 15 pavimentos.
- **Edificação residencial de média densidade** – que são as zonas residenciais adjacentes ao centro, de menor densidade de habitação que as regiões centrais, com cerca de 65% de impermeabilização do terreno. As áreas de edificações de média densidade compreendem em edificações de até no máximo de 8 pavimentos.
- **Edificação residencial de baixa densidade**– que são as zonas residenciais, com cerca de 30% de impermeabilização do terreno; compreendem em edifícios de no máximo 2 pavimentos.
- **Áreas industriais e de serviços** – que consiste nas áreas industriais e barracões de comércio, com cerca de 72% de impermeabilização do terreno; os edifícios devem apresentar altura máxima de 4 pavimentos.
- **Agricultura e pastagem** – consiste em áreas de uso agropecuário da bacia.



- **Áreas florestais densas** – que abrange fragmentos de floresta ombrófila densa, vegetação em distintos estágios de sucessão florestal (capoeira e capoeirões e florestas secundárias) e também pequenos maciços de reflorestamento com espécies exóticas.
- **Áreas florestais esparsas** – que abrangem áreas de pouca vegetação arbórea esparsa, estágios iniciais de sucessão arbóreas (capoeirinhas).

Os mapas de uso do solo foram elaborados a partir da interpretação das fotografias aéreas (1980) e de imagem de satélite (2008), onde se delimitou e quantificou as áreas (figuras 14, 15, 16 e 17). O quadro 1 mostra a área (ha) e respectivo percentual para estes dois períodos.

Tipologias de uso do solo	Áreas			
	1980		2008	
	Ha	%	ha	%
Áreas florestais - vegetação densa.	870,0	12,75	754,00	11,05
Área Florestais - vegetação esparsa.	360,00	5,27	458,00	6,71
Edificação residencial baixa (média de 30% impermeável).	305,00	4,47	806,00	11,81
Edificação residencial média (média de 65% impermeável).	340,00	4,98	624,00	9,14
Edificação residencial alta (média de 85% impermeável).	100	1,46	118,00	1,73
Áreas industriais e de serviços.	30	0,44	518,00	7,59
Agricultura e pastagem.	4821,00	70,63	3548,00	51,98
<b>Total de área da bacia</b>	<b>6826,00</b>	<b>100</b>	<b>6826,00</b>	<b>100</b>

Quadro 1. Áreas do uso do solo.

### 3.4 AMOSTRAGEM DA QUALIDADE DE ÁGUA

#### 3.4.1 Materiais

- Frascos de polietileno, lavável, sendo utilizado 1 para cada amostra, sendo no total de 4 frasco por dia de coleta (volume no mínimo de 2 L).

- Thiobags, para amostras bacteriológicas, sendo no total 4, uma para cada ponto de coleta (pode-se também utilizar os fracos de polietileno com volume de 100 mL).

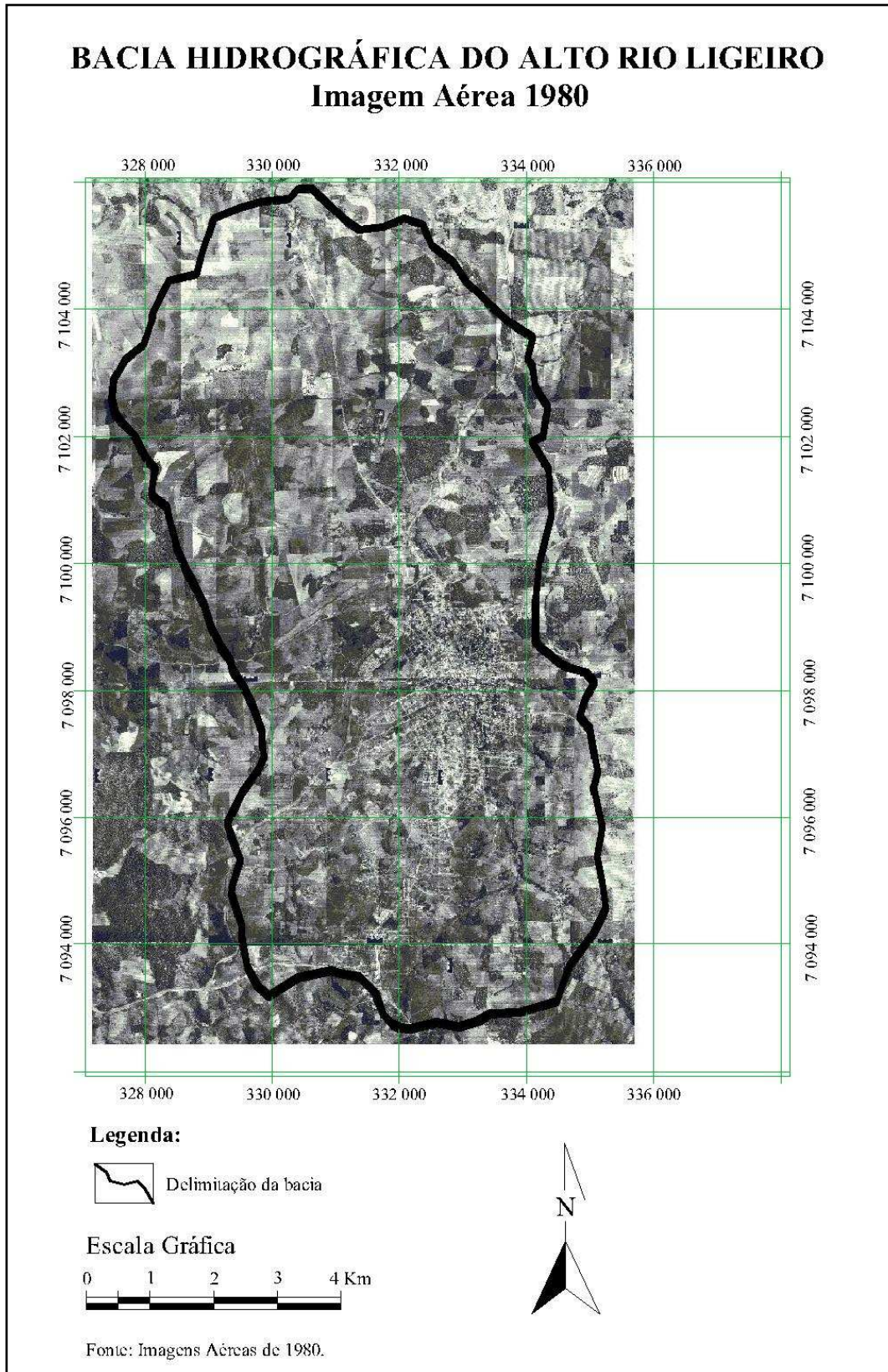


Figura 14. Fotomosaico de 1980.



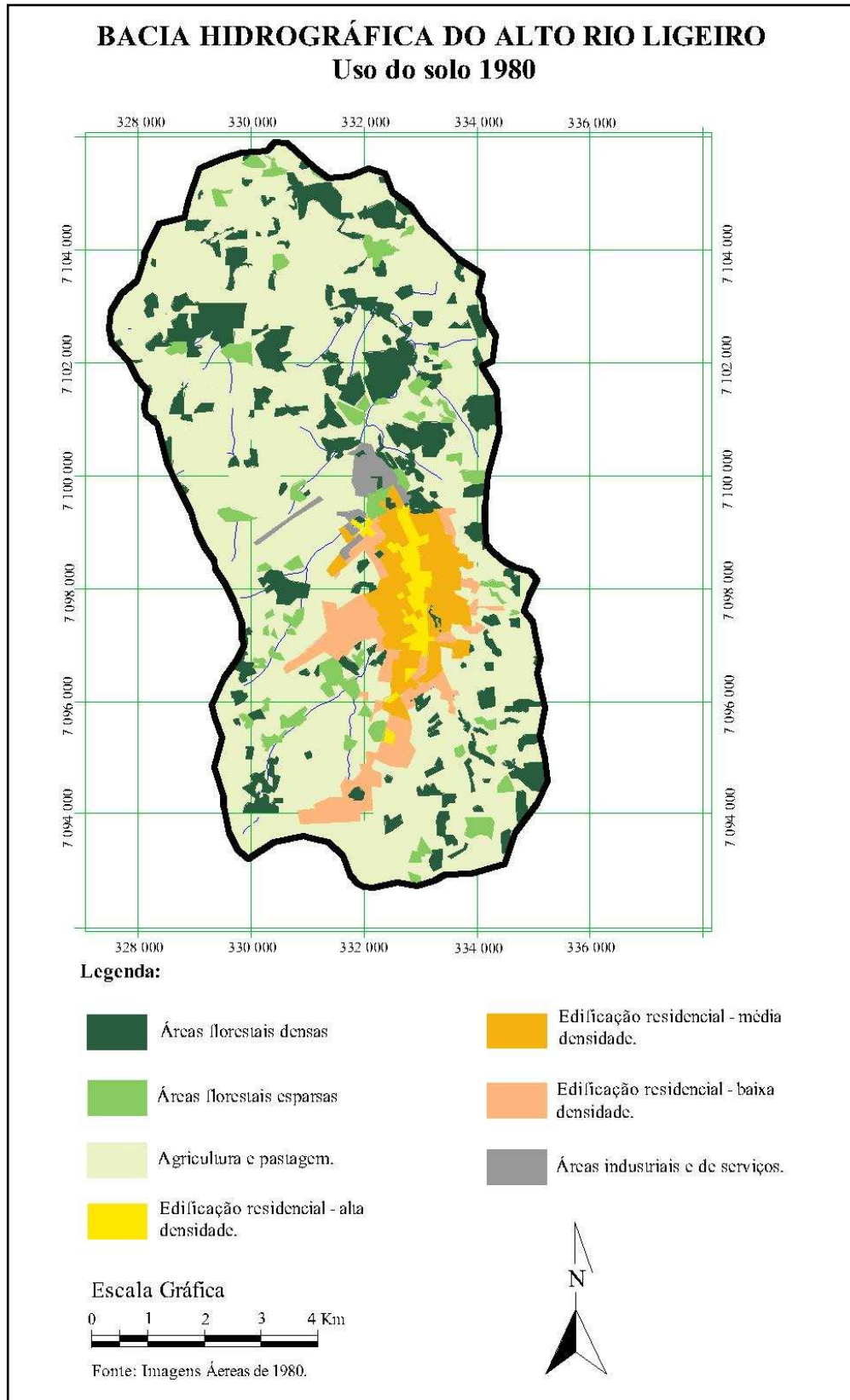


Figura 15. Mapa de uso do solo de 1980.

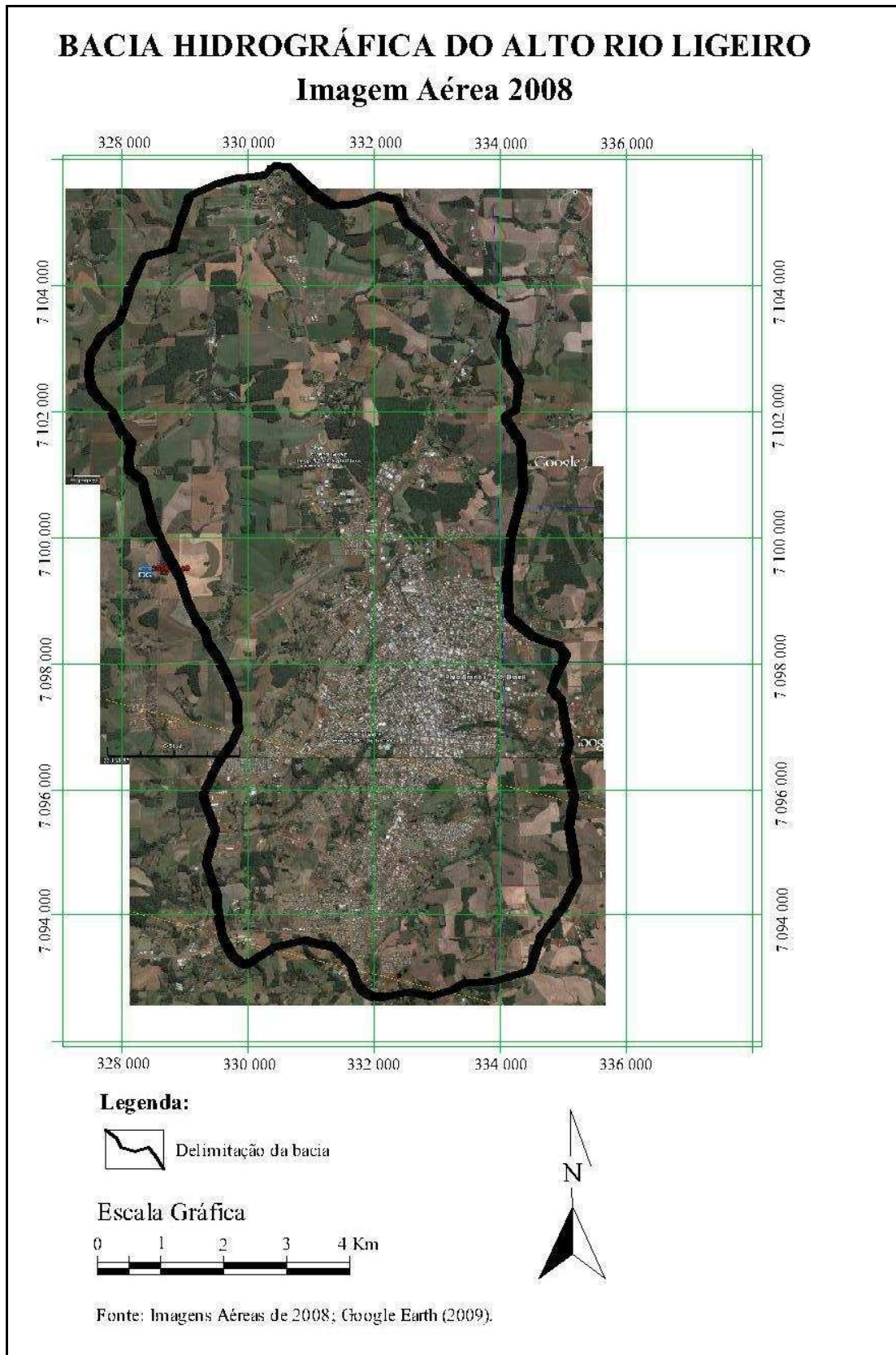


Figura 16. Imagem aérea 2008.

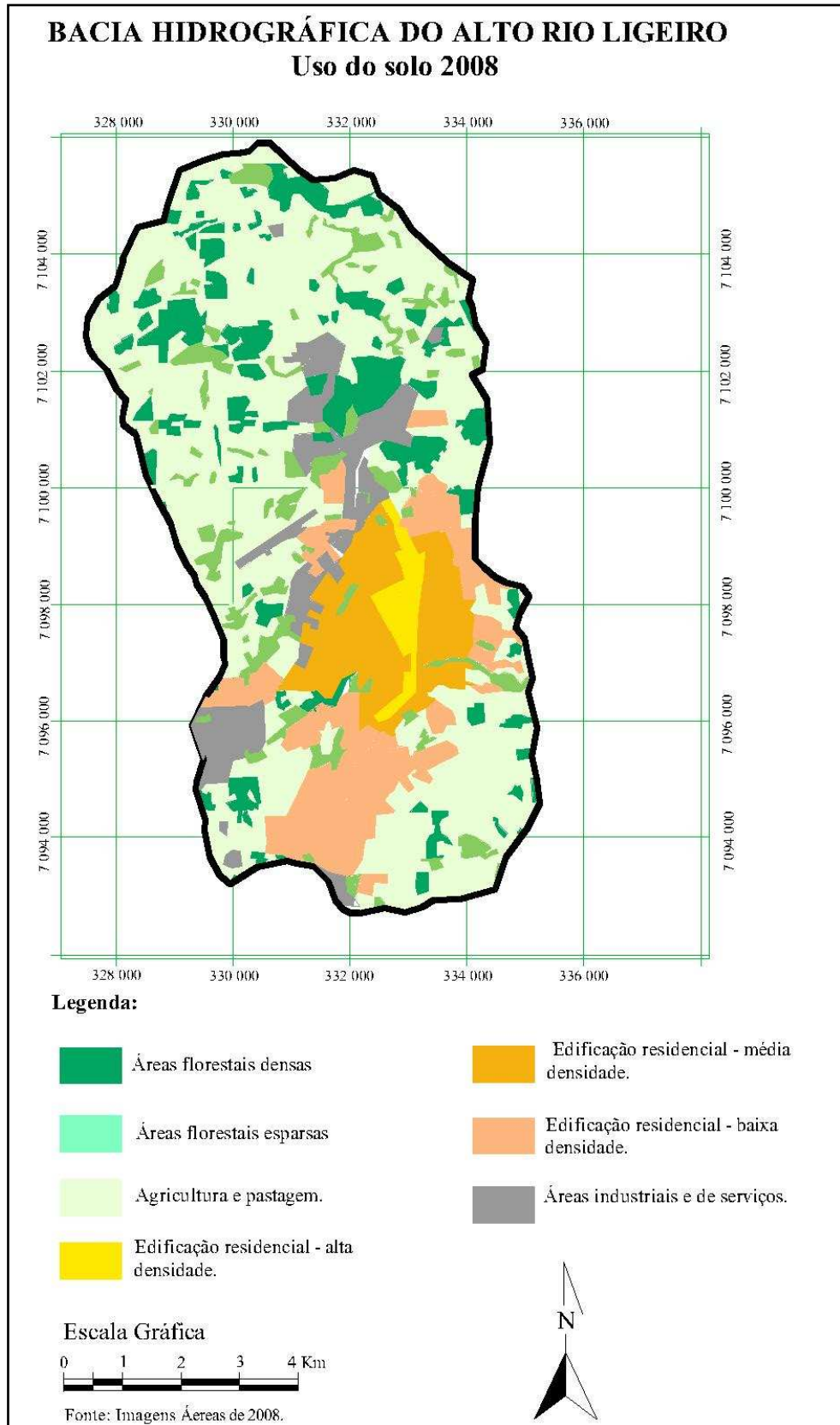


Figura 17. Mapa de uso do Solo de 2008.

- Coletor para encaixe dos fracos, para a submersão deste, com peso no mínimo de 4 Kg.
- Máquina fotográfica digital para o registro do dia da coleta;
- luvas de borrachas evitando o contato com a água;
- Corda superior a 3 m de comprimento, para locais de difícil acesso e assim facilitar a descida do coletor até o ponto central do rio, em locais onde encontram-se dificuldades ao alcançar às margens.
- engradado de polietileno para guardar as amostras.
- prancheta, caneta, adesivos e relógio.

#### 3.4.2 Pontos de Coletas de Amostras de Água

Os pontos de coletas foram determinados com o uso de mapas e trabalho de campo em locais de fácil acesso. Decidiu-se a distribuição de 4 (quatro) pontos de coletas, em toda a bacia hidrográfica, desde a sua nascente até o exutório (figuras 18 e 19). As coletas foram realizadas mensalmente, sendo total de 9 meses de amostragem, iniciado no mês de maio de 2008 e finalizado em janeiro de 2009.

O ponto 1 localiza-se em uma das nascentes do rio Ligeiro. Neste local encontra-se um pesque-pague construído às suas margens dificultando as coletas de água. Em períodos de chuva, o excedente dos tanques das lagoas de peixes é lançado ao rio, aumentando a turbidez e coloração. Parte da área de APP apresenta vegetação ciliar (característica de mata secundária), porém em medidas inferiores a 30 metros, contrariando o que é estabelecido em lei.

O ponto 2 está localizado na área urbana da cidade de Pato Branco, em região denominada de “baixada sul”, local de captação de água até o período de 1982. O ponto



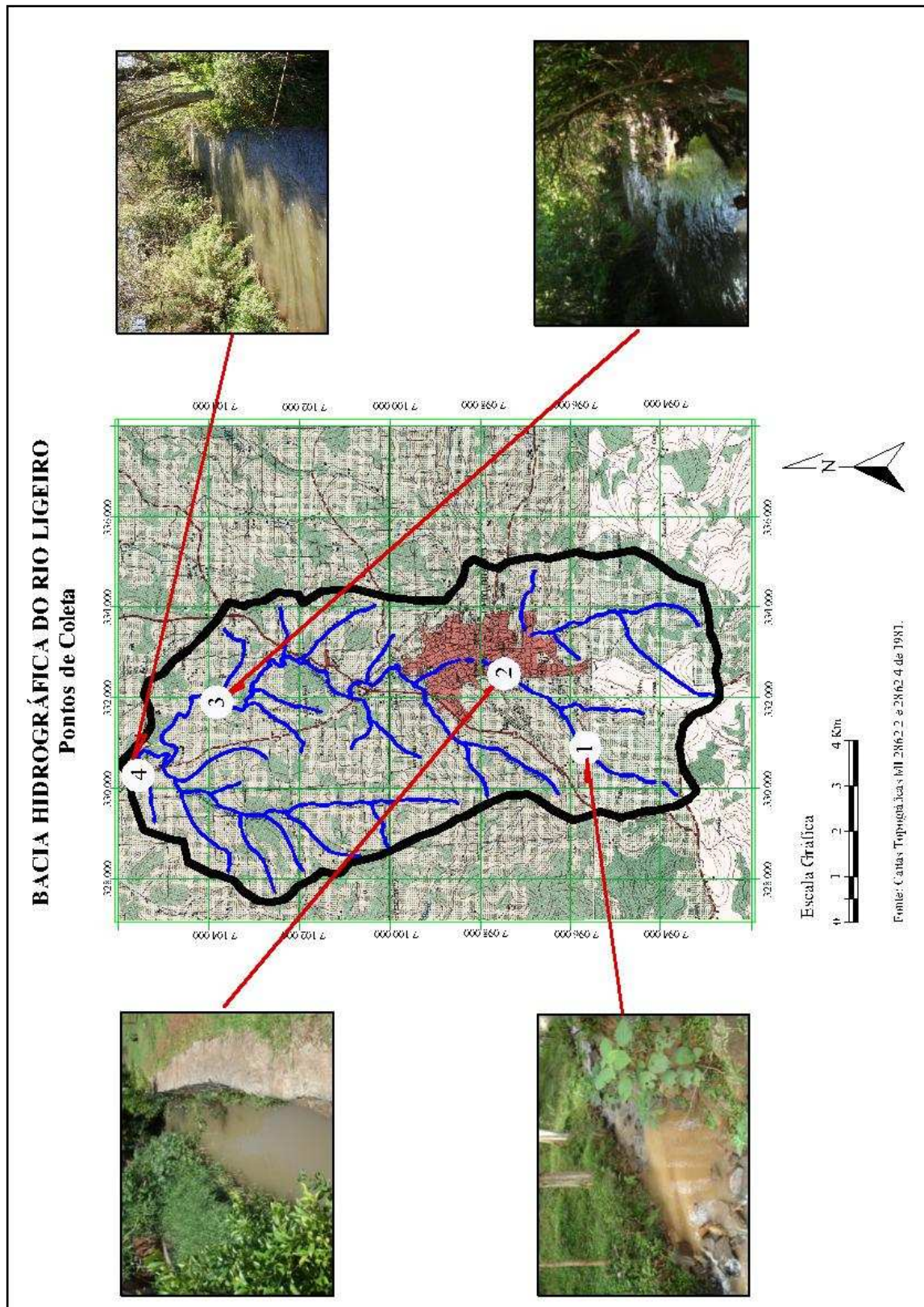


Figura 18. Pontos de coletas das amostras de água do Rio Ligeiro.





Figura 19. Pontos de coletas de amostras para qualidade da água.

encontra-se ao lado de um bar, região de fácil acesso e canalizado, facilitando a coleta da água. Neste ponto não há vegetação ciliar, contrariando lei municipal nº 975 /1990, em regiões onde apresenta a canalização do rio: apenas 30 cm de cada lado da margem são mantidas sem que haja construções, como apoio de fundações da edificação.

O ponto 3 foi posicionado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Pato Branco, local que se encontra um estudo de preservação da vegetação ciliar e trilha ecológica, para fins educacionais. Neste local, encontra-se faixa de APP de acordo com a lei, mas apenas em um lado das margens com característica de vegetação secundária.

O ponto 4 representa o exutório da área de estudo da bacia hidrográfica, o ponto localiza-se em uma ponte, o qual faz parte de uma estrada rural em direção às propriedades rurais locais. Neste ponto o rio recebe a águas do seu efluente da margem esquerda, o lajeado Passo da Pedra. As margens apresentam apenas uma mata secundária, mas sem a APP (área de preservação permanente).

Os parâmetros de qualidade de água foram determinados no laboratório de análise de água e alimentos (LAQUA) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco. As análises laboratoriais foram executadas por técnicos do laboratório LAQUA, seguindo os procedimentos da 12ª edição do STANDARD METHODS.

Foram determinados:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $DBO_{5,20}$ );
- Demanda Químico de Oxigênio (DQO);
- Condutividade Elétrica (CE);
- Fósforo (Pt);
- Potencial de Hidrogênio (pH);
- Turbidez (NTU);

- Sólidos em suspensão (SS);
- Sólidos Totais (ST);
- Organismos Termotolerantes (36°);
- Coliformes fecais: Escherichia Coli (44°).

Os resultados obtidos pela análise da qualidade da água foram comparados com os padrões de classe de qualidade conforme a resolução CONAMA n° 357/2005, de acordo com o fluxograma da figura 20.

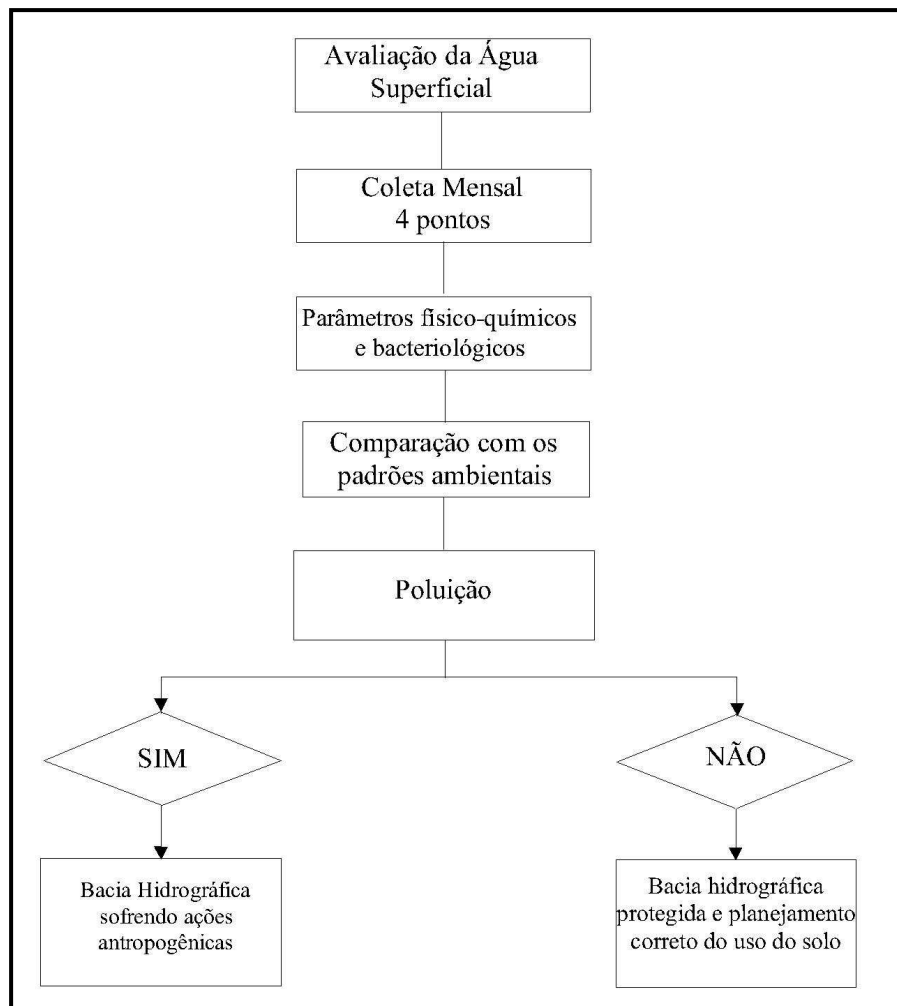


Figura 20. Fluxograma para análise da qualidade da água.

Para a coleta das amostras, o recipiente coletor foi de polietileno, previamente lavado e depois mantido com álcool etílico de 70% no seu interior, para esterilização completa.



Segundo SANTOS et al. (2001), os frascos a serem utilizados para a coleta de água devem ser quimicamente inertes. Recomenda-se o uso de fracos de polietileno, em função do preço mais atrativo, fácil manuseio e transporte (figura 21).



Figura 21. Coleta das amostras de água.

Para análises bacteriológicas, optou-se pelo uso de sacolas plásticas (*Thio-bags*), produto já esterilizado e contendo o tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), para volume de 100 mL mantendo a amostra conservada até o envio ao laboratório (figura 22).



*Thiobags* utilizadas para coleta de amostras em ensaios bacteriológicos.



Amostrador utilizados para dois litros de amostra, e ao lado o coletor com os pesos.



Coletor com os pesos para utilização de garrafas de 2 litros

Figura 22. Coletores para amostragem de água superficial.

A amostragem foi manual na imersão do frasco no corpo d'água, com a boca virada para cima, até uma profundidade desejada, que foi entre no máximo na metade da profundidade do rio, devido a baixa altura da lâmina d'água e a largura do rio.

Para que ocorresse o preenchimento do frasco, foi necessário o uso de pesos, que dimensionados em laboratório, totalizaram 4 kilogramas (quatro) para que o frasco imergisse na água, desenvolvido por Douglas Strapassoni, aluno da UTFPR.

Por ser uma amostra simples, esta se caracteriza por uma única amostra coletada em um ponto, em um determinado instante (o da coleta) e depositada num frasco individual (SANTOS et al, 2001) no meio do canal ou leito do rio.

Os frascos foram enviados ao laboratório LAQUA com no máximo 1 hora de armazenamento. Cada frasco era identificado pelo número de local de amostragem, data e hora da coleta.

### 3.5 CURVA DE PERMANÊNCIA

Sem a série histórica de vazão específica ( $L/s.km^2$ ) da bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro, calcularam-se as vazões da área de estudo utilizando o HG 52, deste modo, obteve-se como resultado, a vazão de referência  $Q_{95\%}$  para os procedimentos de outorga para captação e lançamento.

A vazão de referência  $Q_{95\%}$  é a vazão com permanência de 95% do tempo, a ser utilizada como indicador da vazão mínima do rio; muito calculada para avaliação econômica das PCHs (Pequenas centrais Hidroelétricas), da navegabilidade de um rio e das condições de variabilidade ambiental.

Basicamente o HG 52 regionaliza os dados fluviométricos do estado do Paraná, com intervalos de confiança, através de distribuição de probabilidades estatísticas. O HG 52 simula

a determinação das vazões de estiagem, conforme o tempo de recorrência, a elaboração da curva de permanência e vazões máximas.

O projeto HG-52 resultou no interesse da COPEL (Companhia Paranaense de Energia) em estudar com detalhes a geração de energia através de pequenas usinas (SANT'ANA; FIOR; KAVISKI, 1989). Este interesse continuou com outras pesquisas desenvolvidas pela CEHPAR, como o “Projeto HG-77 – Regionalização de vazões em pequenas bacias hidrográficas do Estado do Paraná: relatório n. 1 – Dados e parâmetros básicos”, Relatório Técnico, 1994 e Projeto HG-171 - Consistência e regionalização de dados hidrológicos: Relatório 03, Parte 2: Método de regionalização, de 2002.

A vazão específica é obtida com o uso de mapas, representada por isolinhas, conforme o local que se deseja estudar é preciso fazer a interpolação dos dados obtidos. Os dados obtidos foram inseridos no software *Excel* resultando nas vazões de cada frequência (porcentagem).

A curva de permanência obtida a partir do método utilizado no HG-52 emprega modelos probabilísticos de vazão específica média de longo prazo ( $Q_{LP}$ ) em mapas de isolinha. A figura 23 especifica estas isolinhas para a região do Sudoeste do Paraná.

Estimativa da vazão específica média de longo período ( $Q_{LP}$ ): para rios próximos a cidade de Pato branco, localizadas entre as isolinhas 26 e 28 L/s.km<sup>2</sup>, tem como vazão média específica de longo prazo um valor interpolado de 27,67 L/s.km<sup>2</sup>.

A vazão média de longo período em m<sup>3</sup>/s é determinada pela equação (8):

$$Q_{LP} = 0,001 \cdot A \cdot q_{LP} \quad \text{equação (8)}$$

Sendo  $q_{LP}$  a vazão média de longo período em L/s.km<sup>2</sup> e A área da bacia hidrográfica. O resultado obtido do  $Q_{LP}$  foi de 1,8853 m<sup>3</sup>/s. O intervalo de confiança pode ser determinado na seguinte equação 9:



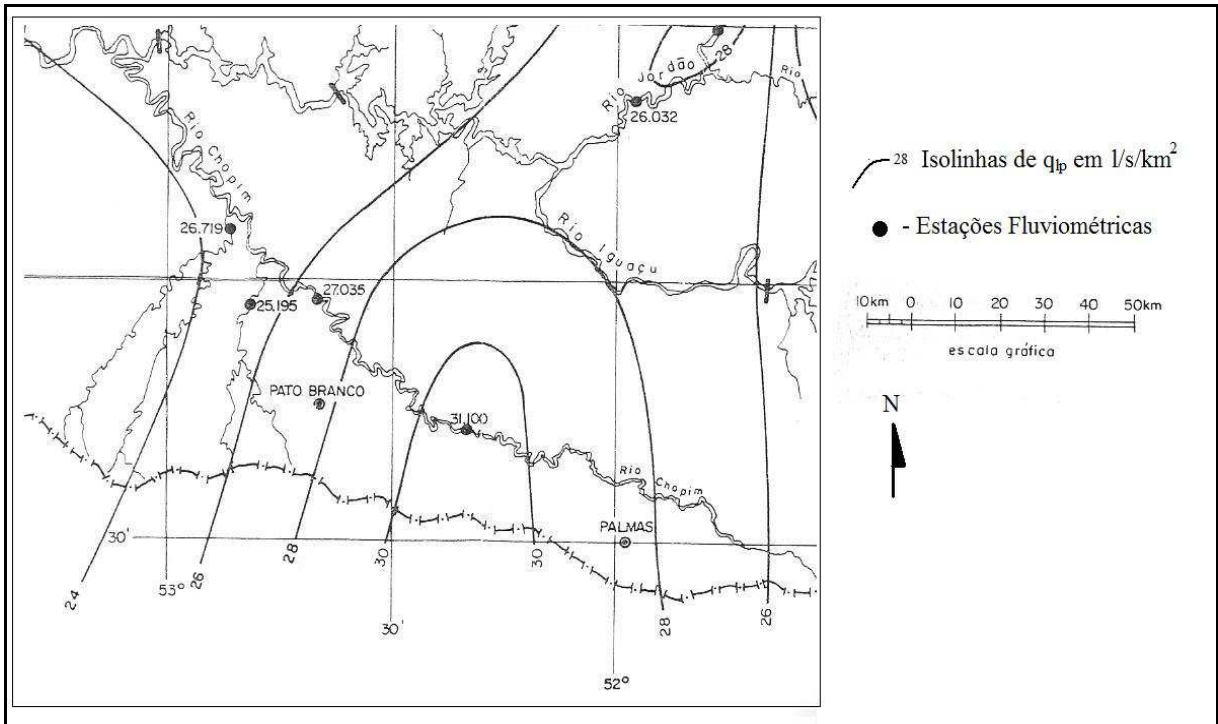


Figura 23. Vazão média de longo período.  
Fonte: Sant'ana; Fior; Kaviski (1989)

$$Q_{LP} - t_{1-\alpha/2} \cdot S_{LP} \leq \left[ \begin{array}{c} \text{Vazão média} \\ \text{longo período} \\ 1,8853 \end{array} \right] \leq Q_{LP} + t_{1-\alpha/2} \cdot S_{LP} \quad \text{equação (9)}$$

Onde  $S_{LP}$  é o erro padrão definido pela equação 10. O  $t_{1-\alpha/2}$  é o coeficiente de confiança adotado, conferindo intervalos de  $(1-\alpha)$  de 100% de probabilidade. Nesta equação 3 é preciso estipular os parâmetros  $a_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  que estão apresentados no quadro 2.

$$S_{LP} = \frac{A}{1000} \cdot a_0 [a_1 + (q_{LP} - a_2)^2]^{1/2} \quad \text{equação (10)}$$

Sub-bacia	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$
64	0,1622	66,00	17,22	2,11	2,90
65	0,1361	33,19	22,88	2,06	2,79
81	0,2236	69,23	15,62	2,31	3,36
82	0,2236	217,9	27,71	2,31	3,36

Quadro 2. Faixas de confiança.

Fonte: Sant'ana; Fior; Kaviski, 1989.

Sendo que as faixas de confiança para 95% o  $\alpha$  equivale a 0,05 e para 99% o  $\alpha$  equivale a 0,01 no quadro 2. O estado do Paraná foi dividido em 4 sub-bacias para melhor adequação dos métodos estatísticos utilizados. A bacia do alto do rio Ligeiro localiza-se na sub-bacia 65, como esta apresentada na figura (25).

Adotado a faixa de confiança de 95% e obtido os valores de  $a_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  calculou-se os intervalos de confiança, resultando em:

$$1,7425 \text{ m}^3 / \text{s} \leq \left[ \begin{array}{l} \text{Vazão média} \\ \text{longo período} \end{array} \right] \leq 2,028 \text{ m}^3 / \text{s}$$

A determinação da curva de permanência segue o preconizado por Sant'ana; Fior; Kaviski (1989) para a escolha do modelo a ser adotado emprega-se a seguinte regra: “para locais situados no mesmo rio e próximo às estações empregadas no estudo, adotar o modelo melhor ajustado para os dados observados naquela estação”.

Pelo mapa da figura 24, constata-se que a bacia hidrográfica em estudo esta localizada ao lado das bacias representadas pelas estações fluviométricas 65945000 (log-logística) na ponte do rio Vitorino, 65927000 (lomax) no Porto Palmeirinha e 65925000 (log-logística) em Salto Claudelino, ambas no rio Chopim. Assumiu-se para o rio Ligeiro o modelo log-logística, pois este apresenta maior similaridade com o rio Vitorino.

Determinado o modelo log-logístico, obtém-se a equação da curva de permanência adimensional, representada na equação 11:

$$X_p = \exp\{m + a[\ln(1 - F) - \ln F]\} \quad \text{equação (11)}$$

Onde  $X_p$  é a vazão uniforme em função da frequência  $F$  ( $F = p/100$ ), sendo  $p$  a porcentagem de permanência. Em função do local de estudo, nas figuras 25 e 26 obtém-se  $ML_0$  e  $ML_1$ , que resultam nos seguintes parâmetros, para o uso do modelo log-logístico:

$$m = ML_0 \quad \text{equação (12)}$$

$$a = ML_0 - 2ML_1 \quad \text{equação (13)}$$

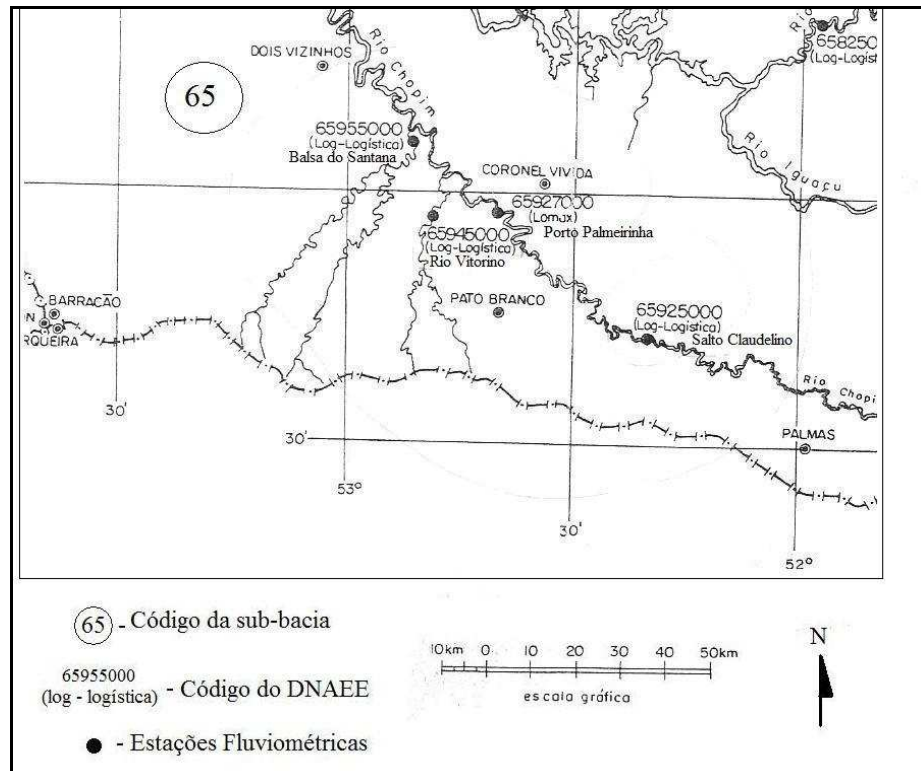


Figura 24. Localização de Pato Branco em relação à Sub-bacia.

Fonte: Sant'ana; Fior; Kaviski (1989).

$ML_0$  e  $ML_1$  são definidos como momentos com pesos probabilísticos, empregados na montagem dos sistemas de equações, cada modelo adotado apresenta as fórmulas para o cálculo de  $ML_0$  e  $ML_1$ , que foram inseridos nos mapas de isolinhas.

Através da figura 25 obtém-se o parâmetro  $ML_0$ . Pato Branco ficou localizado entre as isolinhas 0,44 a 0,40 e com a interpolação resultou em  $ML_0 = -0,412$ . Na figura 26 Pato Branco esta entre as isolinhas 0,44 a 0,42 e resultou em  $ML_1 = -0,42$ .

Com os parâmetros calculou-se “m” e “a”, com os seguintes resultados,  $m = -0,412$  e  $a = 0,428$ . Para o cálculo da curva de permanência para vazões específicas ( $qp$ ) em  $L/s/km^2$  foi utilizada a equação 14 e para o cálculo das vazões reais ( $Qp$ ) em  $m^3/s$ , a equação 15:

$$qp = Xp \cdot q_{LP} \quad \text{equação (14)}$$

$$Qp = Xp \cdot Q_{LP} \quad \text{equação (15)}$$

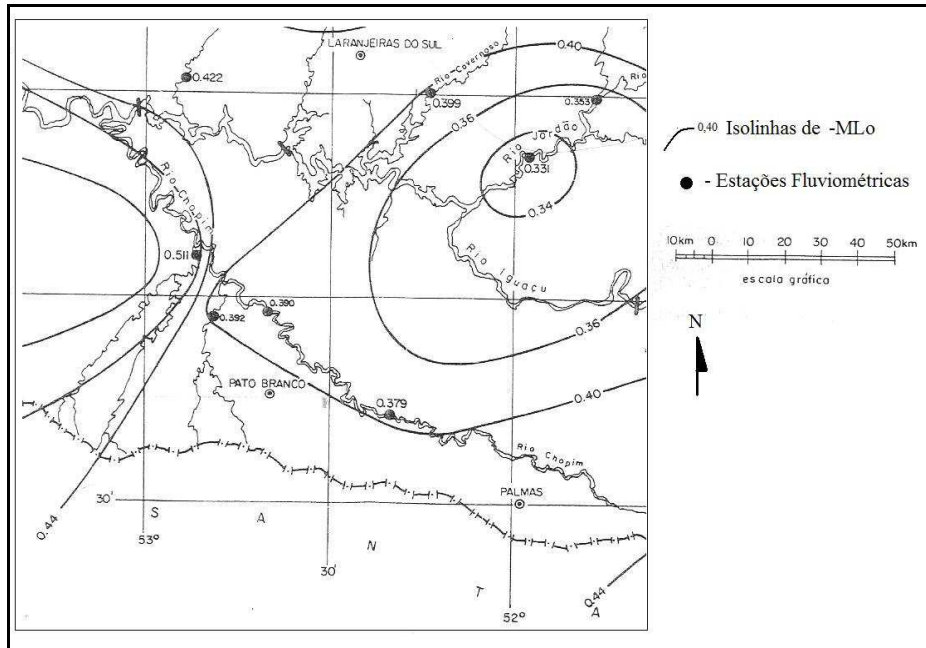


Figura 25. Valores de  $ML_0$ .

Fonte: Fonte: Sant'ana; Fior; Kaviski (1989)

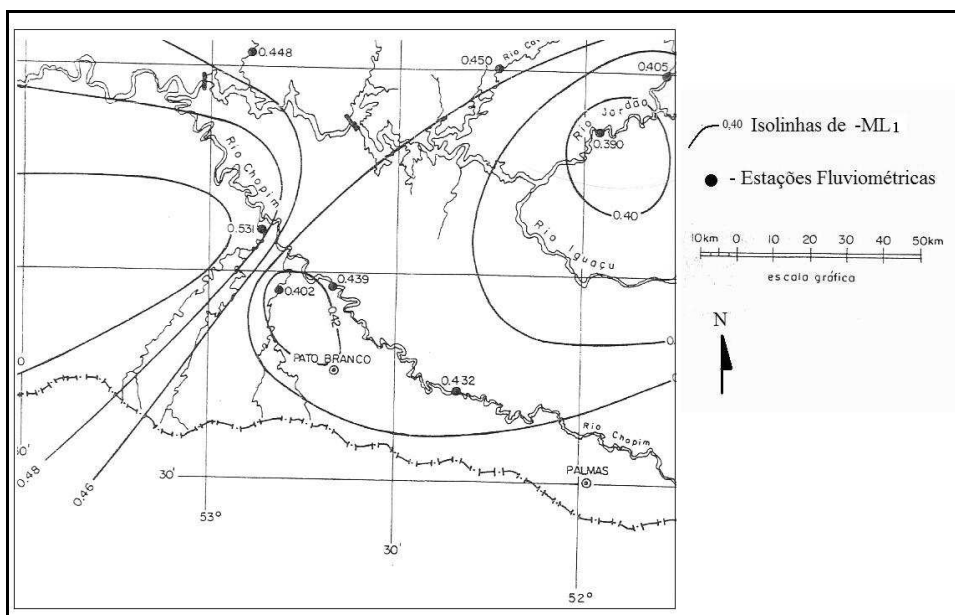


Figura 26. Valores de  $ML_1$ .

Fonte: Sant'ana; Fior; Kaviski (1989)

Para finalizar é preciso determinar os intervalos de confiança para a vazão referente a porcentagem  $p$  então representada pela equação 16, onde  $S_p$  é o erro padrão determinado pela equação 17:



$$Q_p - n_{1-\alpha/2} \cdot S_p \leq \left[ \begin{array}{l} \text{Vazão de } p \\ \text{porcentos} \\ \text{de permanência} \end{array} \right] \leq Q_p + n_{1-\alpha/2} \cdot S_p \quad \text{equação (16)}$$

$$S_p^2 = Q_{LP}^2 [2CV^2 + (X_p - 1)^2] / 100 + X_p^2 \cdot S_{LP}^2 \quad \text{equação (17)}$$

Sendo CV o coeficiente de variação das vazões médias diárias, obtido na figura 27. O Valor de CV para a área de estudo foi de 1,2.

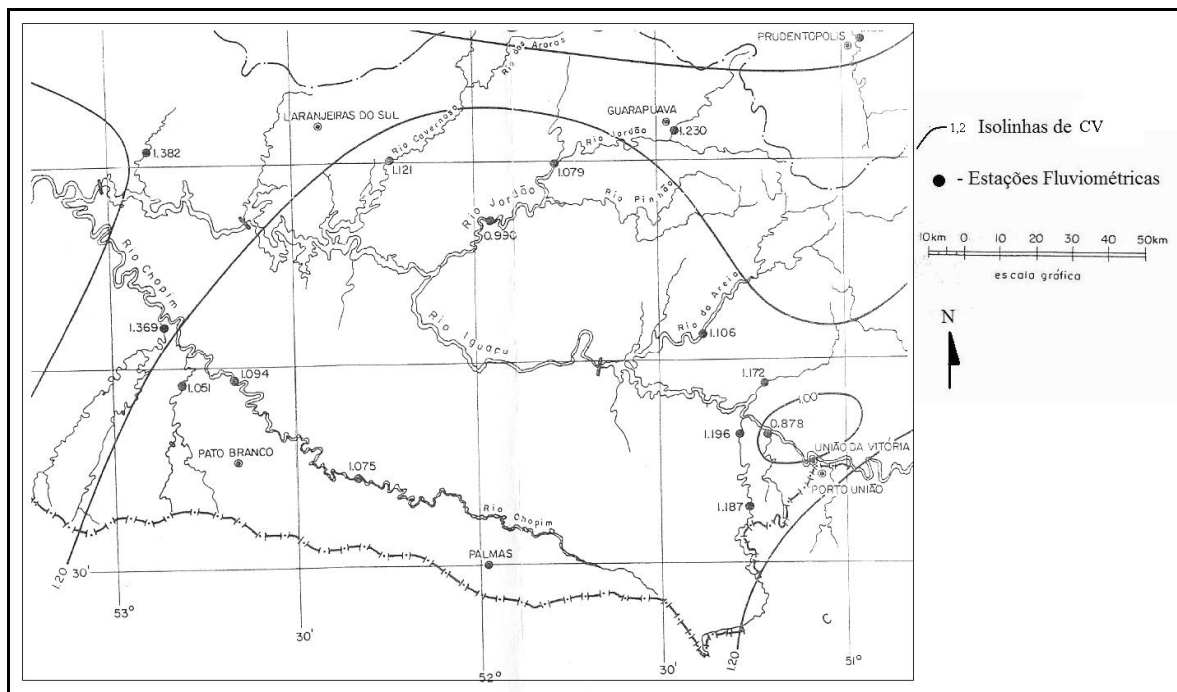


Figura 27. Coeficiente de variação das vazões médias diárias.

Fonte: Sant'ana; Fior; Kaviski (1989)

Para melhor exemplificar os cálculos, considerando a probabilidade de 1% para a vazão, isto é,  $F = 0,01$ , o valor encontrado de  $X_p$  é de 4,7337. Substituindo este valor nas equações 14 e 15, obtém-se os valores de  $q_p$  (vazão específica) de  $130,745 \text{ L/s.km}^2$  e  $Q_p$  (vazão real) de  $8,928 \text{ m}^3/\text{s}$ , considerada a vazão média.

Para obter  $Q_{LP}$  utilizou-se a equação 8, resultando no valor de  $1,885 \text{ m}^3/\text{s}$ , para a continuação do cálculo, os valores de  $Q_{LP}$ , de CV e  $X_p$  foram substituídos na equação 17, onde  $S_p$  resultou em 0,059.

Por fim, para encontrar os intervalos de confiança para a vazão referente a porcentagem de 1%, foi utilizado a equação 16, considerando  $\alpha = 0,05$  e  $n_{0,975} = 1,960$  os valores máximos e mínimos foram:

$$8,812 \text{ m}^3 / \text{s} \leq \left[ \begin{array}{c} \text{Vazão de 1\%} \\ \text{de permanência} \\ 8,928 \end{array} \right] \leq 9,043 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Para finalizar o cálculo da curva de permanência, utilizaram-se os valores de 1% a 100% de probabilidade de vazão específica. Cada intervalo de probabilidade resulta em uma vazão mínima, média e máxima.

### 3.6 MORFOMETRIA DA BACIA

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro, se fez partir de parâmetros físicos como o coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, declividade, altitude, ordem dos cursos d'água e densidade de drenagem. Com a delimitação da bacia, elaborada no software Auto-cad, obtiveram-se os dados das características físicas: a área da bacia, o perímetro, a altitude, comprimento do eixo da bacia entre outros.

A ordem dos cursos d'água por hierarquia fluvial consiste em se estabelecer a classificação do grau de ramificação ou bifurcação dos rios, quer sejam intermitentes ou perenes. A ordem pode ser determinada pelo sistema de Horton ou de Strahler (Figura 28) (TUCCI, 1997; CRISTOFOLETTI, 1980; ANDREOLLI, 2003). No sistema de Horton, consideram-se os canais de primeira ordem aqueles que não apresentam tributários, os canais de segunda ordem aqueles afluentes de primeira ordem e o de terceira ordem podem receber um ou mais tributários, tanto de primeira ordem como de segunda ordem. E assim sucessivamente. (TUCCI, 1997; CRISTOFOLETTI, 1980).

No sistema de Strahler, todos os canais sem tributários são de primeira ordem, sendo formadores dos rios, como exemplo as cabeceiras. Os de segunda ordem são segmentos formados pela junção de dois trechos inferiores, de dois canais de primeira ordem; os canais de terceira ordem originam-se da confluência<sup>7</sup> de dois canais de segunda ordem, e assim um canal de ordem “n” é formado pela união de dois canais de ordem “n-1”. (TUCCI, 1997; ANDREOLLI, 2003).

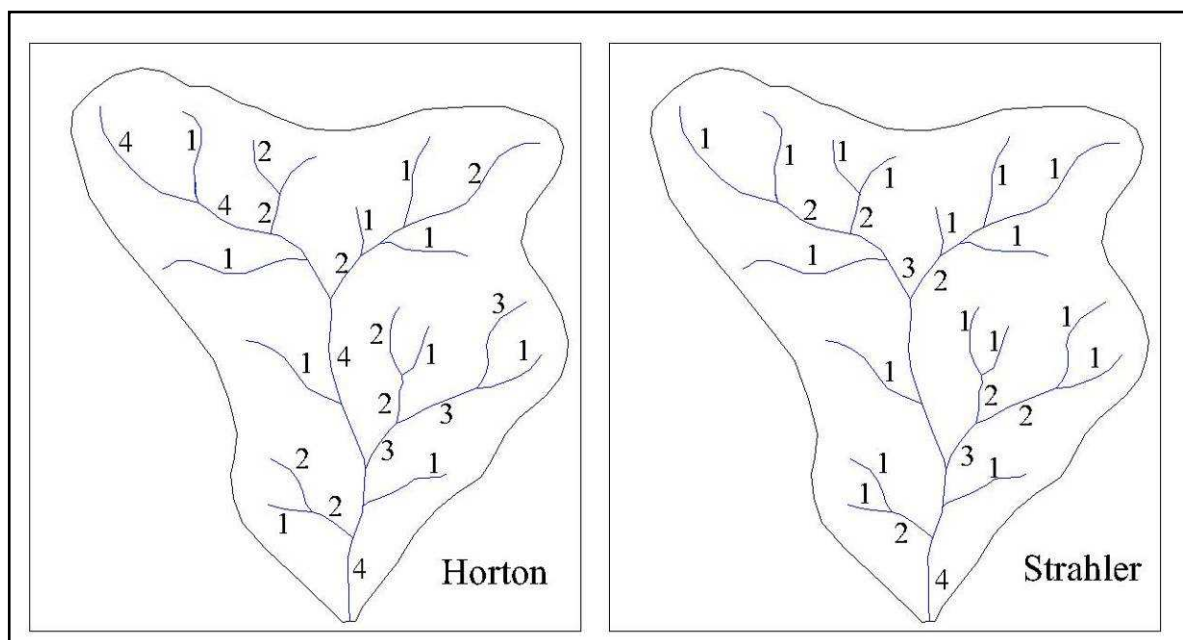


Figura 28. Ordem dos rios.  
Fonte: modificado de CRISTOFOLETTI (1980).

Segundo Lima (1986) a forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas características, principalmente a geologia. Podem atuar sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia.

A forma da bacia é determinada por índices que a relacionam a formas geométricas conhecidas: o fator de forma (Kf), coeficiente de compacidade (Kc) e índice de circularidade (Ic). A forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de

<sup>7</sup> Junção.

concentração, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para a sua saída (exutório) após uma precipitação. Quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características (VILLELA; MATTOS, 1975 apud TONELLO et al., 2006).

O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) relaciona a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro. Quanto mais próxima do valor de 1, mais próxima da forma circular estará a bacia, para valores superiores a 1 o formato da bacia tenderá a ser alongada ou irregular. (CRISTOFOLETTI, 1980; CARDOSO et al., 2006). Para o coeficiente de compacidade a fórmula empregada é apresentada pela equação (18):

$$K_c = \frac{0,28 \cdot P}{A^{1/2}} \quad \text{equação (18)}$$

Onde  $P$  é o perímetro da bacia (m), e  $A$  é a área da bacia hidrográfica ( $m^2$ ).

Para Cardoso et al. (2006), o fator de forma ( $K_f$ ) relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, corresponde à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão).

A figura 29 expressa a forma de duas bacias, A e B, o escoamento direto de uma dada chuva na bacia A não se concentra tão rapidamente como em B, além de que, bacia alongadas e estreitas são mais dificilmente atingidas integralmente por chuvas intensas (SCHWAB et al. Apud LIMA 1986), comparativamente bacia com fator de forma maior tem maiores chances de sofrer inundações do que bacias de fator de forma menor.

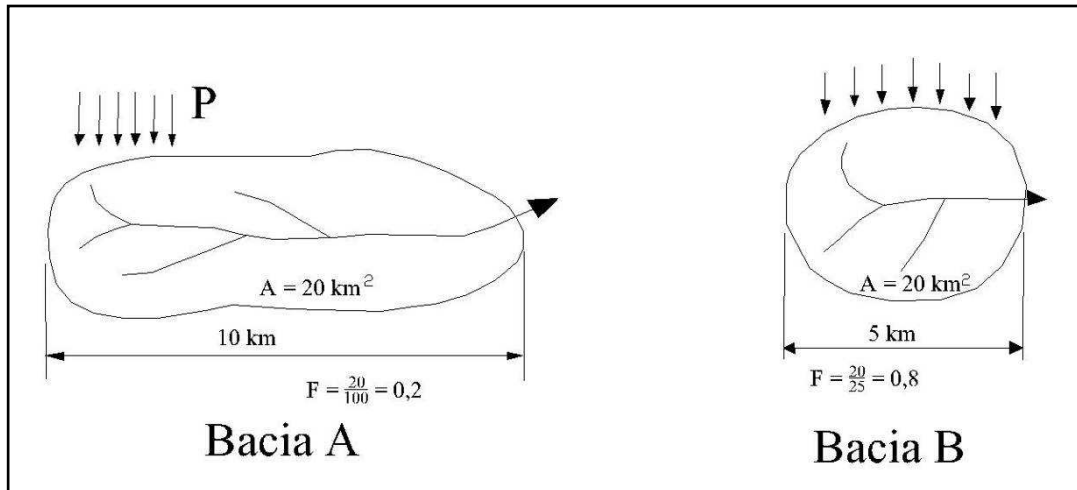


Figura 29. Fator de forma para diferentes bacias.  
 Fonte: modificado de LIMA, 1986.

A equação (19) para o cálculo de  $K_f$  foi desenvolvida por Horton apud Lima (1986);

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{equação (19)}$$

Onde,  $A$  = área da bacia ( $\text{m}^2$ ),  $L$  = comprimento do eixo da bacia (m).

O índice de circularidade ( $I_c$ ) também identifica a forma da bacia hidrográfica, se esta tende a ser alongada ou circular. Valores próximos de 1 a bacia apresenta a forma circular e valores menores tornam-na alongada. A equação utilizada para determinar o índice de circularidade é (CARDOSO et al., 2006):

$$I_c = \left( \frac{12,57 \cdot A}{P^2} \right) \quad \text{equação (20)}$$

Onde,  $A$  = área de drenagem ( $\text{m}^2$ ),  $P$  = perímetro (m).

Horton apud Lima (1986) definiu a densidade de drenagem ( $D_d$ ) como sendo a razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica. Este índice tem sua importância, pois reflete a influência da geologia, da topografia, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica, e este relacionado com o tempo gasto para saída do escoamento superficial. Em relação à densidade de drenagem, as bacias podem ser classificadas em

(STHRALER apud LIMA (1986)): Baixa Dd < 5,0 km/km<sup>2</sup>, Média Dd: 5,0 – 13,5 km/km<sup>2</sup>, Alta Dd: 13,5 – 155,5 km/km<sup>2</sup>, Muito alta Dd: >> 155,5 km/km<sup>2</sup>.

A densidade de drenagem é representada na equação:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad \text{equação (21)}$$

Onde, L = comprimento total de todos os canais (km), A = área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

As altitudes e a altitude média de uma bacia hidrográfica são fatores relacionados, segundo Lima (1986) com a temperatura e a precipitação local. Em bacias grandes, a altitude média pode ser mais facilmente determinada pelo método das interseções. Este método adotado utiliza o uso de uma transparência reticulada sobre o mapa da bacia, contam-se as interseções que se encontram dentro da área da bacia (método das quadrículas).

$$H = \sum \frac{h}{n} \quad \text{equação (22)}$$

onde:

H = altitude média da bacia (m)

h = altitude nas interseções (m)

n = número de interseções

Uma análise mais completa das características de altitude de uma bacia pode ser feita pela medição, com o uso de um mapa topográfico conveniente, das subáreas compreendidas entre pares sucessivos de curvas de nível. Avalia-se, então, a porcentagem correspondente a cada uma destas subáreas, em relação à área total da bacia. Por simples soma, obtém-se, a seguir, a porcentagem da área total que fica acima ou abaixo de uma dada altitude. Este método, descrito em Wisler; Brater (1964) apud Lima (1986) pode ser compreendido através do demonstrativo da Tabela 2, que ilustra o esquema de cálculo da altitude média da bacia hidrográfica experimental do Onça.

Tabela 2: Esquema demonstrativo do cálculo da altitude média.

Intervalo de classe (m)	Sub-área entre as curvas (km <sup>2</sup> ) (a)	Altitude média do intervalo (m) (h)	(a)*(h)	% sobre o total	% do total acima do limite inferior do intervalo
380 – 400	0,03	390	11,7	0,8	100,00
400 – 420	0,25	410	61,5	1,2	98,8
420 – 440	0,45	430	193,5	3,0	95,8
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
	$\Sigma = A$		$\Sigma (a)*(h)$		

Fonte: LIMA, 1986.

Assim, a altitude média da bacia é, então, calculada pela seguinte expressão:

$$H = \frac{\sum (a \cdot h)}{A} \quad \text{equação (23)}$$

Os dados da Tabela 2 servem para a determinação da chamada curva hipsométrica da bacia, a qual mostra a porcentagem da área da bacia que se encontra acima de uma determinada altitude básica (LIMA, 1986).

A declividade apresenta as variações que ocorrem no terreno conforme o relevo o qual está inserido. A declividade dos terrenos de uma bacia hidrográfica controla em boa parte a velocidade do escoamento superficial, afetando o tempo que leva a água a escoar e concentrar-se nos leitos fluviais. (ANDREOLLI et al., 2003). A declividade foi calculada pela equação 24 segundo LIMA (1986):

$$D\% = \left( \frac{D \cdot L}{A} \right) \cdot 100 \quad \text{equação (24)}$$

onde:

D% = declividade média (%)

D = distância entre as curvas de nível (m)

L = comprimento total das curvas de nível (m)

A = área da bacia hidrográfica (m<sup>2</sup>)

A declividade média do curso d'água compreende na relação entre os desníveis da nascente ao exutório e a distâncias percorridas entre as cotas; máxima e mínima. Pode-se também determinar o perfil longitudinal do rio, e obter a declividade em relação a cada curva de nível. A declividade média do curso d'água foi calculada com o uso da equação 25:

$$Dm = \frac{H_1 - H_2}{d} \quad \text{equação (25)}$$

Onde:

$H_1$  = altitude da nascente do rio (m);

$H_2$  = altitude do exutório (m)

$d$  = distância percorrida entre as altitudes (m)

### 3.7 MÉTODO DA CURVA NÚMERO

O método da Curva Número foi desenvolvido para análise da precipitação na produção da vazão direta (Qd). Este método foi apresentado em 1972, pelo Soil Conservation Service (SCS, Secretaria de Agricultura dos Estados Unidos) (LANÇA; RODRIGUES, 2000). A metodologia da Curva Número (CN) do SCS se baseia na classificação hidrológica do solo (conforme seu grupo hidrológico), sua utilização (uso do solo) e a condição de sua superfície no que diz respeito à potencialidade de gerar escoamento superficial. (BAUGARTEN; FELIX; MÜLLER, 2003).

Levantamentos aerofogramétricos (1980), imagem aérea (2008) e análises de solos (TABALIPA, 2008) permitiram a utilização do procedimento metodológico da Curva Número (figura 30). A intensidade de precipitação máxima (i) é calculada para cada cidade, que possua a fórmula base (Instituto de Saneamento Ambiental – ISAM apud Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental SUDERHSA (2000), segundo a equação:



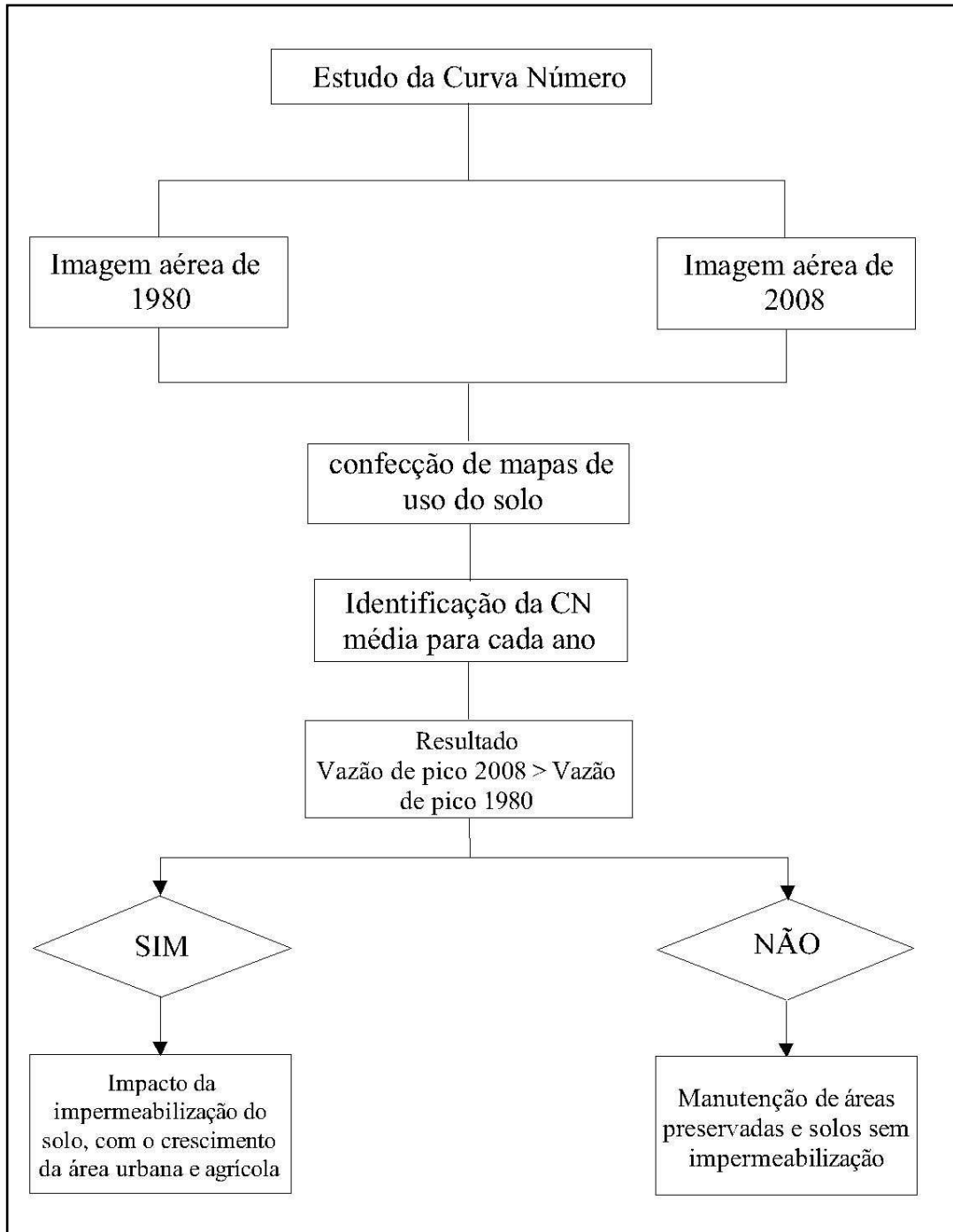


Figura 30. Fluxograma para o estudo da Curva Número.

$$i = \frac{a}{(t + b)^m} \cdot Tr^n$$

equação (26)

Onde:

$i$  = intensidade pluviométrica (mm/h)

$td$  = duração da precipitação (min)

$T_r$  = tempo de recorrência (anos)

$a, b, m, n$  = coeficientes definidos pela fórmula base regionalizada

Para a determinação do tipo de solo da área de estudo (alto do rio Ligeiro), utilizou-se do ábaco de classificação textural (figura 31), no qual são identificados os quatro grupos hidrológicos, A, B, C ou D (LANÇA; RODRIGUES, 2000). Segundo Mendes Filho; Vendrame; Carvalho (2007) os solos são classificados de acordo com a suscetibilidade a erosão e a produção de escoamento, de acordo com suas propriedades hidrológicas independentemente da cobertura e da declividade da bacia.

Na classificação original, o (SCS) reuniu os solos em quatro grandes grupos baseando-se na premissa de que os perfis de solo com características semelhantes (espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e grau de expansão) sendo a cada um deles atribuído uma letra A, B, C ou D (quadro 3), respondendo de forma semelhante a uma chuva de grande duração e intensidade considerável, ou seja, conforme a capacidade de infiltração e produção de escoamento.

O escoamento superficial não se inicia logo após a precipitação, isso vai depender da saturação a qual se encontra o solo, da interceptação e da retenção temporária de água na bacia.

A altura da água precipitada até o início da formação do escoamento superficial constitui o que a SCS denomina por perdas iniciais, representada por 'Po'. Estas perdas iniciais são constituídas por três parcelas: interceptação, retenção e infiltração até a saturação da camada superficial do solo (BAUGARTEN; FELIX; MÜLLER, 2003). Conforme a equação 26, as perdas iniciais são consideradas 20% da capacidade máxima de saturação:

$$P_o = 0,2 \cdot S \quad \text{equação (27)}$$

Onde, S é a capacidade de retenção máxima ou de saturação da bacia (mm).

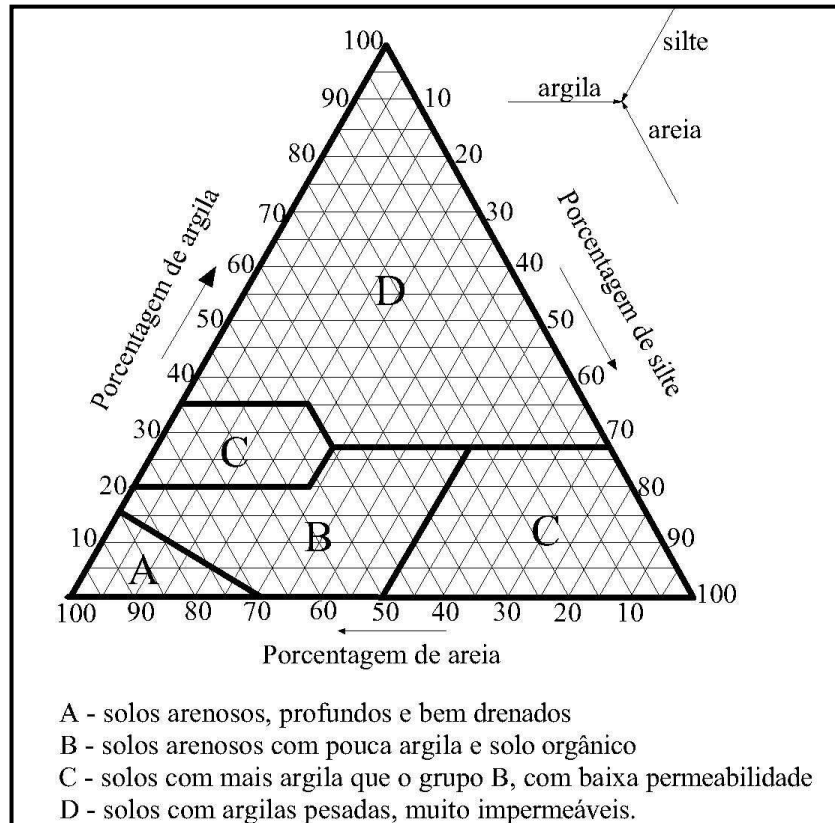


Figura 31. Ábaco triangular para a classificação do grupo hidrológico de solo.  
 Fonte: Modificado de DEBO, (1995) apud LANÇA e RODRIGUES (2000).

Características físicas e estruturais dos solos	Capacidade de infiltração	Classe hidrológica dos solos
Solos arenosos, profundos e bem drenados.	$> 7,6 \text{ mm.h}^{-1}$	<b>A</b>
Solos arenosos com pouca argila e solo orgânico	$3,8 \text{ e } 7,6 \text{ mm.h}^{-1}$	<b>B</b>
Solos mais argilosos que aqueles do grupo B, com baixa permeabilidade	$1,3 \text{ e } 3,8 \text{ mm.h}^{-1}$	<b>C</b>
Solos com argilas pesadas, muito impermeáveis.	$< 1,3 \text{ mm.h}^{-1}$	<b>D</b>

Quadro 3. Classificação dos solos segundo a capacidade de infiltração (classe hidrológica).  
 Fonte: Barreto e de Sousa, 2003 apud Mendes Filho, Vendrame e de Carvalho (2007).

Para determinação da capacidade máxima de saturação de água de uma bacia se utiliza da seguinte expressão:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{equação (28)}$$

Os parâmetros CN adquirem valores compreendidos entre 0 a 100, depende do tipo de solo e do teor de umidade (BAUGARTEN; FELIX; MÜLLER, 2003; LANÇA;

RODRIGUES, 2000). Solos com valores de CN tendendo a 100 são considerados impermeáveis e CN tendendo a zero são completamente permeáveis. Segundo Baugarten; Felix; Müller (2003) a partir de estudos desenvolvidos pelo SCS em diferentes bacias, tanto urbanas como em rurais, foi possível tabelar valores de CN para diversos tipos de solos, segundo a sua capacidade de infiltração e interação com as tipologias de cobertura do solo (quadro 4).

Os valores da CN são valores relativos às condições antecedentes de umidade do solo referente à situação, denominada de NII, ou seja, em condições normais de umidade do solo. Estas condições antecedentes de umidade são ajustadas através de relações com as condições de normalidade de umidade (BAUGARTEN; FELIX; MÜLLER, 2003). Para cálculo de NI e NIII são utilizadas as equações 28 e 29. A quadro 5 apresenta valores de CN para áreas urbanas e sub-urbanas e o quadro 6 exclusivamente para áreas rurais com atividades agrícolas, de pastagens e de floresta em condições de umidade antecedente média ( $N_{II}$ ).

<b>NI</b>	Situação em que os solos estão secos, mas não no ponto de emurchecimento. A consideração deste caso é pouco recomendável para estudos de vazões de cheias
<b>NII</b>	Situação média em que a umidade do solo deve corresponder à capacidade de campo. Esta situação corresponde provavelmente às condições de umidade antecedentes de cheias de pequenas dimensões.
<b>NIII</b>	Situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo se encontra quase saturado. Esta situação mais propícia à formação de maiores cheias e, portanto aquela que tem maior importância para o projeto.

Quadro 4. Condições antecedentes de umidade.

Fonte: Baugarten; Felix; Müller (2003).

$$\text{Condição I:} \quad NI = \frac{4,2 \cdot NII}{10 - 0,058 \cdot NII} \quad \text{equação (29)}$$

$$\text{Condição III:} \quad NIII = \frac{23 \cdot NII}{10 + 0,13 \cdot NII} \quad \text{equação (30)}$$

Onde, NII = número da CN, na tabela da condição de umidade normal.

Cobertura do solo	Classe hidrológica dos solos			
	A	B	C	D
<b>Áreas de Agricultura</b>				
Sem medidas de conservação do solo	72	81	88	91
Com medidas de conservação do solo	62	71	78	81
<b>Pastagem ou Terrenos Baldios</b>				
Em más condições	68	79	86	89
Em boas condições	39	61	74	80
Prados em boas condições	30	58	71	78
<b>Bosques ou Áreas Florestais</b>				
Cobertura má sem matéria orgânica ("Mulch")	45	66	77	83
Boa cobertura do solo	25	55	70	77
<b>Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, etc</b>				
Boas condições com relva cobrindo mais de 75% da área	39	61	74	80
Condições razoáveis com relva cobrindo de 50 a 75 % da área	49	69	79	84
<b>Áreas comerciais e industriais</b>				
Áreas comerciais e de escritórios (85 % da área impermeável)	89	92	94	95
Áreas industriais (72% de área impermeável)	81	88	91	93
<b>Áreas Residenciais</b>				
Áreas médias dos lotes <500m <sup>2</sup> com média de 65% impermeável	77	85	90	92
Áreas médias dos lotes até 1000m <sup>2</sup> com média de 38% impermeável	61	75	83	87
Áreas médias dos lotes até 1300m <sup>2</sup> com média de 30% impermeável	57	72	81	86
Áreas médias dos lotes até 2000m <sup>2</sup> com média de 25% impermeável	54	70	80	85
Áreas médias dos lotes até 4000m <sup>2</sup> com média de 20% impermeável	51	68	79	84
<b>Superfícies variadas</b>				
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
<b>Arruamentos e Estradas</b>				
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Gravilha ou macademizadas	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Quadro 5. Valores de Curva Número em áreas urbanas e suburbanas.

Fonte: Baugarten; Felix; Müller, 2003.

Cobertura do solo	Classe hidrológica dos solos			
	A	B	C	D
Solo lavrado	77	86	91	94
Cultivo agrícola segundo maior declive	64	76	84	88
Cultivo agrícola segundo as curvas de nível	62	74	82	85
Cultivo agrícola segundo as curvas de nível e em terraços	60	72	79	82
Rotações de cultura segundo maior declive	62	75	83	87
Rotações de cultura segundo as curvas de nível	60	72	81	84
Rotações de cultura segundo as curvas de nível e em terraços	57	70	78	82
Pastagem Pobre	68	79	86	89
Pastagem Normal	49	69	79	84
Pastagem Boa	39	61	74	80
Pastagem Pobre segundo as curvas de nível	47	67	81	88
Pastagem Normal segundo as curvas de nível	25	59	75	83
Prado ou campo permanente Normal	30	58	71	78
Zonas sociais rurais Normal	59	74	82	86
Estradas com pavimento permeável	72	82	87	89
Estradas com pavimento impermeável	74	84	90	92
Floresta muito abertas ou de baixa transpiração	56	75	86	91
Floresta abertas ou de baixa transpiração	46	68	78	84
Floresta normal	36	60	70	76
Floresta densa ou de alta transpiração	26	52	62	69
Floresta muito densa ou de alta transpiração	15	44	54	61
Superfície impermeável	100	100	100	100

Quadro 6. Valores de Curva Número para áreas ou regiões rurais.

Fonte: Baugarten; Felix; Müller, 2003.

A expressão proposta para o cálculo da precipitação efetiva - que produz escoamento direto - pelo método da CN (LANÇA; RODRIGUES, 2000), é a seguinte:

$$Pe = \frac{Pp - It}{Pp - It + S} \quad \text{equação (31)}$$

Substituindo a equação (27) na equação (31), resulta em:

$$Pe = \frac{(Pp - 0,2 \cdot S)}{Pp + 0,8 \cdot S} \quad \text{equação (32)}$$

Continuando e substituindo a equação (28) em (32), obtêm a equação da precipitação efetiva:

$$Pe = \frac{\left( Pp - \frac{5080}{CN} + 50,8 \right)^2}{Pp + \frac{20320}{CN} + 203,2} \quad \text{equação (33)}$$

Sendo:

Pe = precipitação efetiva; que produz escoamento direto (Qd)

Pp = precipitação total;

Segundo Baugarten; Felix; Müller (2003); Osta (1997) apud Nunes; Fiori (2007) a análise da equação (32) constata-se que, para um valor de CN igual a zero, obtêm-se um valor de S infinito e para um valor de CN igual a 100, o resultado obtido é zero, ou nulo. Compreende-se que a curva número varia entre dois valores e que uma bacia com CN igual a 100, seja totalmente impermeável, dispondo de uma capacidade nula de absorção da precipitação.

As perdas reais máximas ( $P_{m\acute{a}x}$ ) são calculadas pela equação 34, e compreendem as águas acumuladas que ficam disponíveis na bacia hidrográfica para a alimentação de águas subterrâneas (processo de infiltração), para utilização de cultivos e também podem sofrer o processo de evaporação.

$$P_{m\acute{a}x} = Pp - Po - Pe \quad \text{equação (34)}$$

O coeficiente de escoamento superficial (CE) ou coeficiente de “*runoff*” é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. O conhecimento do coeficiente de escoamento superficial é fundamental para prever a vazão de uma enchente provocada por precipitações intensas. O coeficiente de escoamento superficial é adimensional, variando de 0 a 100%, quanto mais alto o valor, mais impermeabilizado encontra-se o solo, aumentando a formação do escoamento superficial, pois este é diretamente proporcional. O coeficiente de escoamento superficial pode ser calculado pela seguinte equação:

$$CE = \frac{Pe}{Pp} \quad \text{equação (35)}$$

### 3.8 CÁLCULO DA VAZÃO MÁXIMA

A equação para o cálculo da vazão máxima, com uso da fórmula racional é descrita pela equação 34 (TUCCI, 1997; WATSS; HAWKE, 2003):

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} \quad \text{equação (36)}$$

Onde:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s)

C = coeficiente de *runoff*

i = intensidade da precipitação conforme o tempo de concentração  
(mm/h)

A = área da bacia (km<sup>2</sup>)

Aplicando-se o método proposto por Ven Te Chow, conforme a equação 34 (NUNES; FIORI, 2007) se estabelece que a chuva efetiva, denominada de chuva excedente é responsável pelas vazões de cheias principalmente em bacias de pequenas escalas e

urbanizadas e é, justamente, na impermeabilização do solo devido à urbanização a principal geradora do aumento do escoamento superficial.

$$Q = \frac{A \cdot X \cdot Y \cdot Z}{3,6} \quad \text{equação (37)}$$

Sendo:

Q = Vazão máxima em m<sup>3</sup>/s;

A = área da bacia em km<sup>2</sup>,

X = fator de deflúvio, sendo igual a razão da precipitação efetiva pela duração (Pe/td);

Y = fator climático, igual a unidade em locais onde há fórmula base regionalizada.

Z = fator de redução do tempo de pico (adimensional).

Como a duração da chuva para a qual o método define a vazão máxima é desconhecida, optou-se para este trabalho um procedimento de simulação, descrito em Nunes; Fiori (2007) seguindo as seguintes diretrizes:

- a) Q é a vazão (m<sup>3</sup>/s);
- b) A corresponde à área da bacia, em km<sup>2</sup>;
- c) Para cada valor de chuva, obteve-se a intensidade pluviométrica (i), com o uso da equação base regionalizada para Pato Branco, estipulando-se os tempos de recorrência de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos e os parâmetros da equação base regionalizada (mm/h).
- d) Os tempos de duração das chuvas (20 a 240 minutos) (td) expressos em horas;
- e) Calcula-se a chuva ou precipitação total (Pp) pela multiplicação de “i” (mm/h) e “td” em horas:

$$Pp = i \cdot td \quad \text{equação (38)}$$

f) calcula-se a (X) intensidade da chuva excedente (X = Pe/td). Uma vez que o fator de deflúvio “X” é a razão da chuva excedente pela duração, para o cálculo do excesso da chuva



foi utilizado a fórmula do Soil Conservation Service, sendo aplicada somente após a determinação da chuva total e o número de deflúvio, seguindo a metodologia proposta em Nunes; Fiori (2007).

g) O valor de Y corresponde ao fator climático, sendo este adimensional, o valor adotado é de 1,06, conforme Ven Te Chow apud Governo do Estado do Rio de Janeiro (1996) “com base em dados de campo recomendou o valor de 1,06 e desaconselhou investigações mais aprofundadas a respeito, por julgá-las por demais laboriosas e de pouco efeito prático”.

h) Para determinar o valor do fator de atenuação (ou redução) de pico Z, relação entre  $t_p/t_d$ , onde os valores são tabelados. É preciso antes determinar o tempo de pico da bacia hidrográfica e para isso utilizou-se a equação (39) de Ven Te Chow (NUNES; FIORI, 2007):

$$t_p = 25,20 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64} \quad \text{equação (39)}$$

Sendo:

$t_p$  = o tempo de pico da vazão ou de vazão máxima (minutos)

L = comprimento do curso principal de água da bacia (km)

I = a declividade média do curso d'água principal (%)

#### Exemplificando a metodologia:

O comprimento do curso d'água da bacia do alto do rio Ligeiro é de 12,181 km e a declividade da bacia foi obtida pela equação (25), em conjunto com a confecção do perfil longitudinal do fundo de vale do rio Ligeiro, sendo o valor de 1,5%, logo o “ $t_p$ ” da bacia hidrográfica é de aproximadamente (1,83) horas.

Exemplificando:

$$t_p = 25,20 \times (12,181/1,5^{1/2})^{0,64} = 109,62 \text{ minutos ou } 1,83 \text{ horas.}$$

Com os valores de  $t_d$  adotados desde o início do cálculo, e com o tempo de pico determinado, obtém-se Z, conforme apresentado no quadro 7:

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

Quadro 7. Fator de redução do tempo de pico de vazão.

Para td de 0,3 horas, o valor da relação  $td/tp = 0,3/1,83 = 0,16$ , no quadro 7, este resultado compreende a  $Z = 0,14$ . Os valores encontrados para Z estão todos apresentados no quadro 7.

Nota-se que em alguns casos, para determinar Z foi preciso interpolar os dados, como exemplo, tem-se para  $td/tp = 0,73$ , este valor não se encontra no quadro 7, logo para obtê-lo, calculou-se considerando o intervalo entre 0,72 e 0,74, correspondendo a Z entre 0,51 e 0,52:

$$0,72 - 0,74 = 2$$

$$0,51 - 0,52 = 0,01$$

$$0,01 / 2 = 0,005, \text{ logo } 0,51 + 0,005 = 0,515 \text{ valor para } td/tp = 0,73$$

Os resultados de Z estão no quadro 8:

h) Após ter obtido os valores de A, X, Y e Z, o último procedimento é colocar todos os dados e calcular a vazão de pico para cada ano estabelecido, a sistemática do processo esta apresentado no quadro 9, tendo como exemplo os valores para 10 anos, na condição CNI, para

o ano de 1980. Para td de 20 minutos, e intensidade da chuva de 106, 10 mm/h,  $Z = 0,14$ ;  $Y = 1,06$  e  $X = 1,45$ , a vazão de pico resultou-se em:

$$Q = (68,26 \times 1,45 \times 1,06 \times 0,14) / 3,6 = 4,08 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tempo de Duração td em horas	td/tp	Z (fator de redução)
0,33	0,16	0,14
0,67	0,37	0,295
1,0	0,55	0,415
1,33	0,73	0,515
1,67	0,91	0,605
2,0	1,10	0,705
2,33	1,27	0,775
2,67	1,46	0,86
3,5	1,9	0,975
4,0	2,20	0,99

Quadro 8. Valores de Z em função de Td/Tp.

Tempo "t"		Tempo de Recorrência Tr = 10 anos		Tempo Resposta "td/tp" (eq. 6)	Fator Redução Z (td/tp) Tabela 15	Fator Climático Y	Precipitação Efetiva Pe (eq. 3) (mm)	Intensidade de Pe X (Pe/td)	Vazão Q (m <sup>3</sup> /s)
min	hora	i (mm/h)	PpT (i x td) (mm)						
20	0,33	106,10	35,01	0,16	0,14	1,06	0,48	1,45	4,08
40	0,67	72,27	48,42	0,37	0,295	1,06	2,86	4,27	25,32
60	1,00	56,26	56,26	0,55	0,415	1,06	5,20	5,20	43,37
80	1,33	46,69	62,10	0,73	0,515	1,06	7,28	5,47	56,62
100	1,67	40,25	67,22	0,91	0,605	1,06	9,16	5,48	66,63
120	2,00	35,58	71,16	1,10	0,705	1,06	10,87	5,44	77,08
160	2,67	32,02	85,49	1,27	0,775	1,06	12,44	4,66	72,59
180	3,00	29,20	87,60	1,46	0,86	1,06	13,90	4,63	80,03
210	3,50	24,15	84,53	1,9	0,975	1,06	17,17	4,91	96,22
240	4,00	21,99	87,96	2,20	0,99	1,06	18,93	4,73	94,12

Quadro 9. Sistemática do método de Ven Te Chow.

O procedimento descrito acima (quadro 9) foi repetido para todos os valores de duração da chuva (de 20 a 240 minutos) e em diferentes tempos de recorrência estipulados para estudos em obras de engenharia hidráulica e hidrológica: 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, gerando 7 quadros similares ao quadro 9.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

### 4.1 MODIFICAÇÃO DO ESPAÇO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O rio Ligeiro sofreu modificações desde o início da colonização da região sudoeste. A população, proveniente na sua maioria do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, chegou com a intenção de desmatamento, para a agricultura e também na criação de suínos (suinocultura), muito comum naqueles tempos. As madeireiras foram instaladas na década de 40, para utilização da madeira da floresta de araucárias (Floresta Ombrófila Mista).

O desenvolvimento da cidade de Pato Branco, não se preocupou em preservar a floresta ripária dos rios e seus afluentes, e muitas edificações foram construídas ao lado das margens, sendo estas de madeira, material fácil de ser encontrado no local (figura 32).

As figuras 33 e 34 ilustram que o crescimento da cidade se fez com a retirada da vegetação local, sem manter a faixa de floresta ripária. Nota-se também o rio Ligeiro escoando pela área central, entre ruas e as casas locais, formato que ainda mantêm-se na cidade, onde atualmente está canalizado.

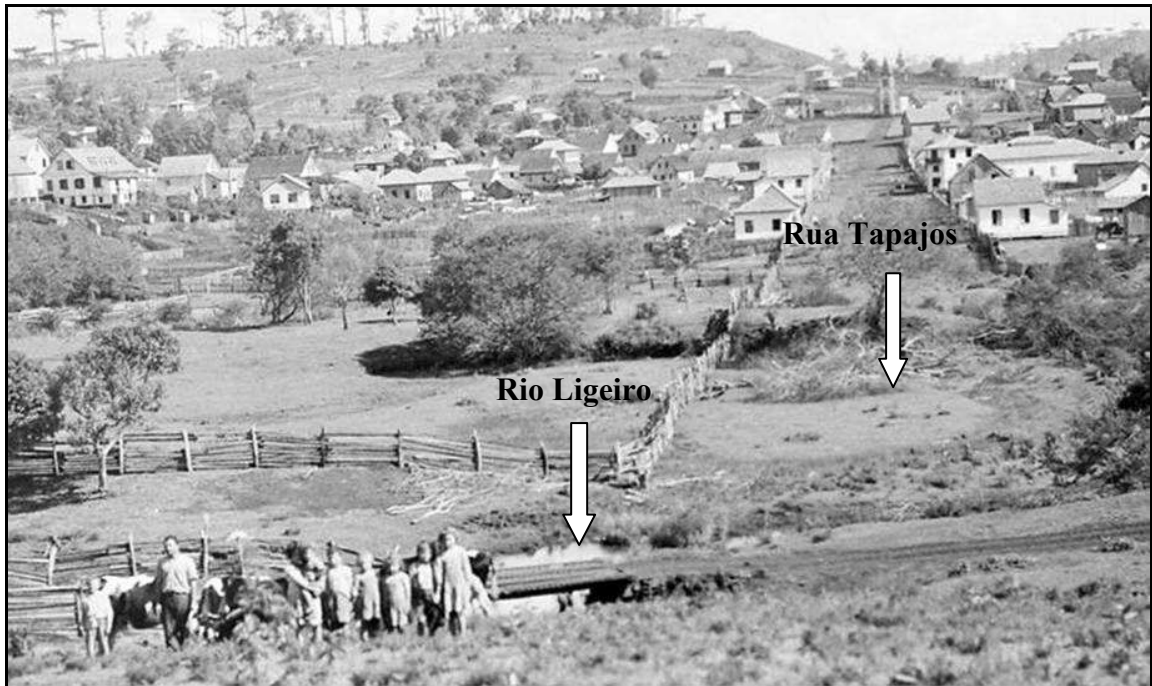


Figura 32. Rua Tapajós, que mantêm o mesmo traçado atual e o rio Ligeiro.  
Fonte: SCHNEIDER (1948) apud RUDI (1982).

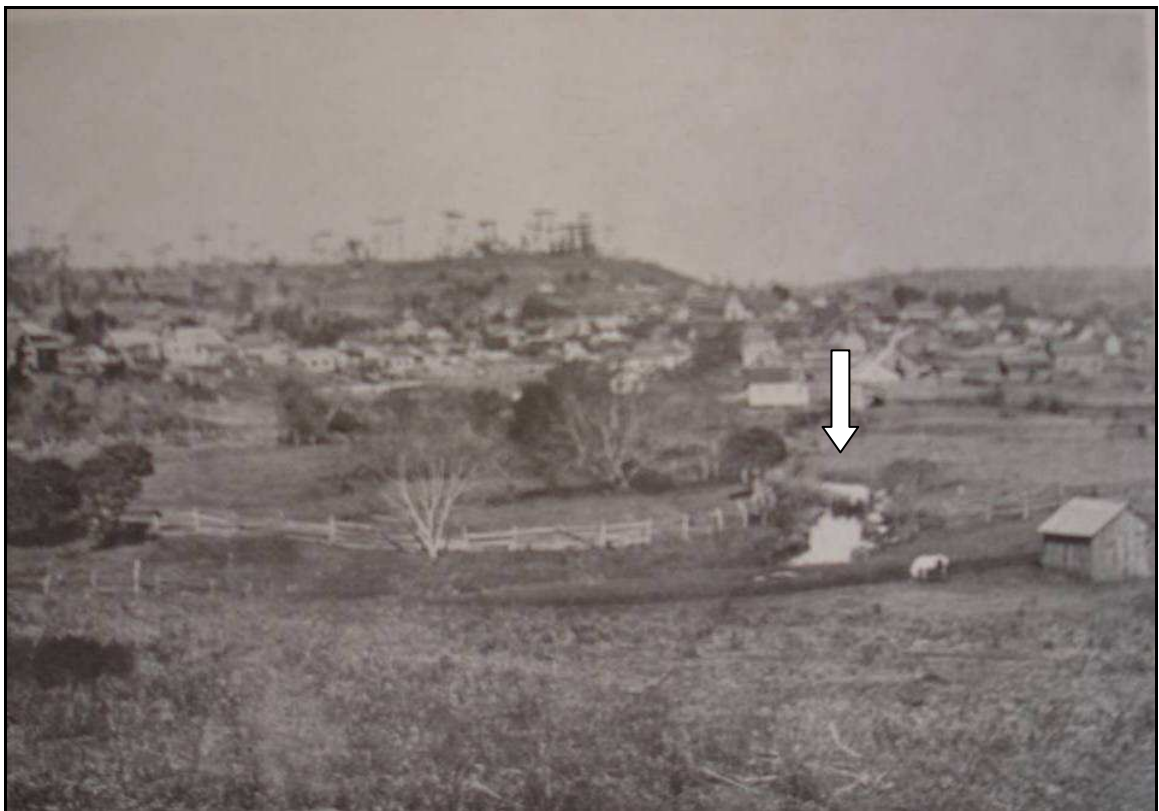


Figura 33. Ano de 1947, rio Ligeiro sem a vegetação ciliar.  
Fonte: RUDI (1982).



Figura 34. Década de 60, as pessoas atravessavam o rio Ligeiro com uso de pinguelas.  
Fonte: RUDI (1982).

A cidade manteve-se, na sua maioria, com o traçado urbano inicial. Com crescimento urbano na área central, as margens do rio Ligeiro foram “naturalmente” invadidas pelas edificações. Em dias de chuvas fortes (no período do verão), as conseqüências eram as enchentes urbanas, que em cada ano foram piorando, pois o rio começou a assorear.

A solução estipulada pela prefeitura na década de 80, no século passado, foi a canalização do rio, na parte central da cidade, facilitando o processo de crescimento verticalizado da cidade, que apresenta maior demografia no centro, devido a facilidade de construção. Para Tucci et al. (1995) o controle do impacto do escoamento superficial, devido à impermeabilização do solo, pela urbanização, tem sido, no Brasil, decorrente do uso da canalização dos rios.

Em relação à floresta ripária foi constatado que devido a canalização do rio Ligeiro, não se observa a vegetação e em locais onde o rio está no seu curso natural, a vegetação

encontra-se em uma pequena faixa diferente do que está estabelecido pelo plano diretor da cidade. A lei municipal nº 975 de 1990, apresenta o zoneamento urbano da cidade, e no artigo 13 descreve o Setor Especial de Fundos de Vale (SEFV):

**Art. 13.** Considera-se "Setor Especial de Fundos de Vale (SEFV)", cada faixa de drenagem vinculada aos cursos de água em geral, constituída de uma faixa "*non edificandi*" e áreas adjacentes eventualmente ocupáveis a critério do órgão competente.

§ 1º. A faixa "non edificandi" previstano "caput" deste artigo, é fixada em 15 (quinze) metros, contados a partir de cada margem. (Lei nº1039/91)

§ 2º. Nos imóveis onde exista canalização hidrográfica, haverá afastamento de 30 (trinta) centímetros sobre o canal e suas margens, proibido o apoio da estrutura sobre o canal em qualquer caso, devendo o projeto arquitetônico indicar a projeção do canal em planta, cortes e locação de pilares e estar acompanhado do projeto estrutural. (Lei nº1039/91)

§ 3º. Nos imóveis já parcelados, onde exista canalização parcial, o afastamento será de 5 (cinco) metros, observando o seguinte:

I – compreende-se por canalização parcial a existência de contenções edificadas em pelo menos duas laterais e fundos dos leitos hidrográficos;

II – nas faixas resultante do afastamento será permitido o acesso ao Poder Público, a qualquer tempo, destinado a complementação e manutenção de obras, limpeza, vistorias e outros serviços de interesse público. (Lei 2368/2004)

A floresta ripária de 15 metros, definida por lei municipal não está em conformidade com a lei florestal de 1965, que estabelece uma faixa ciliar de no mínimo de 30 metros. Mesmo com a lei municipal de 15 metros de faixa ciliar, a maioria do curso do rio esta dentro de loteamentos urbanos, considerado como "quintal" dos proprietários e poucos mantêm a faixa de preservação permanente.

Em locais da cidade (figuras 35 e 36), onde a canalização do rio ligeiro ocorre aberta na parte superior e de concreto nas laterais, é preciso deixar uma margem de apenas 30 cm. Observando a figura 36, notasse que as laterais possuem este recuo de 30 cm e depois os fundos dos lotes.

As nascentes do rio Ligeiro, na sua maioria estão desmatadas, localizadas em áreas particulares, como exemplo: utilizada como pesque e pague, na parte sul da bacia hidrográfica. Outras nascentes não apresentam a área de faixa de preservação permanente estabelecida, que é de 50 m de raio.



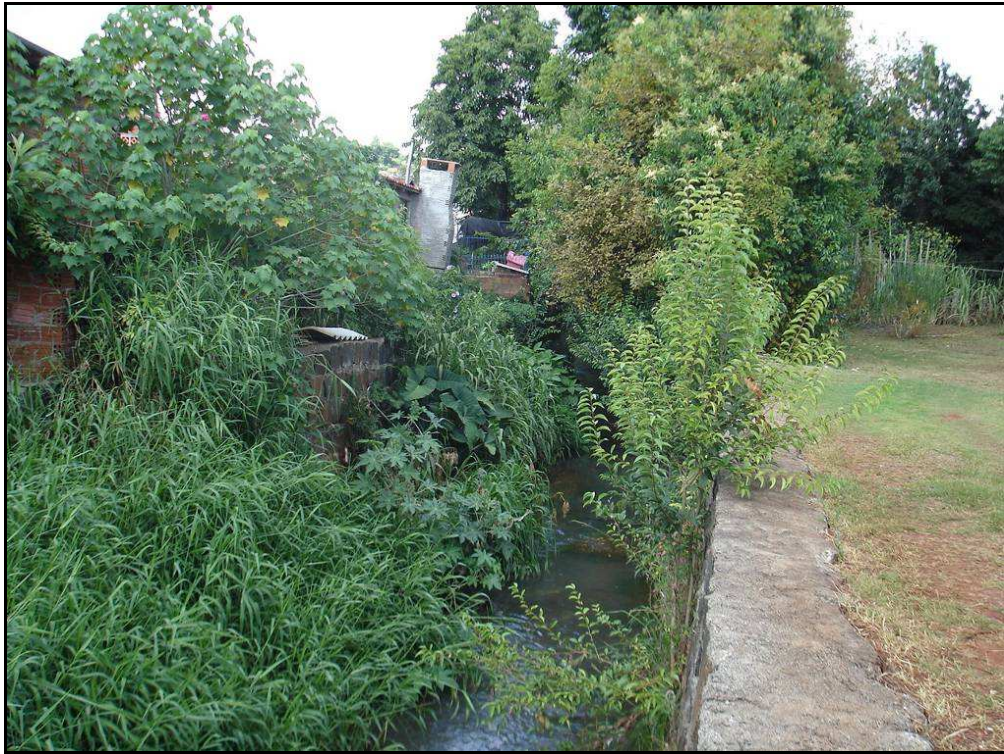


Figura 35. Bairro residencial onde o rio Ligeiro canalizado escoa por entre as residências.

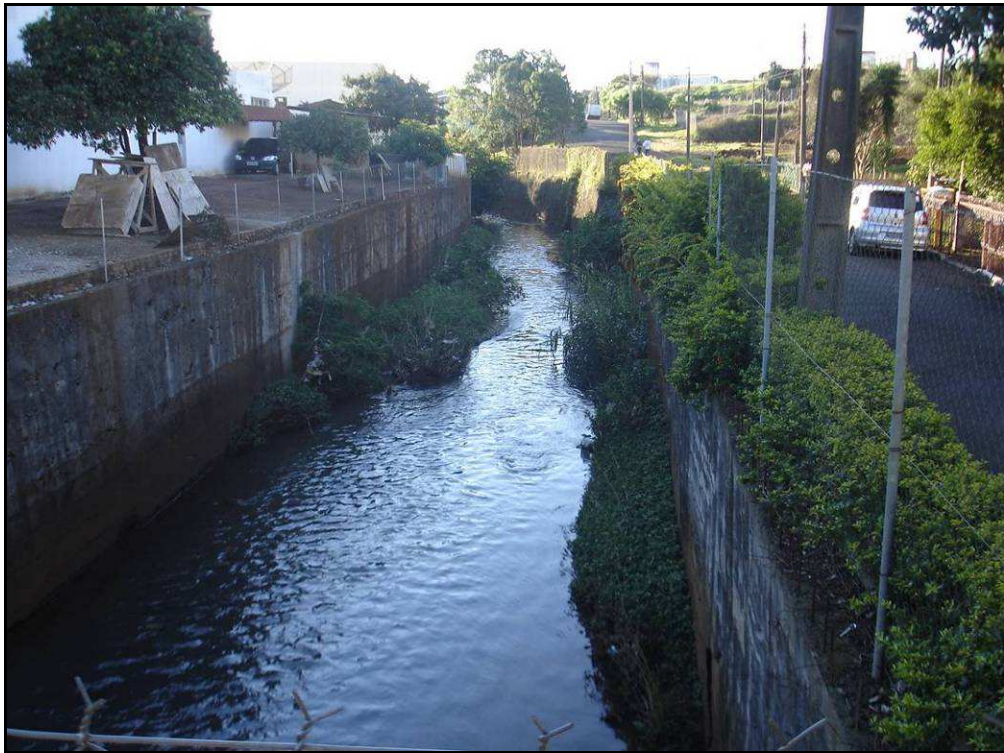


Figura 36. Parte canalizada do rio, na área central da cidade.



Poucos locais foram encontrados a vegetação ripária, dentro da legislação do Código Florestal. Um exemplo da manutenção da vegetação ripária está na área experimental da UTFPR – Campus Pato Branco local onde está sendo montada uma trilha ecológica, pelos estudantes de agronomia (figura 37).



Figura 37. Área experimental da UTFPR, tendo como fundo o rio Ligeiro.

Em 2008, uma das nascentes do rio Ligeiro, uma pequena nascente d'água, foi recuperada, pois havia sido aterrada para a construção da Universidade Aberta do Brasil administrada pela municipalidade de Pato Branco. Em frente, tem-se recuperado o canal natural desta nascente d'água (figura 38), com o surgimento de vegetação ao seu redor, é um misto de vegetação rasteira com plantas invasoras. Em conjunto com alunos de engenharia civil, em novembro de 2008, foi instalado um vertedor triangular provisório no local para coleta de dados de vazões. Os primeiros levantamentos apresentaram valores médios de 0,28 L/s.

Em 2009, através de um projeto em conjunto com o Governo Estadual, iniciou-se a obra de canalização do rio Ligeiro em uma parte central, bairro residencial, local onde os loteamentos eram parte das margens do rio (figura 39).

Neste processo de canalização, o leito do rio continua natural, e nas laterais foram construídas as paredes de rachões de basalto, fixadas por argamassa, mantendo o formato

retangular do canal, diferenciando da antiga canalização, em 1980, que apresentava as laterais de concreto. As laterais são limpas, com a retirada de algumas vegetações e movimentação de solo.



Figura 38. Recuperação da nascente.

A poluição do rio decorrente de dias de chuva causava incômodos aos moradores locais, pois ocorria o transbordamento das margens e em períodos de calor, o cheiro era insuportável. Outro problema local era na hora de construir sistema de tratamento de esgoto como fossa séptica e o sumidouro, devido os loteamentos estarem situados as margens do rio e o lençol freático ser superficial.

Nota-se que a única solução do problema obtido pela prefeitura foi a canalização do rio, pois este, na área urbana da cidade, sofre processo de poluição e degradação, além do fato dos moradores de sua margem não desejam ter contato com suas águas poluídas.

Tucci; Porto; Barros (1995), considera que a canalização amplia a capacidade do rio em transportar uma determinada vazão, através do aumento da seção, que é o caso da canalização do rio Ligeiro. Porém, este mesmo autor considera que, devidos aos impactos ambientais, a tendência é reduzir, ao máximo, o uso de canalização como solução de rios urbanos, e sim procurar aumentar a convivência harmoniosa da população com o seu meio natural.

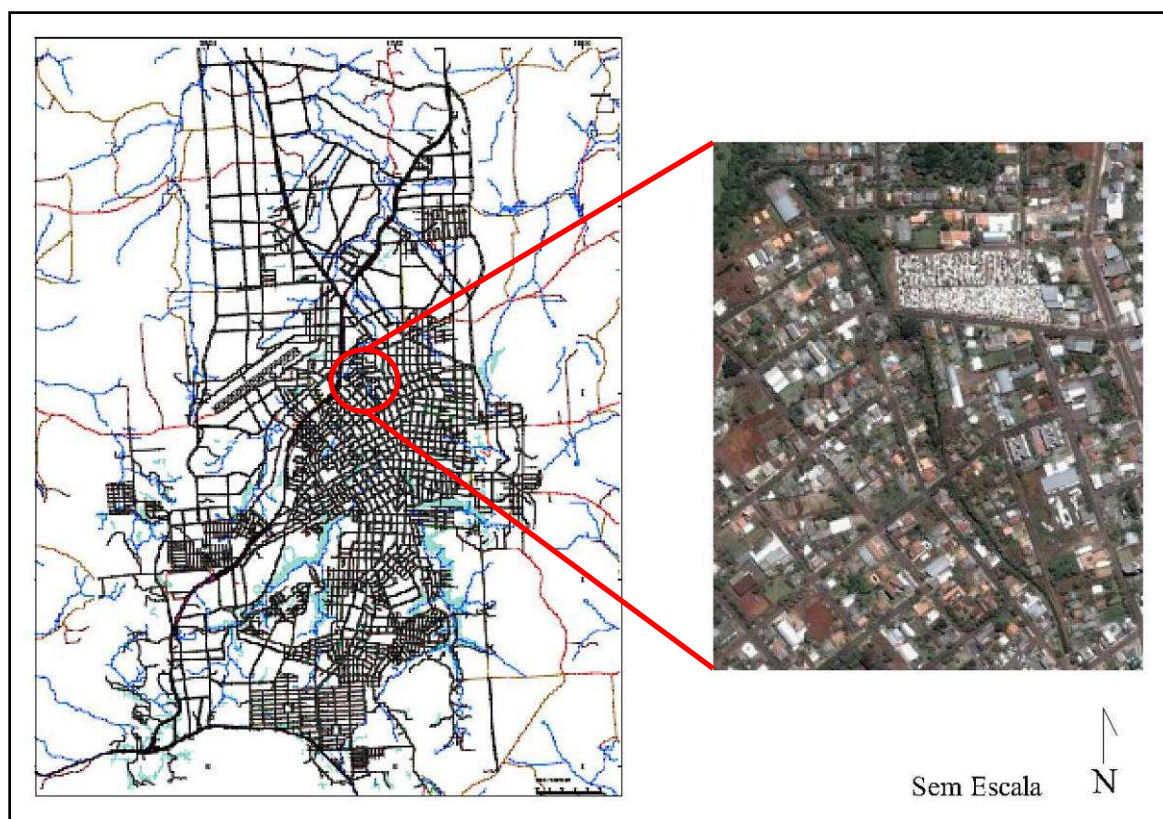


Figura 39. Canalização do rio em 2009.

Fonte: modificado da prefeitura Municipal de Pato Branco (2009) e do Google Earth (2009).

A Figura 40 mostra a montagem das paredes laterais em que as rochas de basalto são quebradas, montadas e unidas por argamassa. O processo é manual, com o posicionamento de cada pedaço de rocha, seguindo o formato natural do rio. Observou-, durante o trabalho de campo no leito do rio, um acúmulo de entulhos proveniente da obra.

#### 4.2 MODIFICAÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO

A falta de planejamento em relação aos recursos hídricos tem agravado o conflito existente entre o ambiente natural e o desenvolvimento urbanístico. O crescimento urbano se fez com o desmatamento local, ocupação de áreas inadequadas (como exemplo áreas de inundações) e desordenada atividade industrial em meio urbano. Estes fatores têm



conseqüências graves com relação à poluição do solo, como a impermeabilização, que facilita o escoamento superficial provocando enchentes nas áreas jusantes.



Figura 40. Canalização do rio Ligeiro, em bairro residencial.

A bacia hidrográfica do alto rio ligeiro tem sofrido, ao longo das últimas décadas, um aumento das áreas residenciais, comerciais, de indústria e de serviço, devido ao crescimento demográfico. Normalmente para o dimensionamento das redes de drenagem urbanas, são obtidos tempos de retorno de 5 a 10 anos, mas na ocorrência de eventos extremos e a impermeabilização do solo causa danos de inundações o qual o sistema de drenagem não consegue suportar.

“A questão das cheias nada mais é do que a ocupação irregular do espaço. O rio, na época das chuvas, dispõe de mais água e necessita, para tal, de espaço para transportá-la, e se a cidade ocupa esse espaço, o rio o utilizará e invadirá as áreas urbanizadas” (ALCÂNTARA; AMORIM, 2003 apud FARIA, PEDROSA, 2005).

A impermeabilização do solo na cidade teve picos no período da década de 80 (figura 41) (século 20), apesar de possuir um plano diretor, inicialmente elaborado em 1989, ainda assistiu-se uma expansão urbana, de verticalização do centro e um grande volume de obras no leito de cheia do rio. A prefeitura adotou a canalização fechada do rio, na área central, e canalização aberta em áreas residenciais, como uma falsa idéia de solução, pois sabe-se que a canalização de rios é apenas uma forma rápida de se livrar de um problema, iludindo a população, fazendo esta acreditar que o rio é o problema e a solução esta em corrigir o curso do rio e cimentar suas margens. A tabela 3 apresenta a quantificação (km<sup>2</sup>) da expansão urbana no período de 1953 a 2007.

Verifica-se que em áreas impermeabilizadas o escoamento superficial é o fenômeno dominante, tornando-se a infiltração quase nula. Este é um fator que ajuda a compreender a alteração do funcionamento do ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica.

Na bacia hidrográfica em estudo, assistiu-se nas duas últimas décadas, à retirada da cobertura vegetal (tanto florestal como agrícola) substituída por loteamentos urbanos. O processo de urbanização tem, portanto, várias conseqüências, entre as quais se destacam,

nesta análise, a degradação do solo e o incremento de inundações. Quando modifica-se a ocupação do solo, retirando-lhe a cobertura vegetal, imediatamente este solo fica sujeito à ação das gotas de água em fortes precipitações, podendo transportar boa parte dos sedimentos.

Em áreas urbanizadas, o incremento no pico de cheia está intimamente relacionado com a existência de sistemas de drenagem pluvial urbana que aceleram o escoamento superficial, apenas transferindo a inundação para outro local (do ponto alto para o ponto baixo). Na bacia em estudo, existem linhas de água efêmeras, que desaparecem durante o período não chuvoso. “O desconhecimento do Ciclo hidrológico e da dinâmica fluvial leva à ocorrência de vários erros urbanísticos, surgindo construções nos “Leitos de Cheia” (MAGALHÃES, 2001 apud FARIA, PEDROSA, 2005).

Tabela 3. Evolução da ocupação urbana de Pato Branco.

Ano	Área (km <sup>2</sup> )
1953	1,2
1963	2,8
1980	7,7
1996	12,3
2000	18,4
2007	21,54

Fonte: IPPUPB (Instituto de Pesquisa e Planejamento de Pato Branco), 2009.

Um evento marcante de inundação ocorreu no dia 27 de outubro de 2009, com um registro de chuvas acumuladas, neste dia, de 47 mm. O solo local apresentava-se já saturado devido de excesso de chuva ocorrido durante a semana, que foi de 50,3 mm. Este episódio coincidiu-se com o rompimento de tanques de piscicultura que se localizam na região sudoeste da bacia, na nascente do córrego Fundo, afluente do rio Ligeiro. O aumento de escoamento superficial foi incrementado com este volume de água.

O evento de enchente provocou graves prejuízos na parte baixa da cidade, denominada de baixada sul. Parte do canal de rocha foi destruído, em conjunto com o muro e a grade da



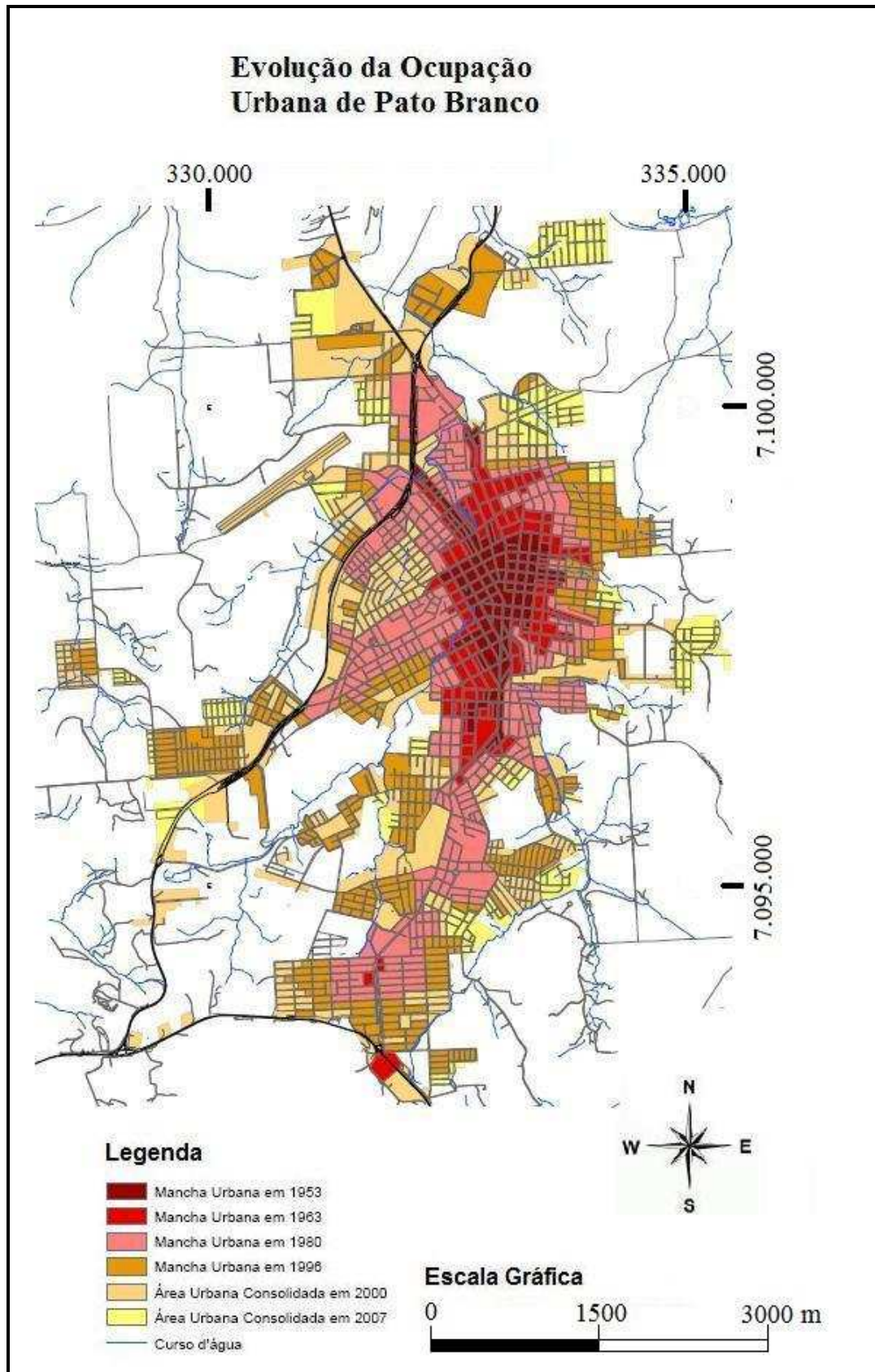


Figura 41. Evolução Urbana de Pato Branco.

Fonte: Modificado de IPPUPB (Instituto de Pesquisa e Planejamento de Pato Branco), 2009.

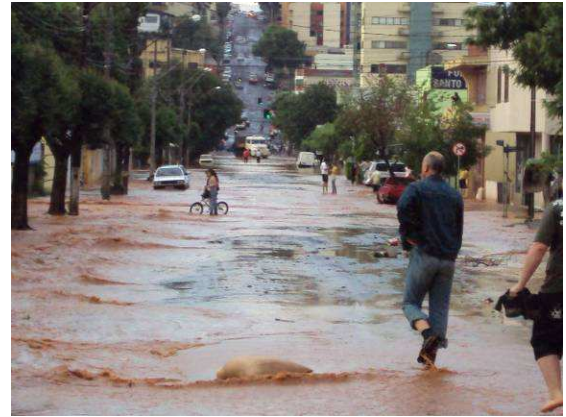
SANEPAR, local onde o rio era canalizado para o abastecimento de água. Alguns edifícios locais também foram danificados e outros inundados (figura 42).

Parte da chuva precipitada esteve localizada na parte sul da cidade, nas nascentes do rio Ligeiro. Em locais mais afastados na região norte da cidade como no bairro Francisco, na região do Lageado Passo da Pedra e na estação do IAPAR (sentido a Coronel Vivida) não ocorreu o registro chuva local.

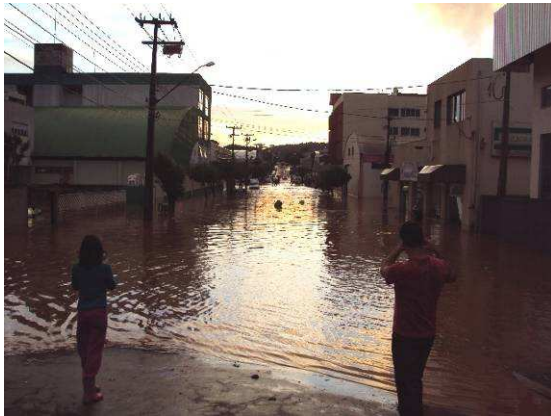
A contribuição do escoamento superficial foi um acréscimo de vários fatores interligados:

- A chuva excessiva do mês contribuiu com a saturação do solo, deste modo a infiltração foi praticamente nula, ocorrendo assim uma precipitação efetiva praticamente igual ao escoamento superficial, já que a interceptação da precipitação é mínima no local;
- Parte da canalização do rio Ligeiro é retangular, considerando indicações de autores, que indicam o canal trapezoidal como sendo de melhor seção transversal, pois apresenta área de maior fluxo de escoamento;
- O canal projetado não apresenta as laterais de áreas de infiltração, e nem os limites de tolerância para a vegetação e para as edificações como já descrito anteriormente;
- A chuva foi concentrada a montante da bacia hidrográfica, nas nascentes e em conjunto com a retificação do canal do rio, aumentando o pico de vazão a jusante.
- Tanques de piscicultura foram rompidos extravasando todo o efluente no rio, que pode ter contribuído no aumento do escoamento superficial.





Paralisação do tráfego de carros e de pessoas, apesar do fim da chuva, o escoamento mantinha-se alto na cidade, em área central.



Parte da água escoada, ainda era retirada pelas bocas de lobo e após 4 horas é que foram totalmente esgotadas.



Transportamento dos canais centrais do rio e alagamento de casa e comércio locais.

Figura 42. Áreas de alagamento na baixada sul.  
Fonte: Imagens cedidas por Clovis Padoan, 2009.

O nível do rio nesta enchente atingiu altura superior a 3 metros. As figuras 43 e 44 ilustram as secções de deságüe construídas para a canalização do rio Ligeiro indicando-se os níveis médios e os níveis correspondentes à máxima vazão.

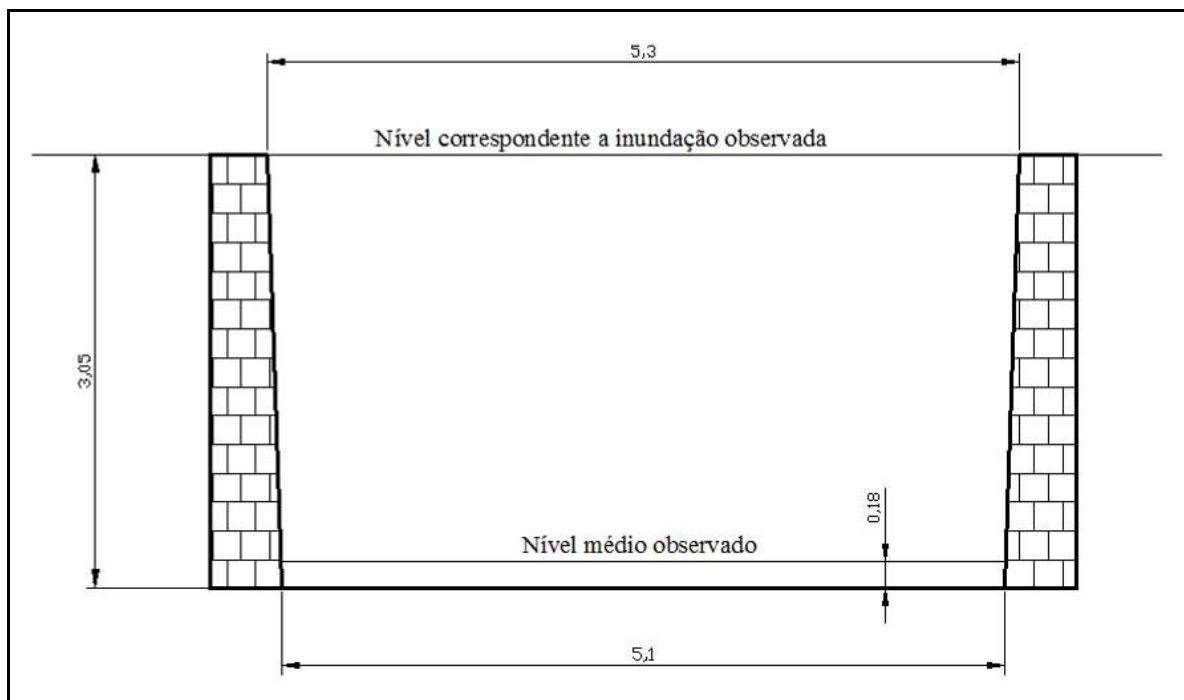


Figura 43. Canal trapezoidal localizado internamente da Sede da Unidade Regional de Pato Branco SANEPAR.

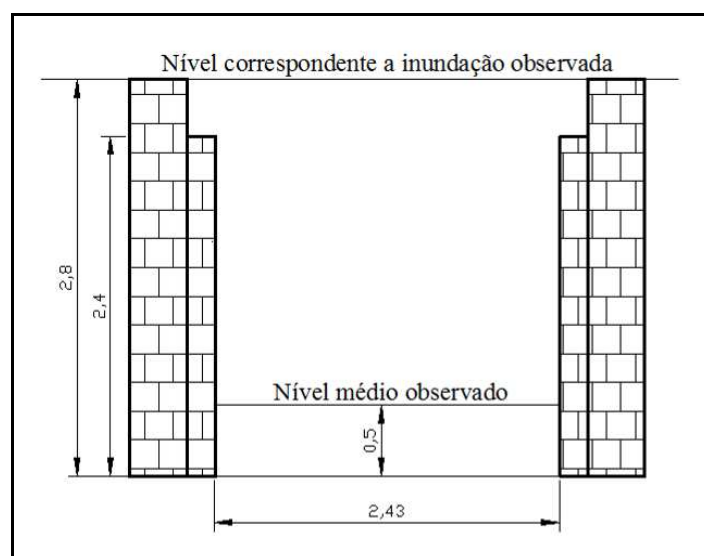


Figura 44. Canal em pedra aparelhada, parte da área residencial do rio Ligeiro.

## **Aplicações para a Avaliação da Modificação do Regime Hidrológico**

Segundo Allasia et al. (s.d.) “a implementação de um obra como uma usina hidrelétrica requer um estudo de impacto ambiental bastante detalhado. Entretanto, não é conhecido o impacto de um conjunto de pequenas obras distribuídas em diversos rios da bacia.”

A canalização do rio Ligeiro foi a solução encontrada pela prefeitura local para o crescimento da cidade, devido o relevo da bacia hidrográfica. Porém esta solução gera um problema atual, o transbordamento do canal em dias de precipitação alta, em vários pontos baixos da cidade. O estudo da canalização do rio Ligeiro mostra que o tempo de retorno para o cálculo da intensidade pluviométrica (equação 26), determinado no dimensionamento do canal, atualmente está com o valor inferior o que é necessário para o suporte do excesso de escoamento superficial.

Seria de suma importância, ter o conhecimento de como foi elaborado o projeto de canalização do rio Ligeiro, para visualizar os critérios que foram adotados para o seu dimensionamento, porém estes projetos não encontram-se no arquivo morto da prefeitura. O projeto atual da canalização do rio Ligeiro, ocorrido em 2009, não foi disponibilizado para esta pesquisa, por motivos não justificados pela prefeitura.

Durante a pesquisa de campo, observou-se em diferentes pontos da cidade, a modificação da largura do canal, que não apresenta um valor constante. Um exemplo é na antiga captação do rio Ligeiro, local onde o canal possui uma largura de leito de 5,1 metros. A canalização ao passar por baixo da via pública, o bueiro (formato retangular) apresenta uma largura de 3,50 metros, fazendo um estrangulamento do canal, local este que em períodos de alta precipitação, transborda e as forças das águas já romperam muros e calçadas, e invadiram as vias públicas próximas.

### 4.3 MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA

A partir do material já digitalizado, procedeu-se a confecção de mapas para obtenção dos dados necessários para o cálculo dos parâmetros morfológicos da bacia de estudo (alto rio Ligeiro). Para a determinação dos parâmetros morfológicos montados no quadro 10, utilizou-se da metodologia explicitada no capítulo 3.

<b>Características</b>	<b>Resultados</b>
Área de drenagem (A)	68,26 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	36,9 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,25
Fator de forma (Kf)	0,40
Índice de circularidade (Ic)	0,63
Padrão de drenagem	Dentrítico
Altitude mínima	700 m
Altitude média	799 m
Altitude máxima	930 m
Declividade média (D%)	10,35 %
Declividade média do rio	0,015 m/m
Comprimento total dos canais (L)	67,89 km
Ordem da bacia	3
Densidade de drenagem (Dd)	0,99 km/km <sup>2</sup>

Quadro 10. Características da morfometria da bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro.

A bacia hidrográfica do rio Ligeiro apresenta maior tempo de concentração de água da chuva, pelo resultado do coeficiente de compacidade apresentar valor superior a unidade 1 (1,25), e de seu fator de forma exibir o valor baixo de 0,40. Estes dois valores indicam que a bacia em estudo não apresenta o formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo a uma bacia alongada. Este mesmo fato pode ser comprovado pelo índice de circularidade, cujo valor é de 0,63.

De acordo com estes resultados, pode-se inferir que a bacia hidrográfica do rio Ligeiro mostra-se pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, excluindo é claro, eventos máximos extremos. Observa-se que em bacias circulares, a probabilidade de

curvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão é muito maior que em bacias alongadas.

A densidade de drenagem foi de 0,99 km/km<sup>2</sup>, que conforme Strahler apud Lima (1986) é considerada apresenta-se baixa (Dd <5 km/km<sup>2</sup>). Segundo Cardoso et al. (2006) a densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia. Esses valores ajudam no planejamento do manejo da bacia hidrográfica. O sistema de drenagem da bacia em estudo, de acordo com a hierarquia de Strahler, possui ramificação de terceira ordem, o que significa baixa ramificação para a escala do mapa utilizado (figura 45). A altitude da bacia do alto rio Ligeiro variou entre 930m a 700m, sendo a altitude média de 799 m.

O mapa hipsométrico foi elaborado a partir da digitalização da carta base com equidistância entre curvas de 40 m (figuras 46 e 47). A tabela 4 apresenta os percentuais de área compreendida entre as curvas de nível. Observa-se portanto que 93,54% da área da bacia do alto rio Ligeiro está compreendida entre as altitudes 700 a 930 m, o que, salvo de eventos de máximas precipitações, não está sujeita a grandes incidentes de alagamentos das margens.

Tabela 4. Distribuição da altitude de acordo com a área da bacia do rio Ligeiro.

Altitude	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem %
600 – 720	0,85	1,24
720 – 760	14,80	21,68
760 – 800	22,46	32,90
800 – 840	15,84	23,21
840 – 880	10,75	15,75
880 – 920	3,47	5,08
920 – 960	0,103	0,15

Na tabela 5 verifica-se a porcentagem calculada da área de drenagem nas faixas altimétricas definidas. Observa-se também na tabela, que maior parte da altitude, em relação à área total da bacia, apresenta-se na faixa entre 760 m a 800 m, correspondendo a 32,90%.

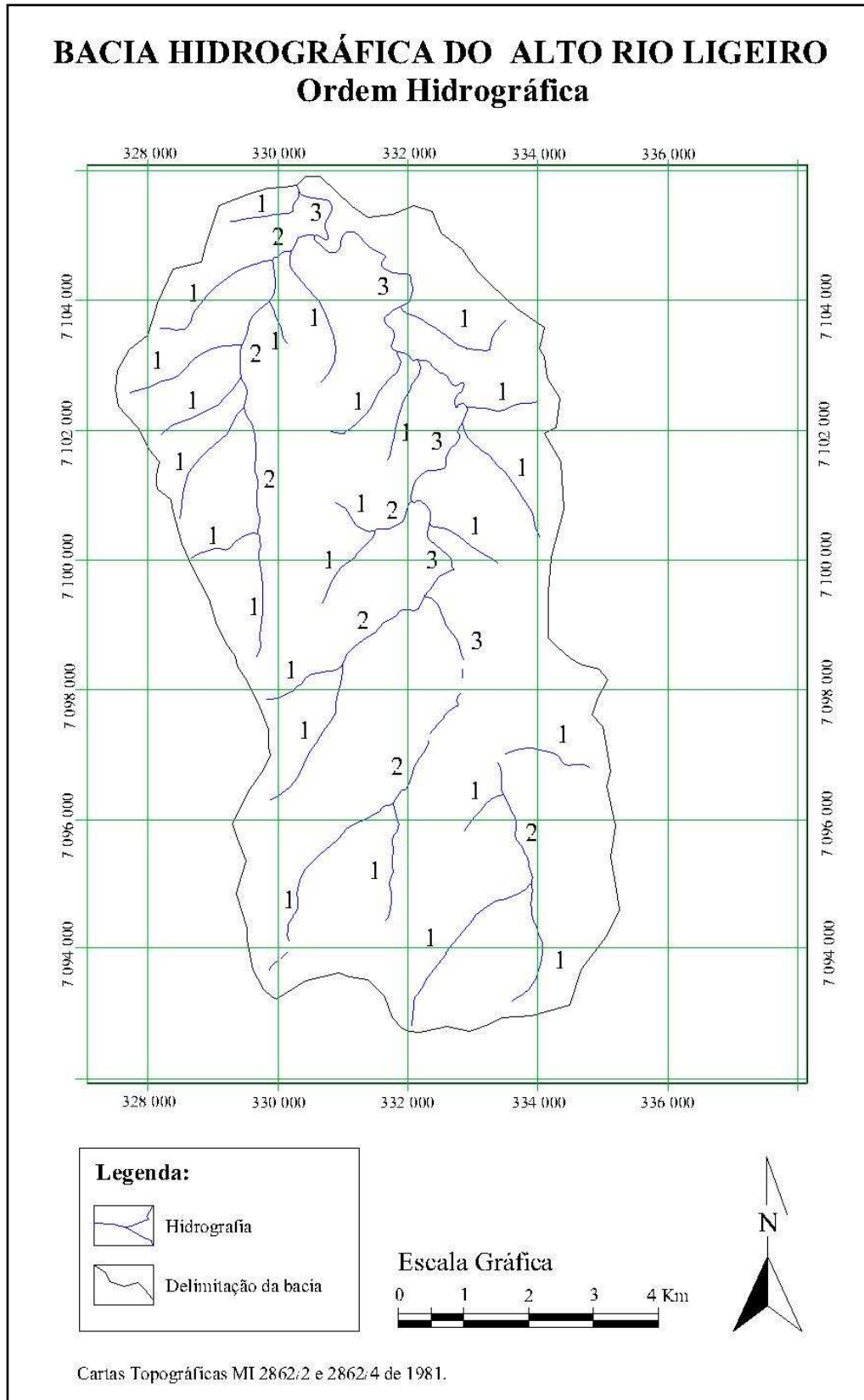


Figura 45. Mapa de ordem da bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro.



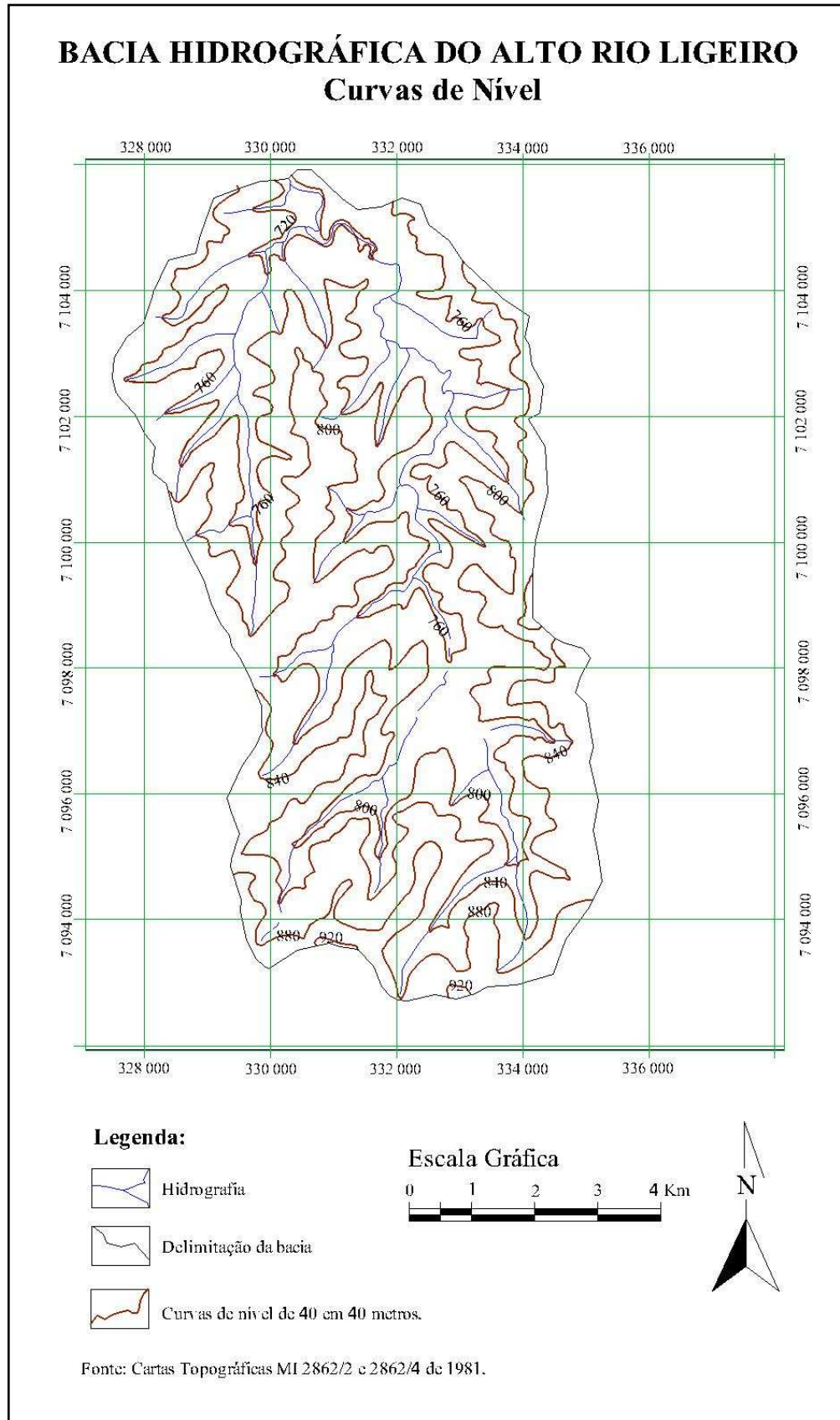


Figura 46. Mapa de curvas de nível.

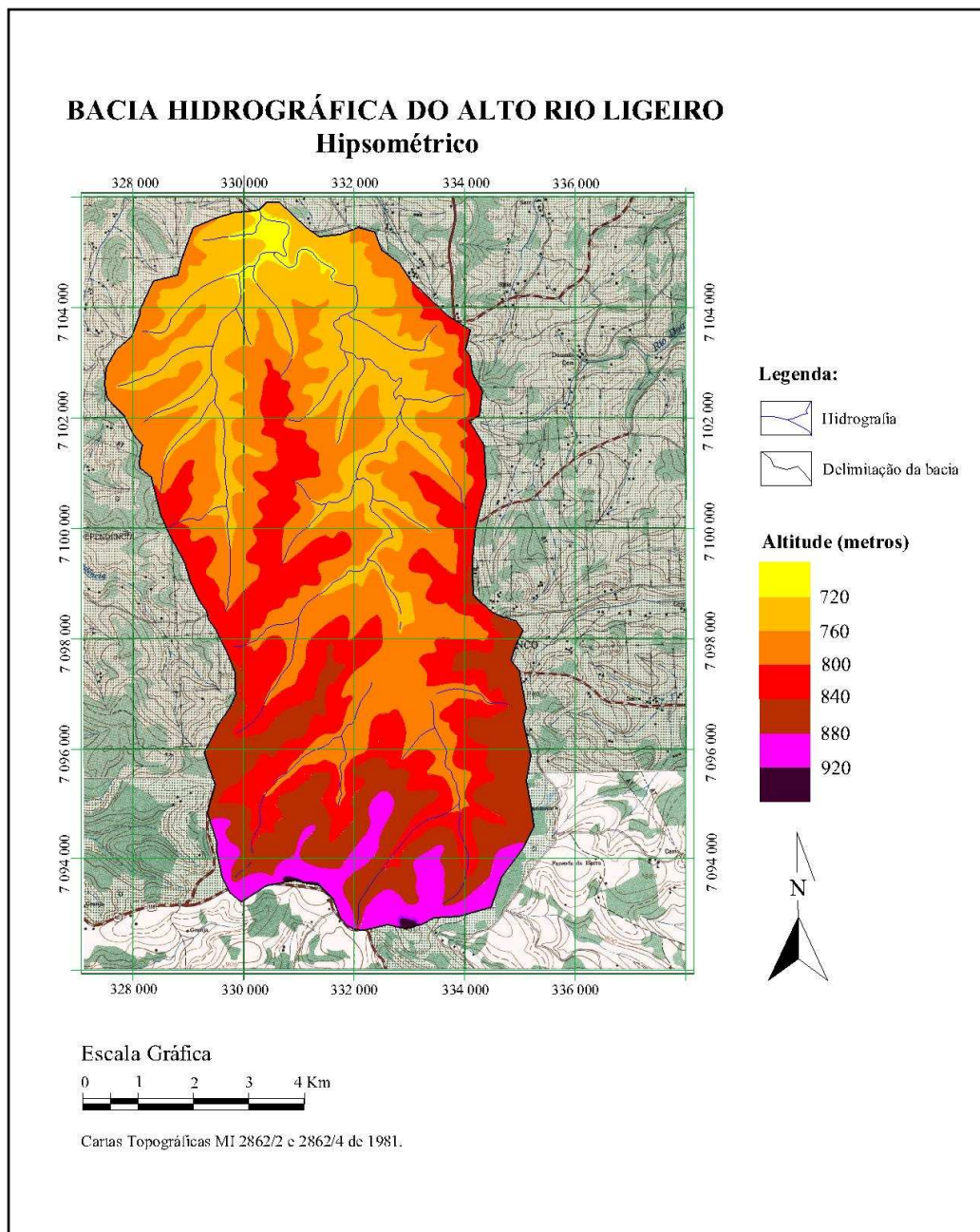


Figura 47. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica.

Tabela 5. Cálculo da altitude média da bacia hidrográfica.

Intervalo de classe (m)	Sub-área entre as curvas (km <sup>2</sup> ) (a)	Altitude média do intervalo (m) (h)	(a)*(h)	Percentagem % sobre o total	% do total acima do limite inferior do intervalo
680 - 720	0,85	700	592,9	1,240844	100
720 - 760	14,80	740	10949,04	21,67594	98,76
760 - 800	22,46	780	17518,02	32,90214	77,1
800 - 840	15,84	820	12989,62	23,20686	44,2
840 - 880	10,75	860	9244,14	15,74714	21,0
880 - 920	3,47	900	3122,1	5,082039	5,23
920 - 960	0,103	940	96,82	0,150894	0,15
Total	68,26	----	54512,64	100	----



O resultado apresentado na tabela 5 está representado no gráfico da curva hipsométrica (figura 48):

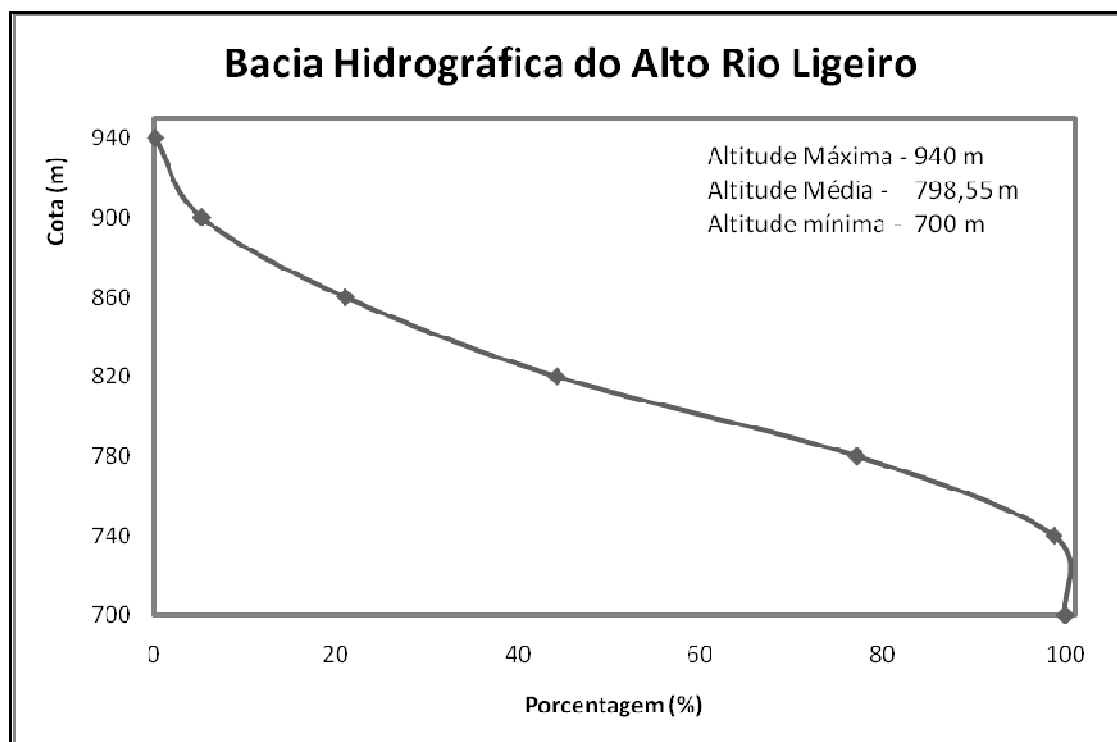


Figura 48. Curva hipsométrica da bacia hidrográfica.

Para determinar a altitude média, dividiu-se a somatória das áreas das curvas de nível multiplicadas pela respectiva altitude, pela área total de 68,26 km<sup>2</sup>. O resultado obtido foi de 798,55 metros, de altitude média.

#### 4.4 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Os parâmetros de qualidade de água analisados estão referenciados no capítulo 3, item 3.3 da metodologia. A figura 18 localiza os pontos amostrais ou de coleta de água e as figuras 19 e 21 ilustram estes pontos de amostragens.

Foi observada durante as coletas a ocorrência ou não precipitação no dia, como também o volume de precipitação na semana das coletas, para uma avaliação do volume do rio, que interfere na sua autodepuração e influência na qualidade da água. Os dados obtidos pela IAPAR (2010) estão na tabela 6, onde apresentam a temperatura média no dia das coletas de amostras, a precipitação do dia, a precipitação do dia anterior das coletas de amostras, a precipitação acumulada da semana e do mês. Os resultados obtidos da análise da água apresentaram um alto índice de poluição, da nascente do rio até o exutório da bacia hidrográfica (quadro 11 ).

Tabela 6. Precipitação (mm) e Temperatura (°C).

<b>Dados/Mês</b>	<b>Maio</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Jan</b>
<b>Temperatura média/dia (°C)</b>	18,10	13,40	19,00	19,70	17,00	21,20	22,60	23,50	25,00
<b>Precipitação/dia (mm)</b>	0,40	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00
<b>Precipitação/dia anterior (mm)</b>	5,60	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	0,00	3,60	0,60
<b>Precipitação/semana acumulada (mm)</b>	6,00	9,8	39,20	3,00	15,60	71,80	0,60	3,60	14,60
<b>Precipitação/mês (mm)</b>	77	182,4	63,8	152,4	130,4	264	141,9	72	135,8

Fonte: IAPAR (2010)

Em relação ao uso do solo, a bacia apresenta problemas de degradação e falta de manejo. A floresta ripária não foi conservada durante a formação da cidade e a maioria dos fundos de vale é ocupada por loteamentos urbanos, logo, quintais das casas estão em contato direto com o rio canalizado. Nas nascentes também há ocupação por loteamentos urbanos, pequenas chácaras e a pedreira da cidade

(continua)

Mês	Local	Turbidez (1)	OD (2)	DBO (2)	DQO (2)	pH	Condutividade Elétrica (3)	Fósforo (4)	Sólidos Totais (5)	Sólidos Suspensão (5)
Maio Data:	1	11,1	8,6	8,36	17,64	6,14	50,9	0,036	86	2
	2	4,21	8,6	18,8	32,64	5,89	69,6	0,036	49	10
	3	4,22	8,6	21,36	39,2	6,61	110,7	0,37	44	32
	4	5,5	8,2	66,78	117	6,66	116,9	0,37	56	36
Junho	1	48,35	8,4	174,3	352	6,37	42,9	0,036	133	39
	2	7,15	7,4	42,4	70,4	6,4	71	0,036	124	22
	3	8,23	7,4	102,5	193,6	6,6	82,2	0,036	98	13
	4	8,8	8,9	85,1	149,6	6,63	80,5	0,082	96	22
Julho	1	12,79	8,1	74,3	135	6,66	46	0,032	73	17
	2	3,71	7,0	78,4	144	6,32	73,9	0,03	89	13
	3	5,37	4,0	111,4	198	6,73	106,6	0,036	98	18
	4	7,32	4,3	96,8	180	6,8	73,2	0,036	95	15
Agosto	1	16,58	7,4	26	44	6,52	45,4	0,26	96	11
	2	5,48	7,1	54,3	122	6,76	71,8	0,26	138	22
	3	10,11	6,9	63,2	111	6,65	90,1	0,36	196	23
	4	7,43	7,5	96,8	186	6,55	81,1	0,36	234	37
Setembro	1	7,81	5,6	12,7	243,5	6,87	49,5	0,32	51	19
	2	3,95	2,9	90,0	256	6,68	75,7	0,03	63	21
	3	5,03	3,0	93,3	336	6,63	101,7	0,036	77	19
	4	7,08	2,3	104,7	217	6,79	99,5	0,036	66	10
Outubro	1	22,4	8,1	165,7	22,8	7,06	46,5	0,32	52	11
	2	11	7,5	171,1	102	6,90	47	0,32	64	10
	3	13	7,5	197,6	161	6,84	67,4	0,36	42	10

Quadro 11. Parâmetros qualitativos da água.

- 1) UTM (Unidade de Turbidez)
- 2) (mg/L de O<sub>2</sub>)
- 3)  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°
- 4) mg/L P
- 5) (mg/L)

(conclusão)

Mês	Local	Turbidez (1)	OD (2)	DBO (2)	DQO (2)	pH	Condutividade Elétrica (3)	Fósforo (4)	Sólidos Totais (5)	Sólidos Suspensão (5)
Novembro	4	9,1	7,3	184,7	187	6,31	81,3	0,32	55	13
	1	8,28	6,0	165,7	299,6	6,81	64,7	0,28	106	54
	2	7,6	4,5	171,1	302,2	6,57	70,7	0,28	80	53
	3	3,5	4,5	197,6	353	6,30	75	0,26	72	28
Dezembro	4	6,17	4,6	184,7	326	6,26	48,6	0,32	91	16
	1	7,61	7,0	56,5	98	6,17	48,7	0,26	77	4
	2	2,22	5,5	79,7	146	6,29	97	0,36	106	12
	3	6,26	5,2	122	184	5,55	100,4	0,32	101	11
Janeiro	4	3,93	4,9	128,6	204	5,53	84,4	0,32	99	17
	1	7,44	5	364,3	737,1	6,21	61,2	0,14	70	18
	2	91,1	4,6	133	236	6,43	231	0,14	241	22
	3	2,35	5,1	147	266	6,87	193,6	0,68	219	8
	4	3,86	3	87,6	167	6,88	160,4	0,18	237	17

Quadro 12. Parâmetros qualitativos da água.

- 1) UTM (Unidade de Turbidez)
- 2) (mg/L de O<sub>2</sub>)
- 3) μS/cm a 25°
- 4) mg/L P
- 5) (mg/L)

Na região do ponto 3 e 4 a jusante da bacia do alto rio Ligeiro, a vegetação é mantida mas apenas em uma pequena faixa. Nesta região encontra-se a parte industrial da cidade, com cooperativas de leite e grãos e parte de áreas de agricultura e pastagem.

O oxigênio dissolvido (OD) é fator determinante para a manutenção da vida aquática e segundo Santos et. al. (2007), os peixes necessitam de 4 mg/L, em média, para a sua sobrevivência. Os valores de oxigênio dissolvido se modificavam conforme o período de coleta. Como o rio possui uma declividade alta devido à região de altitudes entre 940 a 700 metros, isto facilitou a aeração natural do rio. Notou-se uma depleção do OD nos meses de setembro e janeiro (3 a 2,35 mg/L O<sub>2</sub>), provavelmente devido ao consumo do oxigênio para a decomposição da matéria orgânica (alta DBO) despejada sem tratamento no rio em conjunto com as altas temperaturas, como nos casos de novembro (22,6 °C), dezembro (23°C) e janeiro (25°C), que quanto maior a temperatura da água, menor a quantidade de oxigênio dissolvido.

A DBO apresenta altos valores pela matéria orgânica presente no rio, proveniente de esgoto doméstico e industrial. Observou-se que da nascente do rio, o valor de DBO é alto em alguns meses, como no caso do mês de junho e janeiro (174,3 e 364,3 mg/L O<sub>2</sub>, respectivamente). Nestes dias de coleta observou-se que a água apresentava uma alta coloração, provavelmente proveniente do lançamento de efluentes dos tanques de piscicultura, pois esta nascente é inserida em um pesque e pague e nestes dias, devido à alta precipitação, pois em junho a precipitação do mês ficou em torno de 182,4, considerada alta no inverno, logo as águas dos tanques de peixes poderiam ter sido liberadas no próprio rio.

Observa-se no quadro 11 que os resultados da DQO mantiveram-se altos como da DBO e os maiores valores obtidos estão nos meses de junho, novembro e janeiro (193,6; 353 e 737,1 mg/L de O<sub>2</sub>), onde incidiu grande concentração de matéria orgânica e inorgânica,

proveniente de lançamento de esgotos domésticos e industriais, como também a contribuição de poluição difusa pelo escoamento superficial.

O potencial hidrogeniônico da água expressa as condições ácidas ( $\text{pH} < 7$ ) ou alcalinas ( $\text{pH} > 7$ ), o pH adequado para a vida aquática situa-se entre 6 a 9 (SANTOS et al., 2007). Os resultados do pH mantiveram-se ligeiramente ácidos, apenas em outubro a nascente apresentou o pH neutro, com valor de 7,06.

No quadro 11 os sólidos totais mantiveram-se com valores médios distribuídos em todas as amostras, em alguns períodos, a nascente (ponto 1) apresentou valores superiores ao exutório da bacia (ponto 4), como exemplo mês de junho (133 mg/L no ponto 1 e 96 no ponto 4) e novembro (106 mg/L no ponto 1 e 91mg/L no ponto 4), sendo no mês de janeiro superior a 200 mg/L. O carreamento de solo pelo escoamento superficial pode ter contribuído para estes valores, pois não há áreas de vegetação ciliar nos pontos 1 e 2.

Os sólidos em suspensão afetam característica física da água, afetando o gosto (sabor) e podem induzir a uma desfavorável reação nos consumidores, pois estas águas ficam insatisfatórias para o consumo do uso de contato primário.

Os sólidos em suspensão são constituídos de pequenas partículas que se encontram suspensas na água, as quais têm uma fração mineral ou inorgânica e outra orgânica. Alta concentração deste material irá depender da hidrodinâmica do corpo d'água, das margens e dos fatores meteorológicos (PEREIRA, 2004).

Os valores dos sólidos em suspensão estabeleceram-se entre 2 a 53 mg/L e desde a nascente, em alguns meses, estes valores ficaram superiores aos valores dos pontos 3 e 4 decorrente do lançamento do esgoto proveniente dos tanques de piscicultura.

Em relação à condutividade elétrica, esta é a capacidade da solução aquosa de conduzir a eletricidade, para que isso ocorra a solução precisa apresentar uma concentração de íons dissolvidos na solução, quanto maior a concentração de íons, maior a condutividade da água.

Nos casos de estudos da condutividade em corpos d'águas continentais, os íons predominantes para os valores de condutividade são os cloretos, sulfatos, sódios, potássio, magnésio, cálcio entre outros. Nota-se que os valores de condutividade elétrica não apresentam especificamente quais os íons que estão presentes na amostra. O índice de sais (íons) na água em áreas urbanas podem ser provenientes de s domésticos devido a urina como também pela decomposição da matéria orgânica.

Os resultados de condutividade elétrica mostraram-se altos, que coincidiram com os índices de DBO, comprovando a problemática do rio Ligeiro com a carga de esgoto doméstico que recebe, como exemplo no mês de janeiro, o ponto 2 e 3 apresentaram valores de 231 e 193,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25° respectivamente e a DBO de 133 e 87,6 mg/L de O<sub>2</sub>.

O fósforo encontrado em águas naturais provém de lançamentos de esgoto domésticos ou de lançamentos de produtos agrícolas, que conduz a processos de eutrofização das águas naturais. Ainda por ser nutriente para processos biológicos, o excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais, por outro lado, conduz a processos de eutrofização das águas naturais.

Os resultados do fósforo apresentaram-se altos, considerando o rio Ligeiro como um ambiente lótico. O ambiente lótico caracteriza-se como ambiente relativo a águas continentais moventes (CONAMA, 2005). Os valores estabeleceram-se entre 0,30 mg/l P e 0,68 mg/l P.

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva (VON SPERLING, 1995). A turbidez manteve-se com valores não muito altos, entre uma média de no máximo de 48,35 e no mínimo de 2,22 UNT (unidade de Turbidez), o que foi visível nas coletas é que a água apresentava em alguns meses, uma coloração acinzentada, proveniente de lançamento de esgoto.

No mês de julho, devido à baixa vazão do rio (período de estiagem) observou-se um odor forte de esgoto no ponto 3 (a jusante da estação de tratamento de esgoto da cidade), observou-se também este fator neste mesmo ponto em dezembro, com a formação de espumas e uma grande quantidade de entulhos, como pneus, garrafas pets, bacias e outros resíduos sólidos.

Os valores de coliformes termotolerantes apresentaram um alto índice, desde a nascente até o exutório da bacia hidrográfica (quadro 12). Os coliformes fecais (*Escherichia Coli*) também apresentaram um alto índice.

(continua)

<b>Mês</b>	<b>Local</b>	<b>Coliformes Termotolerantes por 100mL</b>	<b><i>Escherichia. Coli</i> por 100mL</b>
<b>Maio</b>	1	1600	1134,46
	2	900	2940,85
	3	900	3901,95
	4	900	3901,95
<b>Junho</b>	1	900	900
	2	900	900
	3	1600	900
	4	900	900
<b>Julho</b>	1	1600	1600
	2	1600	900
	3	900	500
	4	900	500
<b>Agosto</b>	1	136,37	45,05
	2	2334,6	779,8
	3	5942,7	2940,85
	4	5942,7	1663,8
<b>Setembro</b>	1	2334,61	1663,79
	2	5942,66	2343,61
	3	5942,66	2940,85



(conclusão)

Mês	Local	Coliformes Termotolerantes por 100mL	<i>Escherichia. Coli</i> por 100mL
	4	5942,66	2334,61
Outubro	1	2940,85	1663,79
	2	3901,95	2343,61
	3	5942,66	3901,95
	4	5942,66	2940,85
Novembro	1	2334,61	1470,42
	2	3901,95	2334,61
	3	5942,66	3901,95
	4	5942,66	2940,85
Dezembro	1	1295,01	1134,46
	2	3901,95	2940,85
	3	5942,66	3901,95
	4	5942,66	3901,95
Janeiro	1	256,6	176,2
	2	5942,6	5942,6
	3	5942,6	5942,6
	4	5942,6	5942,6

Quadro 13. Qualidade bacteriológica da água.

Estes valores acima relatam o problema do rio que recebe na sua maioria esgotos domésticos de ligações clandestinas, mas os pontos 3 e 4 localizados em áreas de agricultura, recebem o efluente da Estação de Tratamento de Esgoto, pois estão localizados a jusante.

Durante os levantamentos de campo, verificou-se que algumas casas tinham tubulação despejando esgoto direto no rio, proveniente de máquinas de lavar roupa e de tanques. Para determinação dos indicadores de contaminação fecal (quadro 13), a relação entre os coliformes termotolerantes e *E. coli* apresentaram os seguintes valores.

Ponto	maio	junho	Julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	janeiro
1	1,8	1,0	1,0	3,0	1,4	1,8	1,6	1,1	1,5
2	1,0	1,0	1,8	3,0	2,5	1,7	1,7	1,3	1
3	1,0	1,8	1,8	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1
4	1,0	1,0	1,8	3,6	2,5	2,0	2,0	1,5	1

Quadro 14. Resultados dos indicadores de contaminação fecal.

Os resultados da relação Coliformes Termotolerantes/ *E. coli* estão entre maiores de 1 e menores que 4 ( $1 < CF/Ef < 4$ ), que segundo von Sperling (1995) é de interpretação duvidosa,

o qual não pode-se confirmar a predominância de contaminação humana ou de outros animais de sangue quente.

Considerando o CONAMA (2005) e os limites de parâmetros para a Classe 2 e Classe 3 (quadro 14 e 15), tendo no total de 36 amostras obtidas, calculou-se a porcentagem das amostras que estão fora do limite máximo permitido, para a classificação do rio Ligeiro.

Com relação à qualidade da água, a DBO não atende os limites máximos aceitáveis para a classe 2 e 3 em 100 e 97,2% respectivamente. Os valores obtidos em Fósforo Total não atendem os limites máximos aceitáveis para a classe 2 e 3 em 61,1% e 55,55% respectivamente.

Parâmetros	Limites para Classe 2*	Nº de amostra	Total fora do limite.	% fora dos limites.
pH	entre 6 a 9	36	3	8,3
DBO	< ou = 5 mg/L O <sub>2</sub>	36	36	100
OD	> ou = 5 mg/L O <sub>2</sub>	36	13	36,1
Turbidez	até 100 UNT	36	0	0
Sólidos totais	> 500 mg/L	36	0	0
Fósforo total (Ambientes lóticos)	0,10 mg/L P	36	22	61,1
Coliformes Termotolerantes**	< ou = 1000 NMP/ 100 ml	36	25	69,4

Quadro 15. Faixa de limites para a Classe 2

\* Valores obtidos pelo CONAMA resolução 357/2005.

\*\* Valores considerando outros usos da água, menos o de contato primário.

Parâmetros	Limites para Classe 2*	Nº de amostra	Total fora do limite.	% fora dos limites.
pH	entre 6 a 9	36	3	8,3
DBO	< ou = 10 mg/L O <sub>2</sub>	36	35	97,2
OD	> ou = 4 mg/L O <sub>2</sub>	36	3	8,3
Turbidez	até 100 UNT	36	0	0
Sólidos totais	> 500 mg/L	36	0	0
Fósforo total (Ambientes lóticos)	0,15 mg/L P	36	20	55,55
Coliformes Termotolerantes **	< ou = 2500 NMP/ 100 ml	36	18	50

Quadro 16. Faixa de limites para a Classe 3.

\* Valores obtidos pelo CONAMA resolução 357/2005.

\*\* Valores considerando outros usos da água, menos o de contato primário.

Considerando os resultados dos Coliformes Termotolerantes este ficaram 64,9% não atende os limites máximos aceitáveis da classe 2 e 50% para a classe 3, considerando a água para outros uso, com o tratamento convencional e avançado e não para balneabilidade (contato primário). Se considerarmos a resolução CONAMA n° 274, de 2000 para a recreação de contato primário:

“Art. 2o As águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) terão sua condição avaliada nas categorias própria e imprópria.

§ 1o As águas consideradas próprias poderão ser subdivididas nas seguintes categorias:

a) Excelente: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes fecais (termotolerantes) ou 200 *Escherichia coli* ou 25 enterococos por 100 mililitros;

b) Muito Boa: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 400 *Escherichia coli* ou 50 enterococos por 100 mililitros;

c) Satisfatória: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 1.000 coliformes fecais (termotolerantes) ou 800 *Escherichia coli* ou 100 enterococos por 100 mililitros.”

Apesar da coleta das amostras não terem sido efetuadas no mesmo local durante 5 semanas seguidas, os valores obtidos em cada mês não atende os limites estabelecidos, pois das 36 amostras, apenas 4 encontraram-se com o valor abaixo de 800 *Escherichia coli* e 9 com o valor abaixo de 1.000 coliformes fecais (termotolerantes). Nos parâmetros amostrados de DBO, OD e coliformes termotolerantes e Fósforo Total, apenas o OD não apresentou níveis críticos de concentração, a turbidez e de sólidos totais permaneceram dentro dos limites para a classe 2 e classe 3, o que indica que o solo está mais impermeabilizado na cidade.

### **Aplicações para o Conhecimento da Qualidade da Água Superficial**

As bacias hidrográficas da região Sudoeste do Paraná passam por um processo de poluição das águas superficiais. Estes são os casos, por exemplo, do rio Marrecas em Francisco Beltrão e do rio Vitorino em Vitorino. Estes rios, como o rio Ligeiro, recebem

grandes quantidades de poluentes oriundos de fontes pontuais (esgotos domésticos e industriais) e de fontes difusas (provenientes do escoamento superficial em áreas urbanas e áreas rurais). Os resultados das análises da qualidade da água apresentaram reflexos de poluição, pois o rio Ligeiro recebe poluentes de fontes difusas (urbanas e rurais), como também de ligações clandestinas.

O estudo da morfometria foi essencial para união com os resultados obtidos da qualidade da água, como exemplo, o alto índice de oxigênio dissolvido na água, resultado este ocasionado pela declividade média do rio de 0,015 m/m, que faz com que o rio mantenha o oxigênio através da aeração.

O estudo da qualidade da água é importante para a classificação do rio, para avaliação das condições o qual encontram-se as águas superficiais, para depois a determinação de seus usos. Com a classificação do rio, poderão ser realizadas as outorgas ou mesmo estudos ambientais, de modo a compreender como o ambiente está influenciando na qualidade da água. No caso do rio Ligeiro, sua classificação ficou estabelecida como classe 4, logo, seu uso será restrito ao paisagismo e para a navegação, evitando o contato primário, ou seja, não indicado para natação, pesca local e para o lazer.

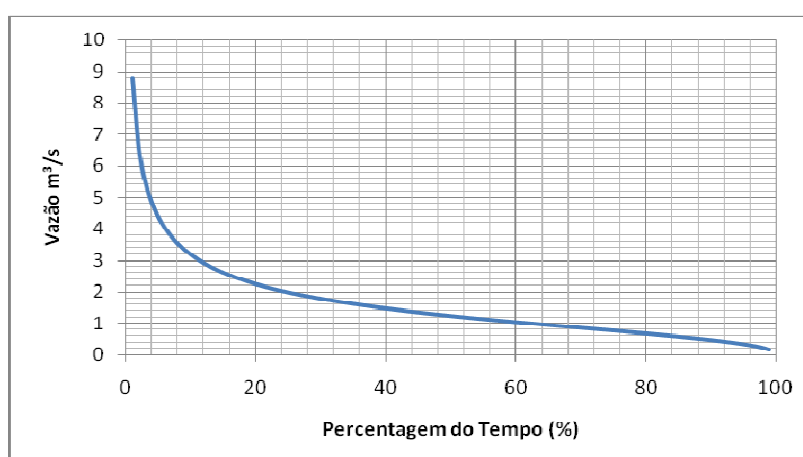
#### 4.5 REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO

A tabela 7 apresenta os resultados obtidos das vazões médias, máximas e mínimas. A curva de permanência estabelece as vazões percentuais, do tipo  $Q_{95\%}$ ,  $Q_{90\%}$ , para estudos de outorgas, sendo em alguns casos, a utilização da metade da vazão  $Q_{95\%}$ , como exemplo para o abastecimento de água (águas superficiais) ou lançamento de esgoto.

Tabela 7. Resultados obtidos de vazões.

Porcentagem (%)	Vazões (L/s/km <sup>2</sup> )		
	Mínima	Média	Máxima
1	129,01	130,71	132,41
5	64,01	64,49	64,96
10	46,49	46,84	47,18
15	38,12	38,43	38,73
20	32,81	33,10	33,40
25	28,97	29,27	29,56
30	25,99	26,28	26,58
35	23,54	23,83	24,13
40	21,46	21,76	22,05
45	19,63	19,93	20,23
50	17,98	18,29	18,59
55	16,47	16,78	17,09
60	15,06	15,37	15,69
65	13,71	14,03	14,35
70	12,40	12,73	13,05
75	11,10	11,43	11,76
80	9,77	10,10	10,44
85	8,36	8,70	9,05
90	6,79	7,14	7,49
95	4,83	5,18	5,54

Os cálculos obtiveram as vazões  $Q_{90\%}$ ,  $Q_{95\%}$ , um valor de 6,79 L/s/km<sup>2</sup> e 4,83 L/s/km<sup>2</sup> respectivamente, e considerando a área da bacia hidrográfica, de 68,26 km<sup>2</sup>, os valores obtidos foram:  $Q_{90\%} = 0,464 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $Q_{95\%} = 0,32957 \text{ m}^3/\text{s}$  para as vazões mínimas. Nas figuras 49, 50 e 51 são apresentadas as curvas de permanência de cada vazão (mínima, média e máxima). Preferiu-se dividir estes resultados em três gráficos, devido aos valores estarem muito próximos, dificultando a visualização destes, em apenas um gráfico.

Figura 49. Gráfico da curva de permanência para as vazões mínimas em m<sup>3</sup>/s.

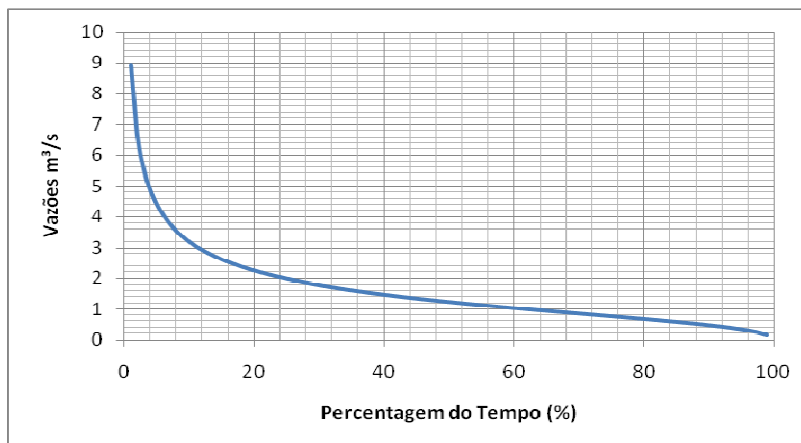


Figura 50. Gráfico da curva de permanência para as vazões médias em  $\text{m}^3/\text{s}$ .

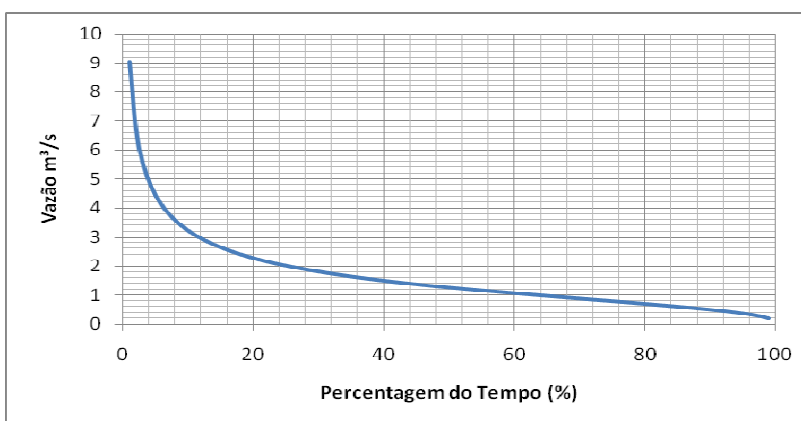


Figura 51. Gráfico da curva de permanência para as vazões máximas em  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Para cada gráfico apresentado foram ajustadas as seguintes funções matemáticas: linear, polinomial, potência, logarítmica e exponencial. A identificação da função matemática que melhor se aplica na regionalização da curva de permanência, foi através do coeficiente de determinação,  $R^2$  (ou  $R^2$  de Pearson), para a linha de tendência. O valor de R-quadrado está entre 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, mais confiável é a linha de tendência. A quadro 16 mostra os resultados encontrados para  $R^2$ :

O melhor resultado encontrado indicam que a função logarítmica representa melhor a condição de homogeneidade dentro da bacia, que apresentou os seguinte resultados de  $R^2$ : 0,9607, 0,9587 e 0,9566, para as vazões mínimas, médias e máximas respectivamente,

representado nas figuras 52, 53 e 54, em conjunto com a equação de cada curva de permanência.

Função Matemática	R <sup>2</sup> (coeficiente de determinação)		
	Mínimas	Médias	Máximas
Linear	0,669	0,665	0,661
Polinomial	0,812	0,808	0,805
Potencia	0,839	0,851	0,861
Logarítmica	0,9607	0,9587	0,9566
Exponencial	0,941	0,944	0,946

Quadro 17. Valores de R2 na regionalização de vazões da Bacia do rio Ligeiro.

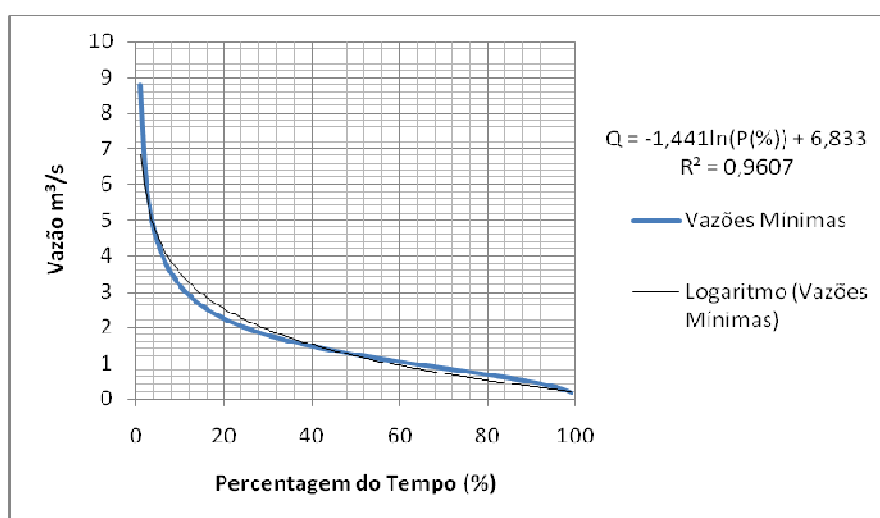


Figura 52. Equação da curva de permanência para as vazões mínimas.

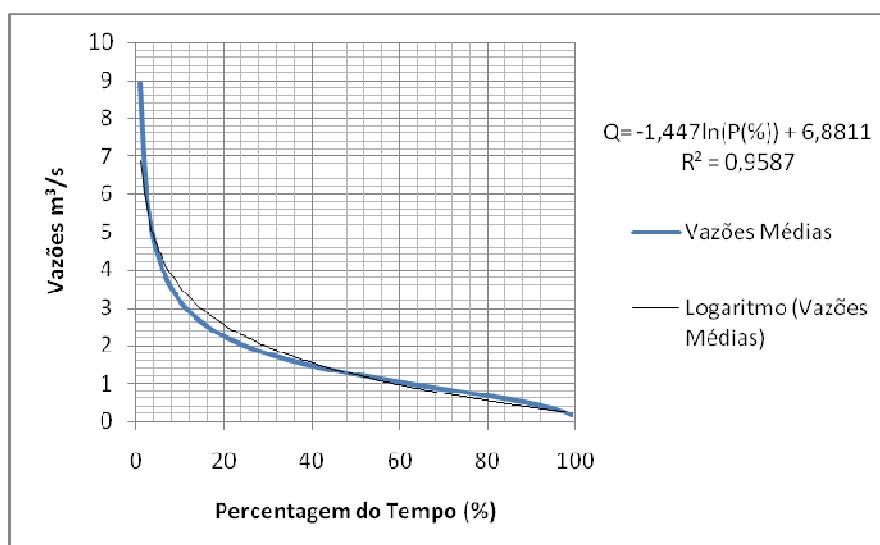


Figura 53. Equação da curva de permanência para as vazões médias.

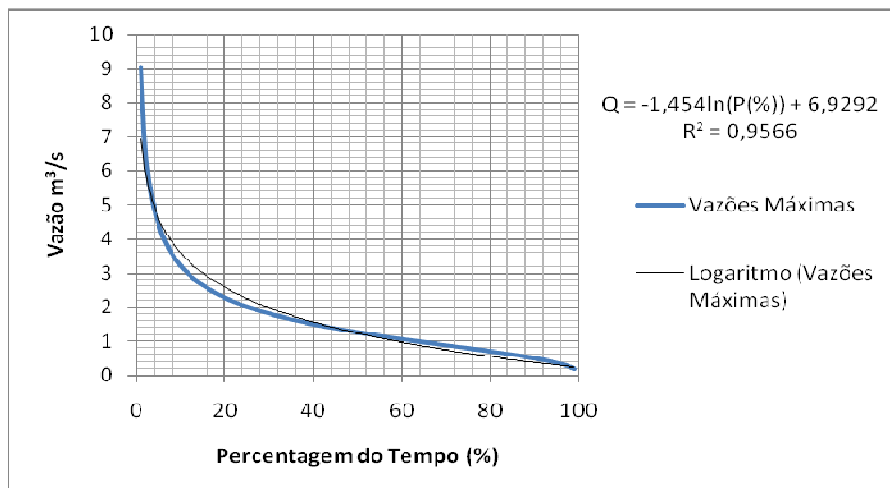


Figura 54. Equação da curva permanência para as vazões máximas.

### Aplicações Para o Uso da Regionalização da Curva de Permanência.

O gerenciamento da água exige o conhecimento da sua disponibilidade e de como esta disponibilidade varia no tempo e no espaço. Um dos instrumentos que vem sendo utilizados no gerenciamento de recursos hídricos no Brasil é a outorga (ALLASIA et al.; s.d.).

A outorga compreende a concessão de diferentes usos dos recursos hídricos, sendo estes concedidos por órgãos ambientais responsáveis em todos os estados do Brasil. No Paraná, este órgão é representado pela SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), atualmente denominado de Instituto de Águas do Paraná (ITAGUAS).

A disponibilidade hídrica depende das características do rio, da bacia hidrográfica, dos usos outorgados existentes a montante e a jusante, e da vazão que deve ser mantida no rio para a sustentabilidade dos ecossistemas. Em vários rios raramente existe um posto fluviométrico, com série de dados relativamente longa, e em locais próximos do ponto o qual a informação de dados é desejada. Segundo Allasia et al. (s.d.) para suprir esta carência de dados no local desejado, normalmente se utilizada alguma metodologia de regionalização de vazões.



A curva de permanência regionalizada neste estudo apresenta como resultados, a obtenção das vazões  $Q_{95\%}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{50\%}$ , que podem ser trabalhadas em simulações de qualidade da água. Como exemplo tem-se o uso do programa QUAL2E, desenvolvido pelo EPA (*Environmental Protection Agency*) dos Estados Unidos, sendo necessário o conhecimento das vazões  $Q_{95\%}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{80\%}$  para sua utilização.

Segundo a ANA (2009), são considerados para a caracterização das vazões mínimas as vazões  $Q_{7,10}$ , a  $Q_{95\%}$  e  $Q_{90\%}$ . A vazão  $Q_{7,10}$  representa a vazão mínima média de 7 dias consecutivos com recorrência de 10 anos, enquanto a vazão  $Q_{95\%}$  ou  $Q_{90\%}$  corresponde ao valor da série histórica que é excedida, respectivamente, em 95% ou 90% do tempo.

No estado do Paraná, segundo Normas da SUDERHSA (2006), a vazão outorgável considerada para consumo humano, abastecimento público e lançamento de esgoto é a ( $Q_{95\%}$ ). Como exemplo, para a vazão outorgável determinada em uma seção do corpo hídrico, com base nas seguintes formulações:

$$Q_{outorgável\ i} = 0,5 \cdot (Q_{95\%})_i - Q_{não\ disponível\ i} \quad \text{equação (40)}$$

$$Q_{não\ disponível\ i} = \sum Q_{outorgadas\ m} + \sum Q_{outorgadas\ j} \quad \text{equação (41)}$$

Onde:

$Q_{outorgável\ i}$  = é a vazão máxima que pode ser outorgada na seção i do corpo hídrico;

$Q_{(95\%)i}$  = é a vazão natural com permanência de 95% do tempo na seção i;

$\sum Q_{outorgadas\ m}$  = é a somatória das vazões outorgadas à montante, que dependem da vazão na seção i;

$\sum Q_{outorgadas\ j}$  = é a somatória das vazões outorgadas à jusante, que dependem da vazão na seção i.

Essa equação pode também ser utilizada, conforme a SUDERHSA (2006), para a liberação de outorgas no lançamento de esgotos domésticos e industriais, irrigação e piscicultura.

Desta forma, para a obtenção da vazão outorgável é necessário o conhecimento das outorgas, que estão ocorrendo no corpo hídrico, tanto na montante como na jusante. O critério principal está no uso de 50% da vazão de referência, que neste caso (equação 40), a  $Q_{95\%}$ . O uso de 50% da vazão de referência apresenta como função principal a conservação da vazão ecológica, determinada a assegurar a manutenção e preservação dos ecossistemas aquáticos naturais.

#### 4.6 ANÁLISE HIDROLÓGICA: CURVA NÚMERO

A equação de Intensidade Pluviométrica foi obtida na Carta de Intensidade Pluviométrica da SUDERHSA (2000). Recorrendo a equação base regionalizada, obtém-se para Pato Branco, localizado a latitude de 26°07'00" e longitude 52°41'00" valor de  $a = 879,43$   $m = 0,152$   $b = 9$   $n = 0,732$ .

$$i = \frac{879,43}{(t_d + 9)^{0,732}} * Tr^{0,152} \quad \text{equação (42)}$$

Com a equação da intensidade, adotou-se o Tempo de recorrência para os seguintes valores: 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos respectivamente, pois estes anos são na sua maioria utilizados para obras hidráulicas. O tempo da duração da precipitação também foi adotado, com os seguintes valores: 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 210 e 240 minutos. Assim, exemplificando para  $Tr = 10$  anos e  $Td = 20$ min, tem-se:

$$I_{\text{máxima PB}} = (879,43 \times 10^{0,152}) \div (20 + 9)^{0,742} = 1247,96 \div 11,76 = \mathbf{106,12 \text{ mm/h}}$$

Os valores obtidos da intensidade pluviométrica (mm/h), tempo de recorrência e duração de precipitação estão na tabela 8 e ilustrado com o gráfico i-d-f (intensidade, duração e frequência na figura 55).

Os resultados obtidos apresentam a estimativa de intensidade de chuva (mm/h) para cada tempo de recorrência. Quanto maior o tempo de recorrência adotado, maior é a intensidade da chuva a ser trabalhada em projeto, isto é devido que a equação da intensidade de chuva esta diretamente proporcional ao tempo de recorrência.

Tabela 8. Valores da intensidade pluviometria (mm/h).

(Tr) em anos	Td (em minutos)									
	20	40	60	80	100	120	140	160	210	240
5	95,49	65,05	50,63	42,02	36,23	32,03	28,8	26,28	21,74	19,79
10	106,10	72,27	56,26	46,69	40,25	35,58	32,02	29,20	24,15	21,99
15	112,85	76,87	59,83	49,66	42,81	37,85	34,06	31,06	25,69	23,39
20	117,89	80,30	62,51	51,88	44,73	39,54	35,58	32,44	26,84	24,43
25	121,96	83,07	64,66	53,67	46,27	40,90	36,81	33,56	27,76	25,27
50	135,51	92,30	71,85	59,63	51,41	45,45	40,90	37,29	28,08	25,84
100	150,57	102,56	79,83	66,26	57,12	50,50	45,44	41,44	31,20	28,71

Para tempo de  $Tr = 10$  anos e  $td = 20$  minutos a intensidade de chuva resultou-se em 106,10 mm/h, enquanto para a mesmo tempo de duração e  $Tr = 100$  anos, a intensidade da chuva resultou em 150,57 mm/h, com acréscimo de 44,41 mm/h. Para projetos hidráulicos, o engenheiro deve considerar o tempo de retorno a ser adotado, para que não ocorra falhas, como transbordamentos de canais ou sub-dimensionamento de tubulações.

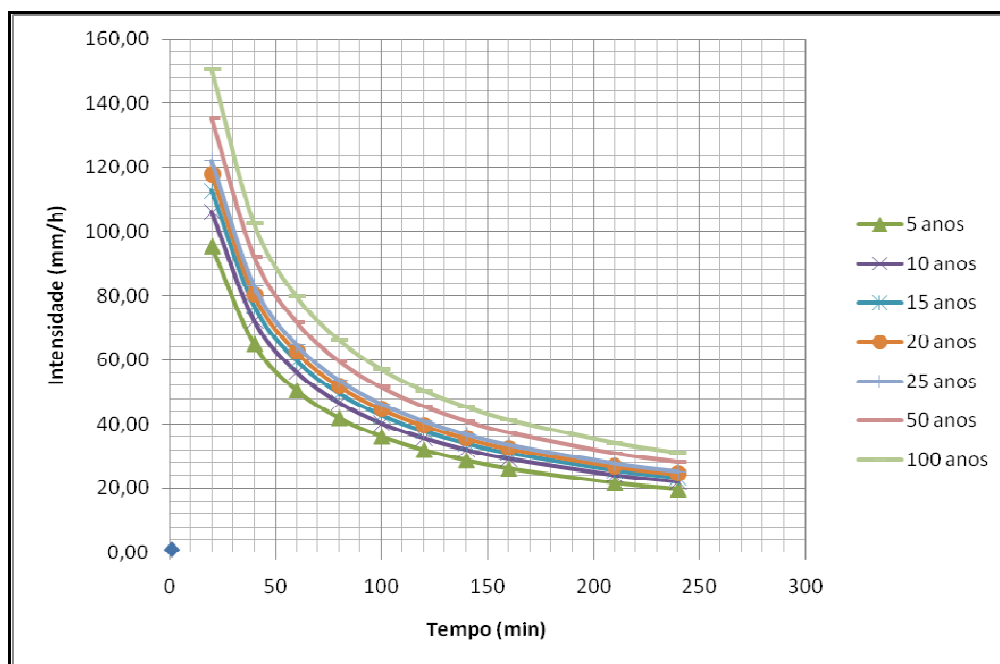


Figura 55. Gráfico de intensidade, duração e frequência.

### Enquadramento das Curvas Número

Para a classificação hidrológica do solo foi preciso proceder à análise granulométrica do solo da bacia em estudo. Na pesquisa, esta análise foi obtida pelo trabalho elaborado em Tabalipa (2008), o qual estudou a estabilidade de vertentes na bacia hidrográfica do rio Ligeiro.

Neste estudo, para definições das classes hidrológicas dos solos, foram amostrados 16 pontos (figura 56), de diferentes profundidades, retirados as amostra de solo e levadas até o laboratório, onde se determinou a granulometria por peneiramento e sedimentação (areia, silte e argila). De posse dos dados de cada amostra-se processou o enquadramento das classes hidrológicas de solo (A, B, C, D) conforme preconiza a metodologia. O quadro 17 mostra a textura dos solos nestes 16 pontos aleatoriamente distribuídos na bacia.

Com os resultados de granulometria classificaram-se os solos em A, B, C ou D de acordo com o uso do ábaco. Cada amostra foi inserida no ábaco e obtida o grupo hidrológico

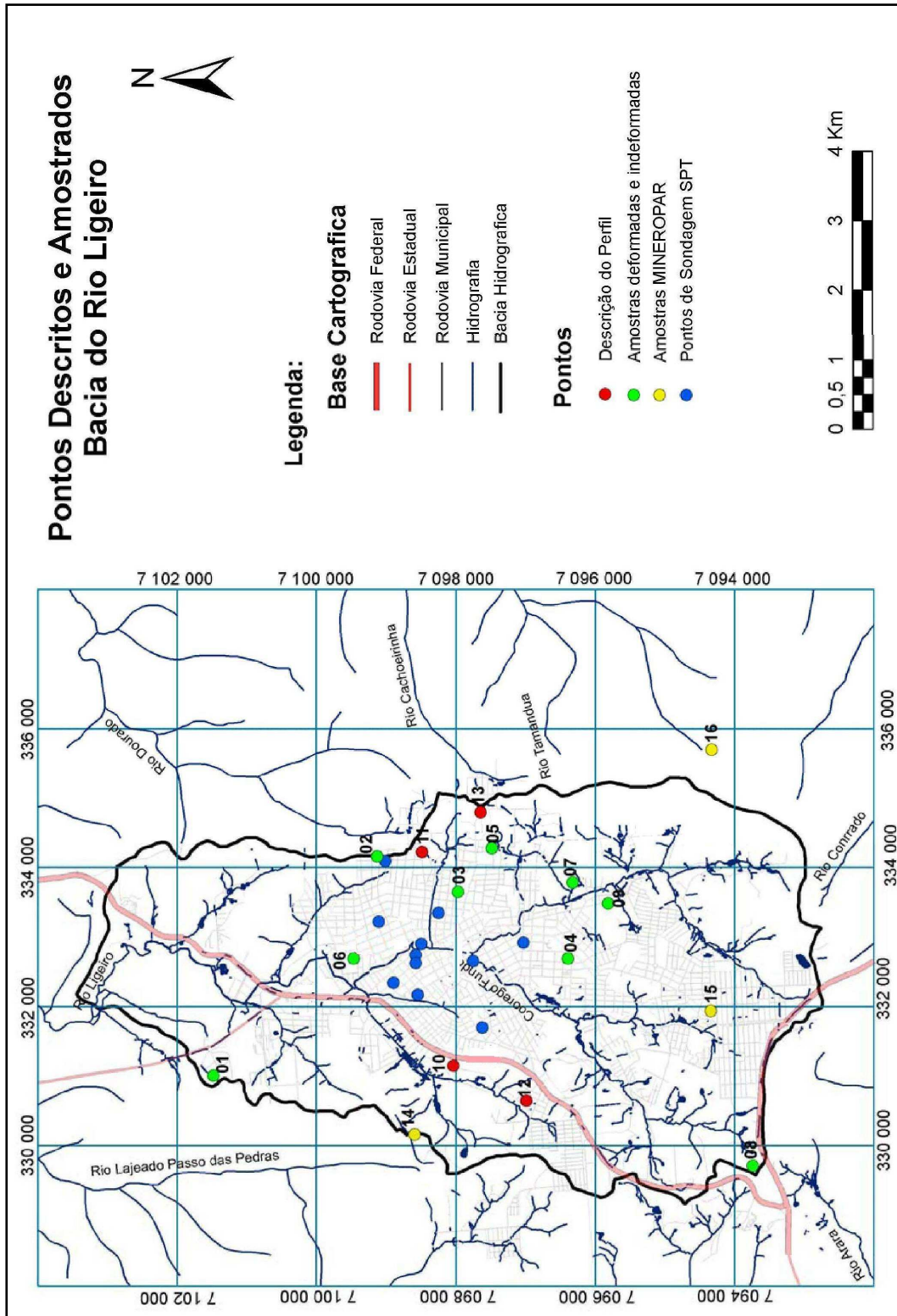


Figura 56. Pontos de amostragem de solos.

do solo. Na bacia hidrográfica do rio Ligeiro dos quatro grupos descritos pelo método SCS, foi identificado apenas 1 grupo, o grupo D constituído com elevado potencial de escoamento e baixa taxa de infiltração.

Fonte: Modificado de Tabalipa, 2008.

Ponto	Prof. (m)	Areia (%)	Silte (%)	Argila
1	2,0	6,30	29,31	64,39
2	2,5	11,57	28,71	59,72
3	0,75	16,85	19,22	63,93
4	2,5	15,36	7,29	77,35
5	0,75	15,24	12,41	72,35
6	2,50	13,00	26,54	60,46
7	0,75	2,97	14,21	82,82
8	1,50	8,35	41,82	49,83
9	0,40	21,98	35,08	42,94
10	1,50	22,00	16,00	62,00
11	0,40	38,00	28,00	34,00
12	0,75	19,00	10,00	71,00
13	2,50	12,00	20,00	68,00
14	2,50	5,00	21,00	74,00
15	0,75	3,00	22,00	75,00
16	2,50	2,00	20,00	78,00

Quadro 18. Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação.

Fonte – Tabalipa (2008)

A figura 57 ilustra o procedimento de determinação da classificação do solo. Por exemplo, quatro (4) amostras estão identificadas em cada ábaco sendo: A) 6% areia, 29% silte e 64 % argila; B) 38% areia, 28 % silte e 34% argila, C) 26% areia, 30 silte e 44% argila e d) 3% areia, 22% silte e 75% argila, todos resultando o grupo D.

Para utilizar-se o ábaco de classificação do solo têm-se o seguinte exemplo: para a amostra com 6% de areia, 29 % de silte e 64% de argila, primeiramente posiciona-se a porcentagem de silte (29%) no ábaco, o qual corresponde ao lado direito do triângulo e as linhas inclinadas no sentido superior ao inferior. Depois marca-se o valor de argila (64%), na lateral esquerda, a qual compreende as linhas horizontais e por último marca-se o valor de areia (6%), que encontra-se na base do triângulo, representada pelas linhas inclinadas

verticais, do sentido direita a esquerda. Prolongam-se as três linhas até estas se encontrarem, localizando o ponto e definindo a tipologia, pela área a qual o ponto se encontra.

Como a bacia em estudo apresenta diferentes tipos de solos e de cobertura superficial, foi necessário adotar um único valor da CN para cada ano estudado, o qual foi obtido pela média ponderada dos diversos valores de CNs correspondente às tipologias de uso do solo. Pode-se observar que na situação NIII, o valor médio da CN foi o maior, devido à situação de saturação do solo, bem como a impermeabilização ocorrida (quadro 18).

Tipologias de uso do solo	Áreas				CN em situação de NI para classe hidrológica D		
	1980		2008		NI	NII	NIII
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%			
Áreas florestais densas	8,7	12,75	7,54	11,05	58	77	89
Áreas florestais esparsas	3,6	5,27	4,58	6,71	67	83	92
Edificação residencial baixa densidade (média de 30% impermeável)	3,05	4,47	8,06	11,81	74	87	94
Edificação residencial média densidade (média de 65% impermeável)	3,4	4,98	6,24	9,14	83	92	96
Edificação residencial alta densidade	1	1,46	1,18	1,73	89	95	98
Áreas industriais e de serviços	0,3	0,44	5,18	7,59	85	93	97
Agricultura e Pastagem	48,21	70,63	35,48	51,98	64	81	91
<b>Total de área da bacia</b>	<b>68,26</b>	<b>100</b>	<b>68,26</b>	<b>100</b>	--	--	--
<b>CN média da bacia nas condições de umidade NI</b>	<b>65,27</b>		<b>68,48</b>		-----		
<b>CN média da bacia nas condições de umidade NII</b>	<b>81,68</b>		<b>83,56</b>		-----		
<b>CN média da bacia nas condições de umidade NIII</b>	<b>91,32</b>		<b>91,83</b>		-----		

Quadro 19. Uso do solo e Valores Médios de CN nos anos de 1980 e 2008.

Para determinação dos valores de cada CN correspondente ao uso do solo, fez-se a utilização do quadro 5, considerando a bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro como de áreas urbanas e suburbanas. Para isso, considerou-se a tipologia encontrada na confecção dos mapas de uso do solo, com a tipologia apresentada no quadro 5:

- Para áreas florestais densas, considerou-se o valor da CN para bosque ou áreas florestais com boa cobertura do solo;
- Para áreas florestais esparsas, considerou-se o valor da CN para bosque ou áreas florestais com má cobertura sem matéria orgânica;

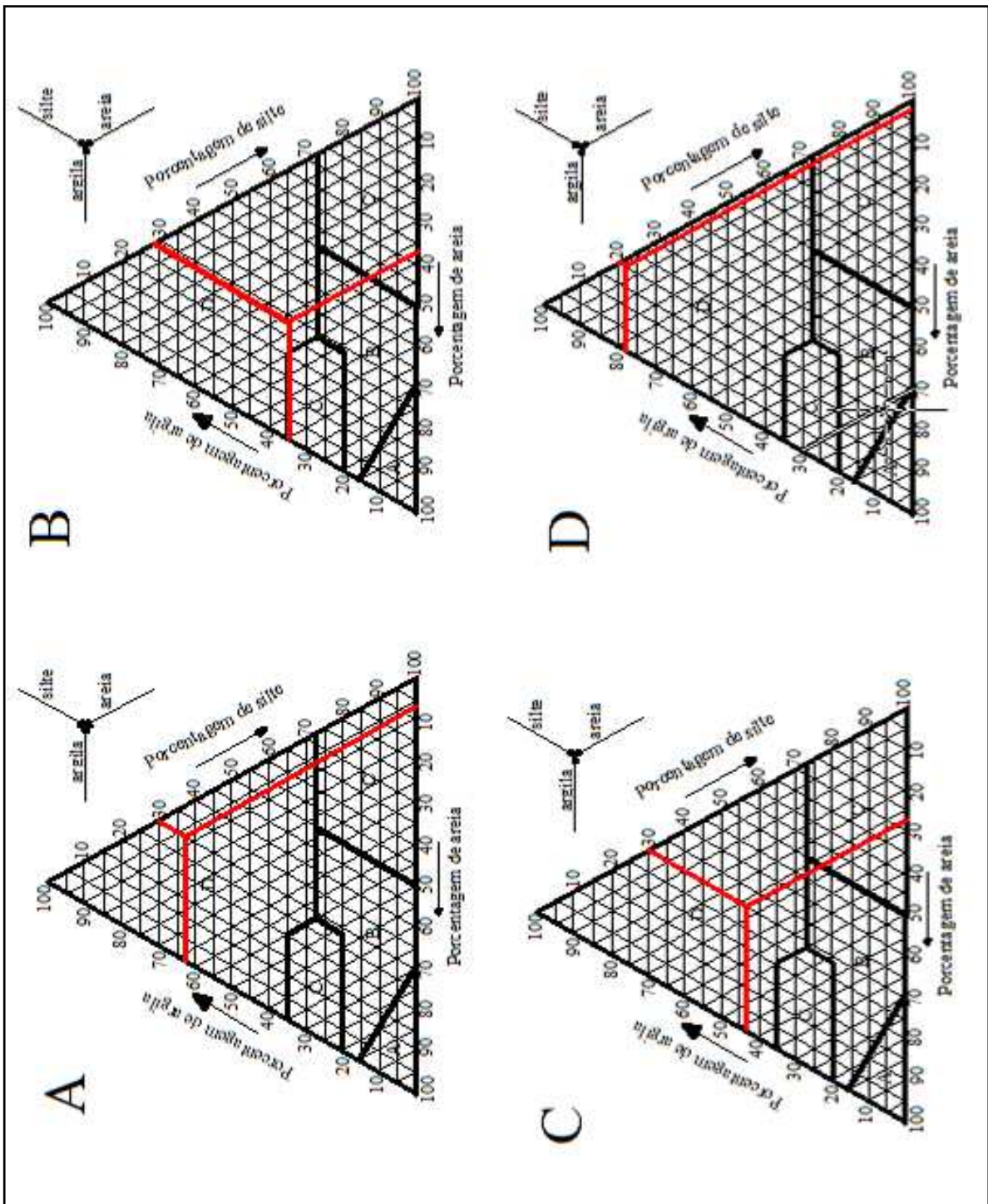


Figura 57. Resultados da classificação hidrológica do solo.  
 Fonte: modificado de Tabalipa, 2008.

- Para áreas de edificação residencial baixa densidade, considerou o valor da CN para áreas residenciais: áreas médias dos lotes até 1300 m<sup>2</sup> com média de 30% impermeável;



- Para áreas de edificação residencial média densidade, considerou-se o valor da CN para áreas residenciais: áreas médias dos lotes  $< 500 \text{ m}^2$  com média de 65% impermeável;
- Para áreas de edificação residencial alta densidade, considerou-se o valor da CN para a tipologia áreas comerciais e industriais: áreas comerciais e de escritórios (85% de área impermeável);
- Para áreas industriais e de serviço, considerou-se o valor da CN para áreas comerciais e industriais: áreas industriais (85% de área impermeável);
- E por fim, para áreas de agricultura e pastagem, considerou-se o valor da CN para áreas de agricultura, com medidas de conservação do solo.

Para determinação da CN média partiu-se para o cálculo da média ponderada, que compreende na multiplicação da área de cada uso do solo com os valores da CN correspondente, dividido pela quantidade de tipologias de uso do solo, sendo na bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro o total de 7. Considerando a CN média nas condições de umidade NII, para o ano de 1980, calculou-se da seguinte maneira;

$CN_{\text{média}} (\text{NII}) = (8,7 \times 77 + 3,6 \times 83 + 3,05 \times 87 + 3,4 \times 92 + 1 \times 95 + 0,3 \times 93 + 48,21 \times 64) / 7$ ,  
resultando em 81,68.

### **Capacidade de Saturação da Bacia (S)**

Os resultados das áreas entre o ano de 1980 e 2008 mostram uma pequena redução da vegetação local, porém ocorreu o crescimento da cidade para a região sul, onde se localiza os bairros de baixa densidade e na avenida principal onde localiza a área de comércio e de serviços locais.

A área central da cidade, entre 1980 a 2008, cresceu apenas 0,18 km<sup>2</sup>, isto ocorre devido ao processo de verticalização central na cidade, visto que o relevo dificulta a expansão horizontal e a área central é a parte mais plana da cidade. As expansões de áreas de serviços estão representadas pelas áreas de ensino, universidades e faculdades que estabeleceram depois de 1980.

Com tipos de coberturas de solo resultantes da confecção dos mapas, bem como a alterações ao longo dos dois períodos estudados, pode-se quantificar a capacidade de retenção máxima do solo. Para isso foi necessário adotar um valor da CN para cada condição do solo, NI, NII e NIII (solo seco, solo em situação normal e solo saturado, respectivamente). Os resultados estão na tabela 9 e na figura 58, com os valores das CNs e das respectivas capacidades máximas de saturação (S).

Tabela 9. Capacidade de Máxima Saturação da bacia (S) nos anos de 1980 e de 2008.

1980	Curva Número em diferentes classes hidrológicas			Capacidade Máxima de Saturação da bacia (mm)		
	NI	NII	NIII	SI	SII	SIII
<b>Tipologia de uso do solo</b>						
Áreas florestais densas	58	77	89	183,93	75,87	31,39
Áreas florestais esparsas	67	83	92	125,10	52,02	22,09
Edificação residencial baixa densidade (média de 30% impermeável)	74	87	94	89,24	37,95	16,21
Edificação residencial média densidade (média de 65% impermeável)	83	92	96	52,02	22,09	10,58
Edificação residencial alta densidade	89	95	98	31,39	13,37	5,18
Áreas industriais e de serviços	85	93	97	44,82	19,12	7,86
Agricultura e Pastagem	64	81	91	142,88	59,58	25,12
<b>Média ponderada de CN</b>	<b>65,27</b>	<b>81,68</b>	<b>91,32</b>	<b>135,15</b>	<b>56,96</b>	<b>24,14</b>
2008	Curva Número em diferentes classes hidrológicas			Capacidade Máxima de Saturação da bacia		
	NI	NII	NIII	SI	SII	SIII
<b>Tipologia de uso do solo</b>						
Áreas florestais densas	58	77	89	183,93	75,87	31,39
Áreas florestais esparsas	67	83	92	125,10	52,02	22,09
Edificação residencial baixa densidade (média de 30% impermeável)	74	87	94	89,24	37,95	16,21
Edificação residencial média densidade (média de 65% impermeável)	83	92	96	52,02	22,09	10,58
Edificação residencial alta densidade	89	95	98	31,39	13,37	5,18
Áreas industriais e de serviços	85	93	97	44,82	19,12	7,86
Agricultura e Pastagem	64	81	91	142,88	59,58	25,12
<b>Média ponderada de CN</b>	<b>68,48</b>	<b>83,56</b>	<b>91,83</b>	<b>116,91</b>	<b>49,97</b>	<b>22,60</b>

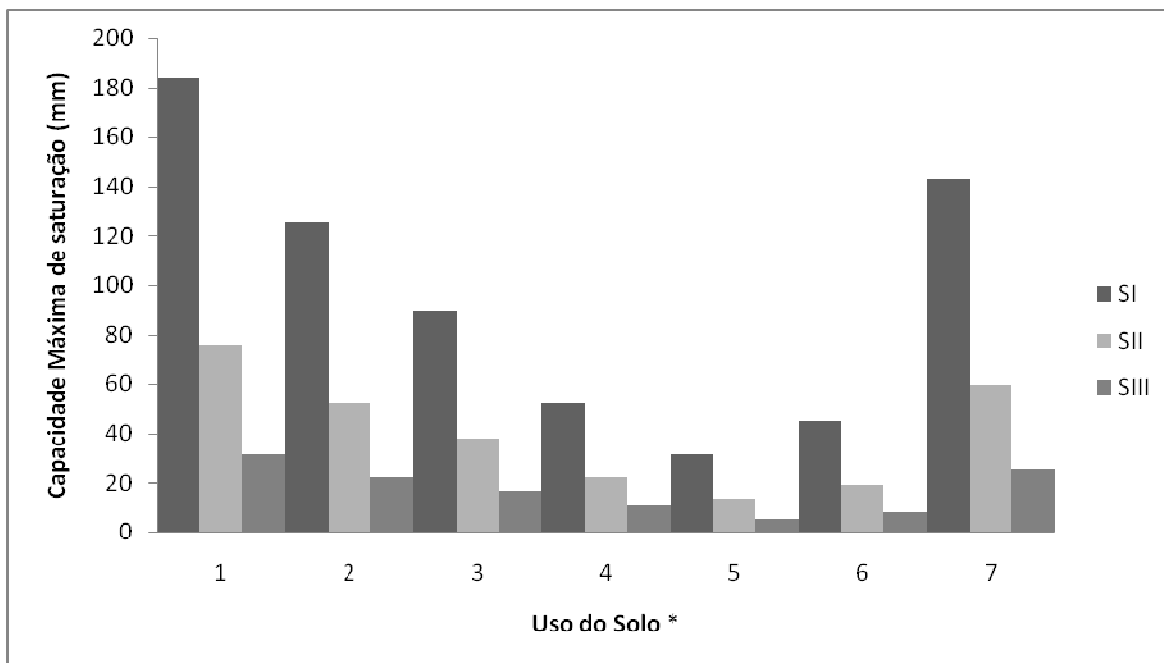


Figura 58. Gráfico de capacidade máxima de saturação de 1980 e 2008.

Nota: Uso do Solo\*

- 1 – Áreas florestais densas
- 2 – Áreas florestais esparsas
- 3 – Edificação residencial baixa densidade (média de 30% impermeável)
- 4 – Edificação residencial média densidade (média de 65% impermeável)
- 5 – Edificação residencial alta densidade
- 6 – Áreas industriais e de serviços
- 7 – Agricultura e Pastagem

Pode-se observar que ambos os anos de 1980 e 2008 resultam em valores iguais de capacidade máxima de saturação, pois o cálculo de S depende exclusivamente da CN, encontrada no quadro 5. O que diferenciam são os valores médios de S, devido ao cálculo pela média ponderada, que equivale à área de cada uso do solo.

Para calcular as capacidades máximas de saturação foi utilizada a equação 27, descrita no capítulo 3, item 3.6. Considerando para o ano de 1980 e a tipologia de uso do solo como áreas florestais densas na condição NII, a capacidade máxima de saturação foi calculada seguindo o procedimento abaixo (equação (27));

$$S = (25400/77) - 254 = 75,87$$

O mesmo procedimento foi realizado para determinação da capacidade média máxima de saturação (S) utilizando a CN média, o qual resultou 56,96 para 1980 e 49,97 para o ano de 2008, considerando a situação NII (figuras 59 e 60).

Confeccionado os mapas de “S”, ilustrados nas figuras 61 e 62, boa parte da área urbana da cidade está com o potencial de retenção de água do solo reduzido, propiciando o aumento do escoamento superficial, problemas com enchentes, erosões e assoreamento no rio.

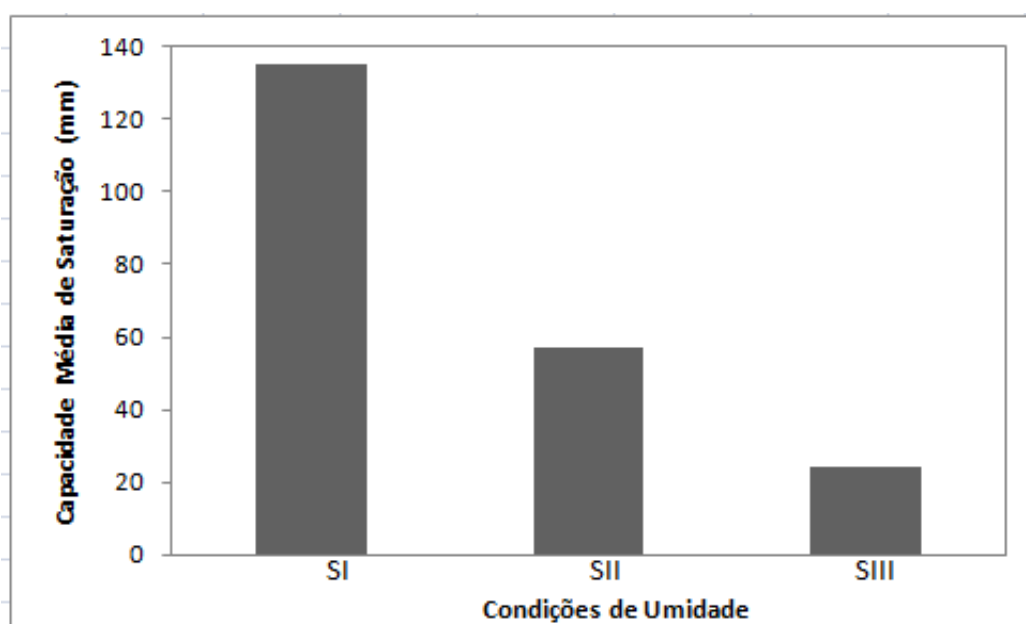


Figura 59. Capacidade média de saturação de 1980.

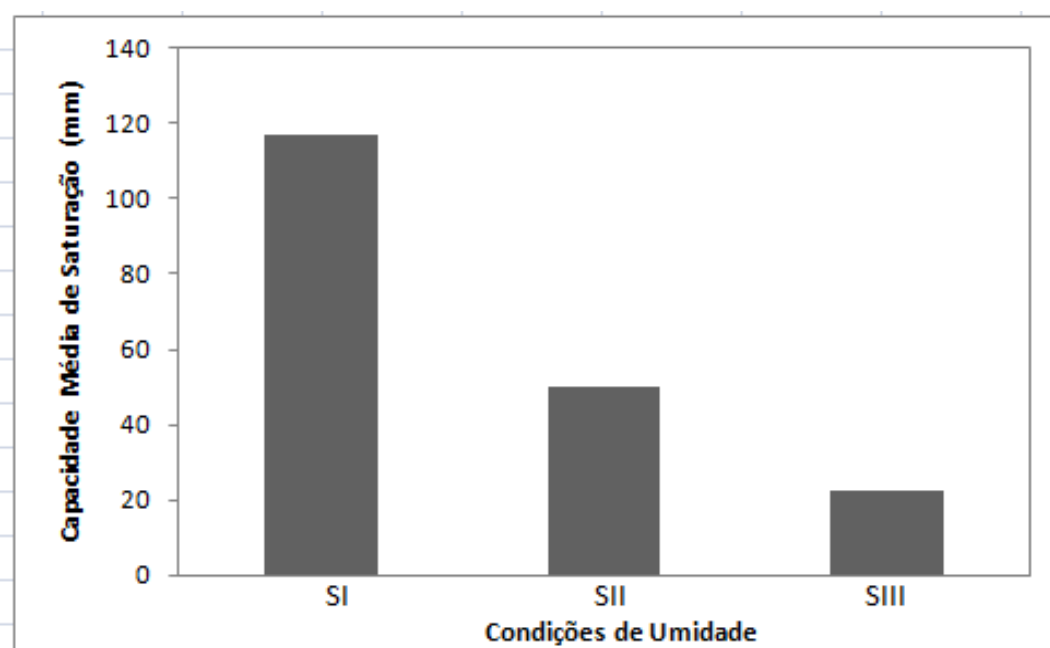


Figura 60. Capacidade média de saturação para 2008.

Em visita de campo em fevereiro de 2010, foi observado que outra área de agricultura (região norte) foi modificada em área residencial de média densidade, com loteamentos prontos para a venda, divisa com a Faculdade de Pato Branco e a UTFPR.

Entretanto, se tomarmos os valores médios de CN para cada ano (1980 e 2008) observa-se uma tendência a impermeabilização, por exemplo, a CNI no período, passa de 65,27 para 68,48, o que reduz a capacidade média de saturação em 18,24 (135,15 – 116,91). Este comportamento hidrológico é também observado para as condições de NII e NIII. A figura 45 e 46 mostra os mapas de Capacidade Máxima de Saturação em relação às tipologias de uso do solo nas condições de NII, ou seja, situação normal de umidade do solo.

### **Precipitação Efetiva (Pe) e Vazão Máxima e Mínima Média**

Pe (ou Es) é o escoamento superficial real que se quer estimar. Este escoamento superficial atinge o leito do rio como Qd (Vazão Direta) do hidrograma de vazão. O total de Es que escorre pela superfície do solo pode produzir erosão. Em síntese é a quantidade de água que sobra depois de certa quantidade de água ser “abstraída” e “infiltrada” na bacia.

A obtenção da precipitação efetiva permitiu calcular o coeficiente de escoamento superficial (CE) pela fórmula racional tradicional ajustada nas unidades das variáveis de cálculo. Pode-se assim construir tabela de dados que mostra o comportamento hidrológico da bacia (quadro 19).

A precipitação efetiva foi calculada com o uso da equação 31, no capítulo 3, item 3.6. Para o cálculo de Pe é necessário conhecer a precipitação total e para cidade de Pato Branco, utilizou-se a equação 37, transformou-se o resultado obtido de mm/h por mm, conforme o Td adotado para o cálculo.

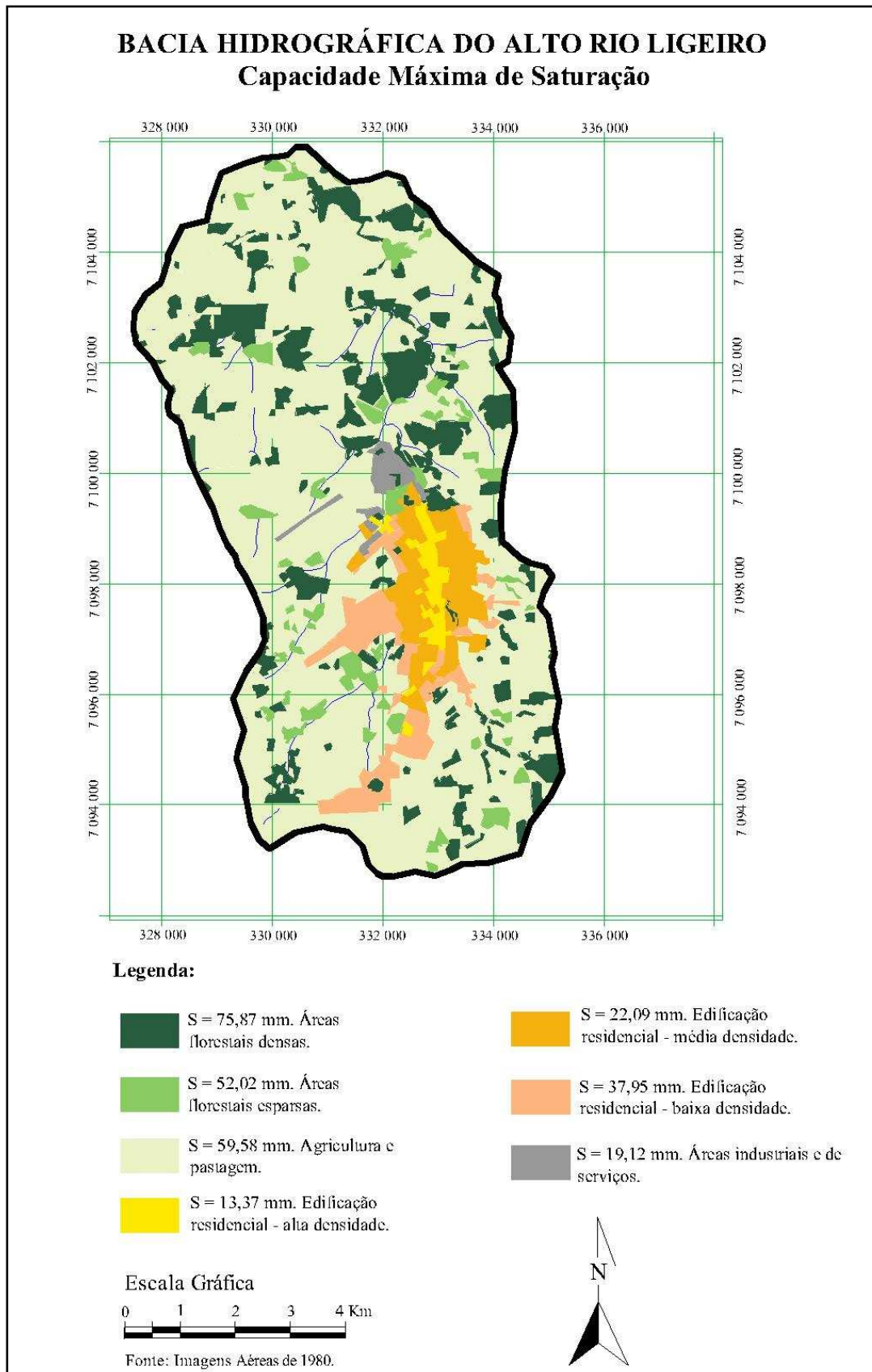


Figura 61. Mapa de capacidade máxima de saturação (S) da bacia no ano de 1980.

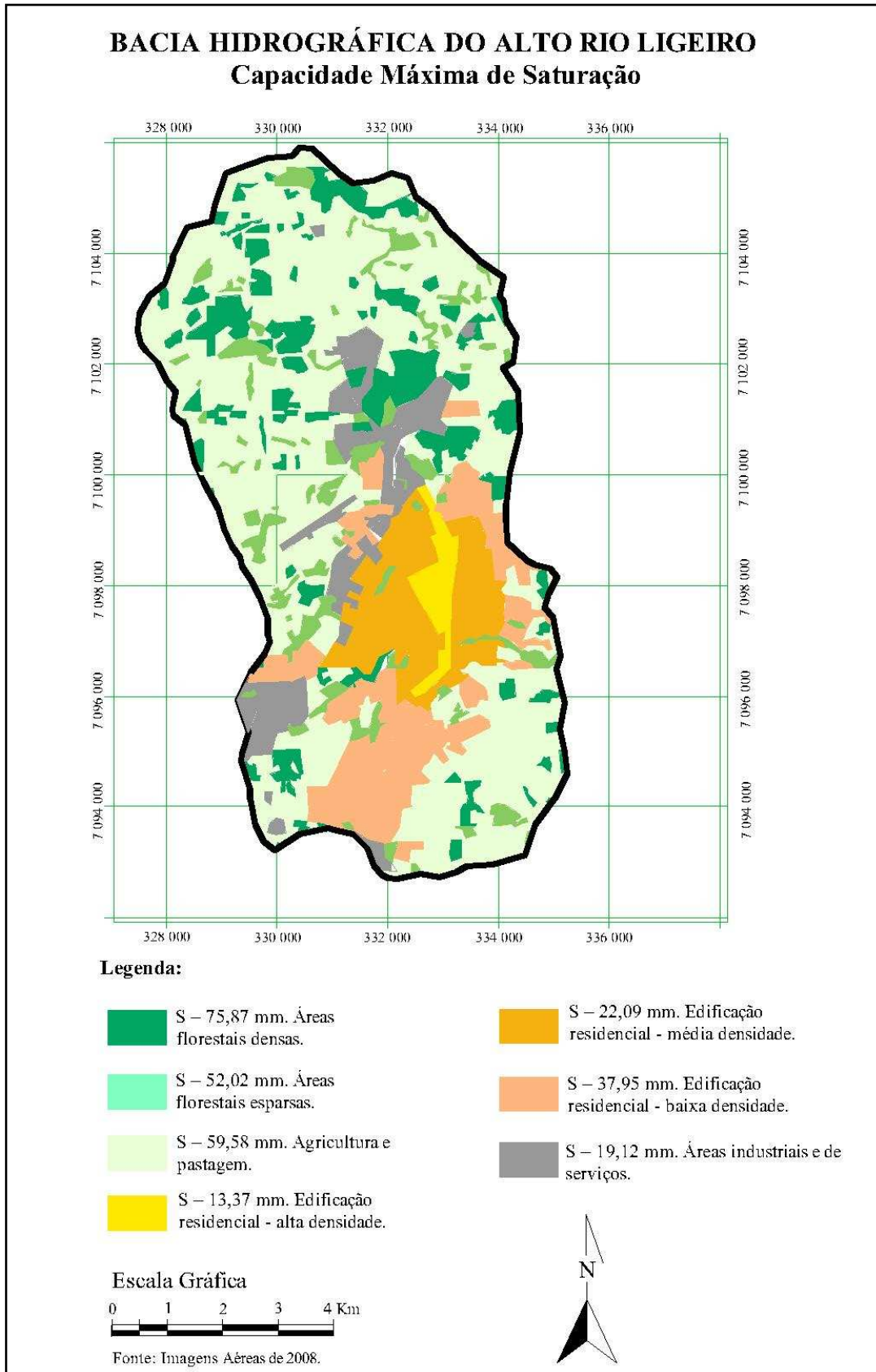


Figura 62. Mapa de capacidade máxima de saturação (S) da bacia no ano de 2008.

Ano	Área da Bacia (km <sup>2</sup> )	CN média	Classe Hidrol.	Intensidade Chuva Tr = 10 anos ("i") (mm/h)	Capacidade Máxima de Saturação	Precipitação Efetiva Pe (mm)	Coefficiente de Escoamento CE = Pe/Pp	Vazão Máxima Q (m <sup>3</sup> /s)
1980	68,26	65,27	NI	106,10*	135,15	0,48	0,014	27,18
		81,68	NII		56,96	7,08	0,200	402,68
		91,32	NII		24,14	17,06	0,482	970,45
2008		68,48	NI		116,91	1,11	0,031	62,41
		83,56	NII		49,97	8,54	0,242	487,24
		91,56	NII		22,60	18,41	0,521	1048,97
1980	68,26	65,27	NI	21,99**	135,15	18,93	0,215	89,72
		81,68	NII		56,96	43,81	0,498	207,81
		91,32	NII		24,14	64,41	0,732	305,46
2008		68,48	NI		116,91	22,97	0,261	108,91
		83,56	NII		49,97	47,50	0,540	225,34
		91,56	NII		22,60	66,63	0,758	316,30

Quadro 20. Aplicação da fórmula racional tradicional de cálculo de vazão.

\* Para Td de 20 minutos

\*\* Para Td de 240 minutos

Considerando  $i$  de 106,10 mm/h a  $P_p$  (precipitação total) será de 35,3666 mm pois estamos considerando a duração da precipitação de 20 minutos;

$$P_p = (106,10 * 20/60) = 35,3666 \text{ mm}$$

Para cálculo de  $P_e$ , substituindo na fórmula o valor de  $P_p$ , de  $S$  e a CN média para a situação NII, tem-se:

$$P_e = (35,3666 - 0,2 \times 135,15) / (35,3666 + 0,8 \times 135,15) = 0,48 \text{ mm}$$

Os resultados obtidos no quadro 19 apresentam altos valores de vazões máximas: de 970,45 m<sup>3</sup>/s para o ano de 1980, com uma chuva de duração de 20 minutos, ao 1048,97 m<sup>3</sup>/s para o ano de 2008, com o acréscimo de 78,52 m<sup>3</sup>/s. Observa-se que o CE tendeu a aumentar com o passar dos anos, como em 1980 de 1,35% para 3,1% em 2008, isto mostra a impermeabilização do solo ocorrido na bacia hidrográfica.

### Tempo de máxima vazão (td) e Vazão Máxima (Método Ven Te Chow)



Os resultados apresentados nas tabelas 10 e 11 distinguem os anos de 1980 e 2008, que com os passar de 28 anos de diferença a precipitação efetiva ou escoamento superficial gerado sofreu um leve aumento ocasionado pela modificação do uso do solo da bacia. Como exemplo, em  $t_d = 20$  minutos (0,33 horas) e  $T_r$  de 10 anos na condição CNI, a  $P_e$  (precipitação efetiva ou escoamento superficial) resultou em 0,48 mm, em comparação este mesmos dados, para 2008, subiu para 1,11, diferença de 0,63 mm ou 0,63 l/m<sup>2</sup>. O mesmo ocorre para a vazão de pico, que para o ano de 1980, e  $t_d = 20$  minutos (0,33 horas) apresentou uma vazão de 4,08 m<sup>3</sup>/s de 1980 para 9,41 m<sup>3</sup>/s no ano de 2008, acréscimo de 5,33 m<sup>3</sup>/s, isto é 2,3 vezes maior o volume produzido pelo escoamento superficial.

(continua)

Tempo de duração (h) para diferentes Tempo de retorno	Precipitação Efetiva (mm)			Vazão Máxima Q (m <sup>3</sup> /s)		
	Classe Hidrológica NI (mm)	Classe Hidrológica NII (mm)	Classe Hidrológica NIII (mm)	Classe Hidrológica NI (m <sup>3</sup> /s)	Classe Hidrológica NII (m <sup>3</sup> /s)	Classe Hidrológica NIII (m <sup>3</sup> /s)
<b>Tr 5 anos</b>						
0,3	0,16	5,40	14,20	1,39	45,55	119,83
0,7	1,76	11,49	23,61	15,66	102,21	209,98
1,0	3,51	16,00	29,90	29,26	133,47	249,38
1,3	5,12	19,61	34,69	39,77	152,23	269,34
1,7	6,60	22,65	38,62	48,16	165,24	281,74
2,0	7,96	25,29	41,96	56,39	179,19	297,28
2,3	9,22	27,65	44,89	61,56	184,56	299,68
2,7	10,40	29,78	47,51	67,41	193,03	307,97
3,5	13,06	34,40	53,10	73,14	192,60	297,32
4,0	14,51	36,81	55,98	72,17	183,12	278,47
<b>Tr 10 anos</b>						
0,3	0,48	7,08	17,06	4,09	59,76	143,97
0,7	2,86	14,40	27,85	25,46	128,05	247,66
1,0	5,20	19,72	35,00	43,34	164,45	291,91
1,3	7,28	23,94	40,43	56,54	185,83	313,87
1,7	9,16	27,47	44,86	66,82	200,44	327,32
2,0	10,87	30,54	48,64	76,98	216,37	344,59
2,3	12,44	33,26	51,94	83,02	222,06	346,75
2,7	13,90	35,73	54,89	90,07	231,57	355,82
3,5	17,17	41,04	61,18	96,12	229,80	342,55
4,0	18,93	43,81	64,41	94,16	217,95	320,42
<b>Tr 15 anos</b>						
0,3	0,77	8,27	18,88	6,49	69,77	159,40
0,7	3,68	16,40	30,53	32,72	145,88	271,57
1,0	6,41	22,26	38,22	53,43	185,66	318,83
1,3	8,81	26,88	44,06	68,37	208,70	342,03
1,7	10,95	30,75	48,81	79,86	224,33	356,12
2,0	12,88	34,09	52,86	91,27	241,53	374,47

(conclusão)

Tempo de duração (h) para diferentes Tempos de retorno	Precipitação Efetiva (mm)			Vazão Máxima Q (m <sup>3</sup> /s)		
	Classe Hidrológica NI (mm)	Classe Hidrológica NII (mm)	Classe Hidrológica NIII (mm)	Classe Hidrológica NI (m <sup>3</sup> /s)	Classe Hidrológica NII (m <sup>3</sup> /s)	Classe Hidrológica NIII (m <sup>3</sup> /s)
2,3	14,66	37,06	56,39	97,84	247,38	376,47
2,7	16,30	39,73	59,55	105,65	257,54	386,02
3,5	19,97	45,51	66,28	111,80	254,78	371,10
4,0	21,94	48,51	69,74	109,12	241,30	346,90
<b>Tr 20 anos</b>						
0,3	1,02	9,17	20,27	8,62	77,44	171,11
0,7	4,35	17,92	32,57	38,65	159,36	289,63
1,0	7,38	24,17	40,66	61,52	201,61	339,13
1,3	10,02	29,09	46,79	77,77	225,86	363,24
1,7	12,36	33,20	51,78	90,17	242,22	377,80
2,0	14,47	36,75	56,03	102,51	260,35	396,94
2,3	16,40	39,89	59,74	109,47	266,30	398,81
2,7	18,18	42,73	63,06	117,85	276,94	408,72
3,5	22,15	48,83	70,11	124,03	273,42	392,54
4,0	24,28	52,01	73,73	120,77	258,72	366,78
<b>Tr 25 anos</b>						
0,3	1,25	9,93	21,40	10,53	83,81	180,66
0,7	4,92	19,17	34,21	43,72	170,46	304,29
1,0	8,20	25,74	42,63	68,36	214,70	355,59
1,3	11,04	30,90	49,00	85,67	239,92	380,42
1,7	13,54	35,20	54,19	98,80	256,85	395,35
2,0	15,80	38,92	58,60	111,91	275,73	415,14
2,3	17,85	42,21	62,45	119,17	281,75	416,89
2,7	19,75	45,17	65,89	128,01	292,77	427,09
3,5	23,97	51,55	73,21	134,18	288,61	409,88
4,0	26,22	54,86	76,96	130,43	272,90	382,86
<b>Tr 50 anos</b>						
0,3	2,15	12,57	25,24	18,12	106,12	213,04
0,7	7,02	23,47	39,77	62,41	208,76	353,74
1,0	11,16	31,12	49,27	93,09	259,60	410,95
1,3	14,68	37,09	56,44	113,95	287,97	438,14
1,7	17,75	42,05	62,26	129,51	306,76	454,27
2,0	20,49	46,31	67,21	145,18	328,10	476,16
2,3	22,98	50,08	71,53	153,41	334,30	477,52
2,7	25,27	53,46	75,39	163,77	346,55	488,64
3,5	30,32	60,74	83,58	169,75	340,11	467,95
4,0	33,00	64,52	87,78	164,17	320,94	436,68
<b>Tr 100 anos</b>						
0,3	3,39	15,72	29,60	28,60	125,16	249,90
0,7	9,68	28,49	46,05	86,13	239,06	409,55
1,0	14,83	37,35	56,74	123,72	293,87	473,25
1,3	19,14	44,22	64,79	148,55	323,83	502,96
1,7	22,86	49,89	71,32	166,77	343,42	520,36
2,0	26,16	54,77	76,86	185,33	366,08	544,57
2,3	29,14	59,07	81,70	194,52	372,01	545,42
2,7	31,87	62,93	86,02	206,56	384,81	557,55
3,5	37,87	71,21	95,18	212,02	376,13	532,91
4,0	41,04	75,49	99,88	204,17	354,28	496,85

Tabela 10. Precipitação Efetiva (mm) e Vazão Máxima (m<sup>3</sup>/s) pelo método de Ven Te Chow, 1980.

(continua)

Tempo de duração (h) para diferentes Tempos de retorno	Precipitação Efetiva (mm)			Vazão Máxima Q (m <sup>3</sup> /s)		
	Classe Hidrológica NI (mm)	Classe Hidrológica NII (mm)	Classe Hidrológica NIII (mm)	Classe Hidrológica NI (m <sup>3</sup> /s)	Classe Hidrológica NII (m <sup>3</sup> /s)	Classe Hidrológica NIII (m <sup>3</sup> /s)
<b>Tr 5 anos</b>						
4,86	56,66	132,31	15,51	4,81	56,05	130,90
22,40	102,60	193,95	25,26	25,94	118,83	224,62
38,08	134,76	234,49	31,71	42,96	152,00	264,50
49,16	152,25	252,52	36,61	55,33	171,37	284,23
58,18	165,48	265,66	40,61	64,89	184,56	296,29
2,0	10,50	28,09	44,01	74,36	199,00	311,83
2,3	11,97	30,57	46,99	79,88	204,05	313,71
2,7	13,33	32,80	49,65	86,40	212,63	321,85
3,5	16,38	37,64	55,32	91,69	210,72	309,74
4,0	18,01	40,15	58,23	89,61	199,73	289,68
<b>Tr 10 anos</b>						
0,3	1,11	8,54	18,41	9,41	72,13	155,44
0,7	4,34	16,54	29,52	38,60	147,11	262,51
1,0	7,21	22,24	36,82	60,18	185,49	307,10
1,3	9,70	26,72	42,35	75,31	207,40	328,75
1,7	11,89	30,45	46,85	86,77	222,13	341,80
2,0	13,86	33,67	50,68	98,23	238,53	359,03
2,3	15,66	36,52	54,02	104,55	243,80	360,64
2,7	17,32	39,09	57,01	112,27	253,38	369,53
3,5	21,00	44,63	63,37	117,60	249,87	354,79
4,0	22,97	47,50	66,63	114,28	236,31	331,45
<b>Tr 15 anos</b>						
0,3	1,54	9,83	20,30	13,04	83,00	171,39
0,7	5,36	18,65	32,26	47,69	165,89	286,95
1,0	8,66	24,88	40,10	72,26	207,56	334,51
1,3	11,48	29,76	46,03	89,16	231,06	357,35
1,7	13,96	33,82	50,85	101,83	246,73	371,01
2,0	16,17	37,31	54,95	114,56	264,36	389,29
2,3	18,18	40,40	58,53	121,37	269,73	390,71
2,7	20,03	43,19	61,72	129,84	279,93	400,07
3,5	24,13	49,17	68,51	135,10	275,32	383,61
4,0	26,31	52,28	72,00	130,89	260,06	358,17
<b>Tr 20 anos</b>						
0,3	1,91	10,83	21,74	16,10	91,43	183,48
0,7	6,18	20,27	34,34	54,99	180,30	305,39
1,0	9,81	26,91	42,58	81,82	224,42	355,15
1,3	12,89	32,09	48,80	100,05	249,08	378,86
1,7	15,57	36,38	53,86	113,62	265,44	392,96
2,0	17,97	40,08	58,16	127,31	283,98	412,03
2,3	20,14	43,35	61,91	134,47	289,41	413,30
2,7	22,14	46,29	65,26	143,51	300,07	423,00
3,5	26,55	52,61	72,38	148,66	294,59	405,24
4,0	28,90	55,89	76,03	143,75	278,03	378,22
0,3	1,54	9,83	20,30	16,10	91,43	183,48
<b>Tr 25 anos</b>						
0,3	2,22	11,66	22,90	18,76	98,40	193,32
0,7	6,88	21,60	36,02	61,16	192,13	320,35
1,0	10,77	28,56	44,58	89,85	238,22	371,87

(conclusão)

Tempo de duração (h) para diferentes Tempos de retorno	Precipitação Efetiva (mm)			Vazão Máxima Q (m <sup>3</sup> /s)		
	Classe Hidrológica NI (mm)	Classe Hidrológica NII (mm)	Classe Hidrológica NIII (mm)	Classe Hidrológica NI (m <sup>3</sup> /s)	Classe Hidrológica NII (m <sup>3</sup> /s)	Classe Hidrológica NIII (m <sup>3</sup> /s)
1,3	14,06	33,98	51,05	109,15	263,81	396,28
1,7	16,92	38,47	56,30	123,44	280,71	410,73
2,0	19,47	42,34	60,75	137,91	299,98	430,43
2,3	21,77	45,75	64,65	145,34	305,44	431,57
2,7	23,89	48,82	68,12	154,83	316,47	441,55
3,5	28,55	55,41	75,50	159,87	310,26	422,73
4,0	31,03	58,83	79,29	154,36	292,64	394,43
<b>Tr 50 anos</b>						
0,3	3,42	14,53	26,84	28,89	122,66	226,59
0,7	9,39	26,17	41,68	83,49	232,74	370,69
1,0	14,20	34,21	51,32	118,47	285,36	428,02
1,3	18,21	40,44	58,57	141,34	313,97	454,70
1,7	21,66	45,59	64,46	158,02	332,61	470,29
2,0	24,71	50,01	69,45	175,08	354,28	492,06
2,3	27,47	53,90	73,81	183,35	359,81	492,75
2,7	29,98	57,39	77,70	194,35	372,01	503,63
3,5	35,51	64,88	85,95	198,82	363,28	481,25
4,0	38,43	68,76	90,19	191,17	342,03	448,63
<b>Tr 100 anos</b>						
0,3	5,00	17,92	31,31	42,21	151,25	264,33
0,7	12,50	31,45	48,05	111,19	279,74	427,35
1,0	18,38	40,71	58,87	153,31	339,53	491,07
1,3	23,20	47,84	67,01	180,14	371,38	520,20
1,7	27,33	53,71	73,60	199,41	391,86	536,99
2,0	30,96	58,74	79,19	219,37	416,15	561,04
2,3	34,23	63,16	84,06	228,47	421,64	561,19
2,7	37,20	67,13	88,41	241,11	435,11	573,05
3,5	43,70	75,61	97,63	244,65	423,35	546,62
4,0	47,12	80,00	102,36	234,38	397,93	509,17

Tabela 11. Precipitação Efetiva (mm) e Vazão Máxima (m<sup>3</sup>/s) método de Ven Te Chow, 2008.

As figuras 63 e 64 ilustram a precipitação efetiva, considerando o tempo de duração em 2 horas (120 minutos). A Pe teve um acréscimo com o passar dos anos, de 1980 a 2008, isto pode ter ocasionado devido a redução da interceptação vegetal e sua substituição pela agricultura e urbanização, também ocorreu o acréscimo de volume devido a impermeabilização do solo, prejudicando a infiltração. Os valores máximos são para 100 anos de tempo de retorno e condição NII de 54,77 mm, para o ano de 1980, e de 58,77 mm para 2008.

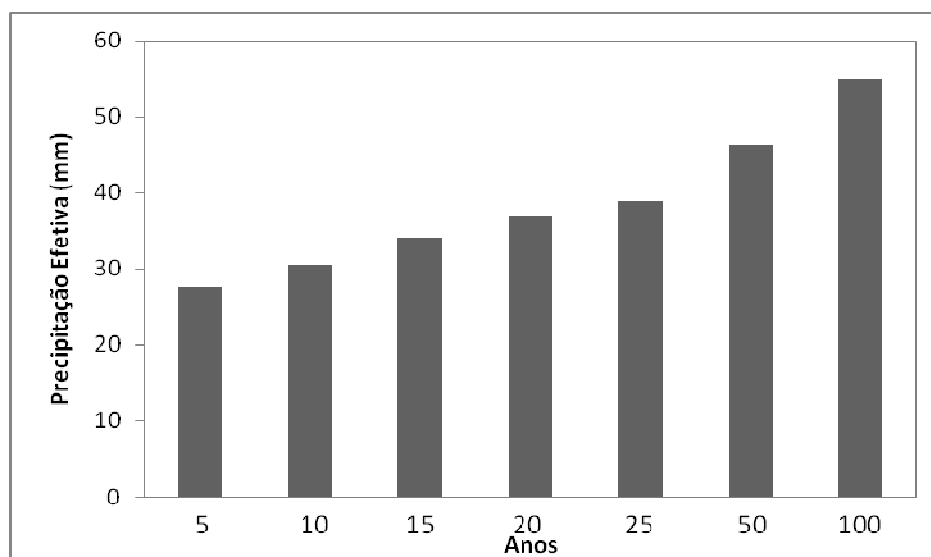


Figura 63. Gráfico da Pe para o ano de 1980.

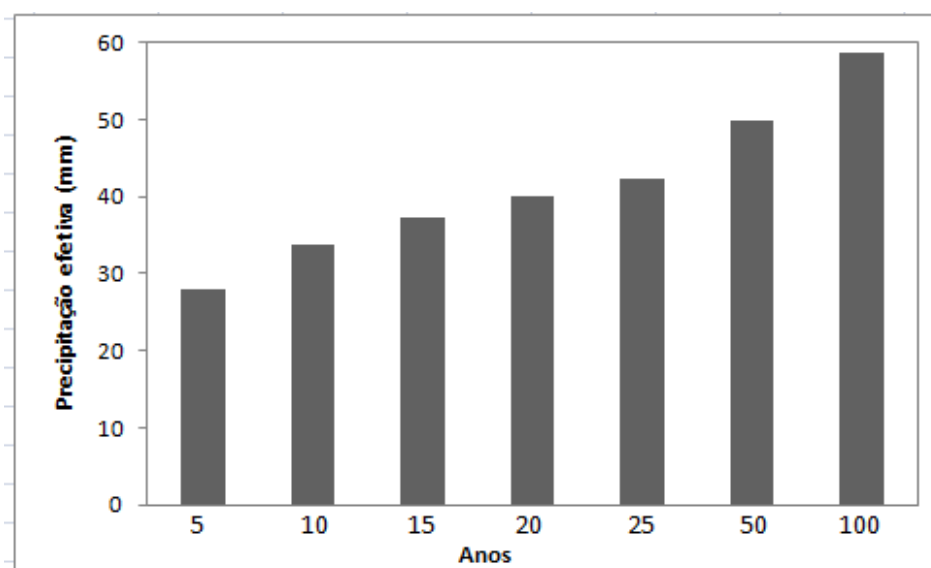


Figura 64. Gráfico da Pe para o ano de 2008.

As figuras 65 e 66 ilustram a vazão máxima, considerando o tempo de duração em 2 horas (120 minutos) determinado pelo método Ven Te Chow. Como ocorrido na Pe, a vazão também tendeu a aumentar devido a impermeabilização do solo. Os valores máximos são para 100 anos de tempo de retorno e condição NII de  $354,28 \text{ m}^3/\text{s}$ , para o ano de 1980, e de  $397,93 \text{ m}^3/\text{s}$  para 2008.

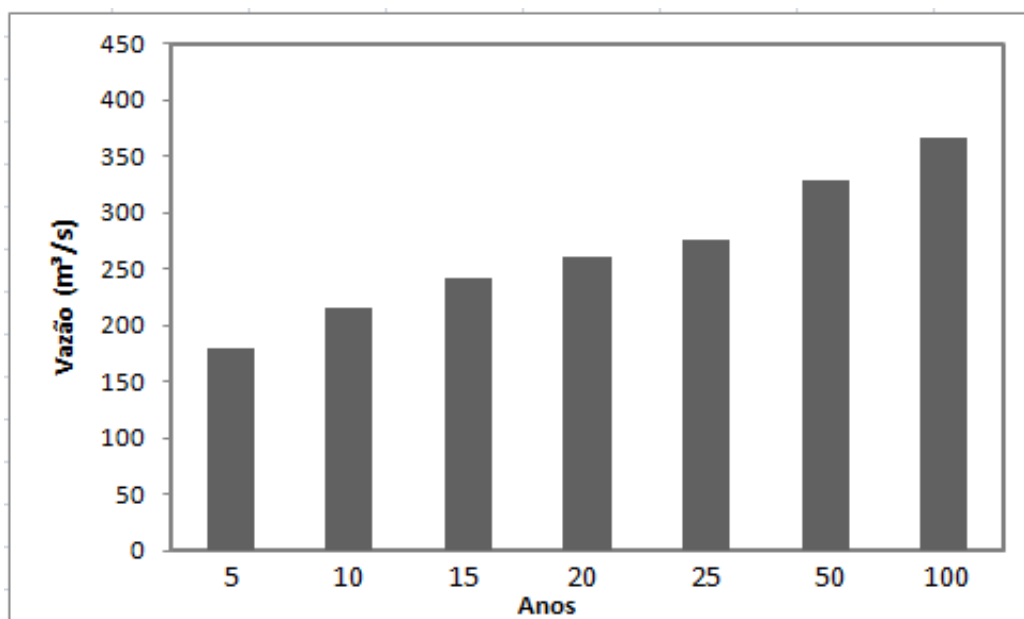


Figura 65. Vazão máxima  $m^3/s$  do ano de 1980, considerando Td de 2 horas.

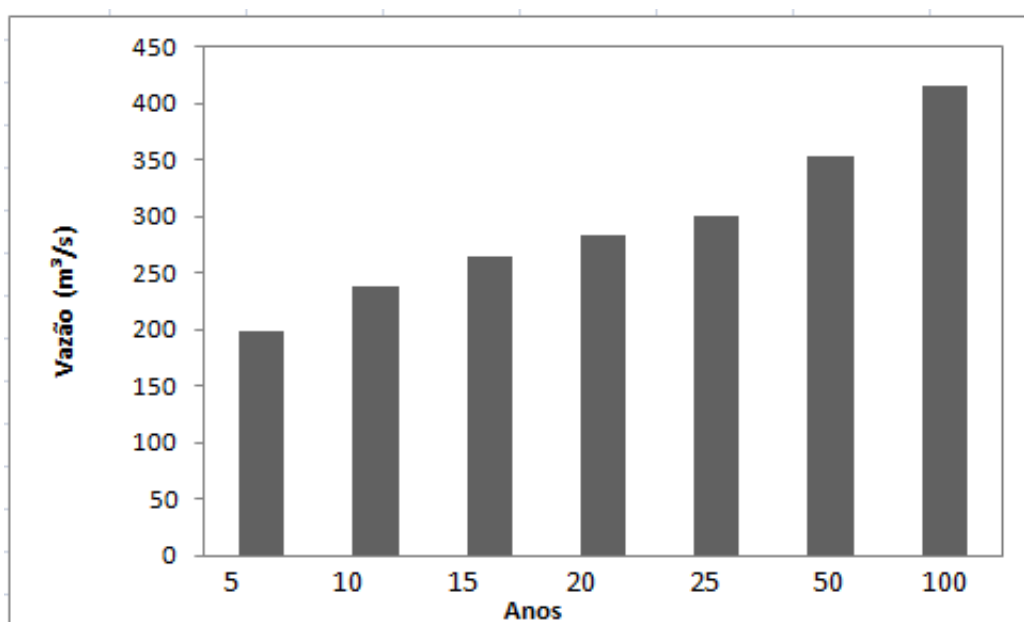


Figura 66. Vazão máxima  $m^3/s$  do ano de 2008, considerando Td de 2 horas.

### Aplicações para Determinação das Vazões de Pico

A importância de determinar a precipitação efetiva na bacia hidrográfica é devido a esta ser a responsável pela formação do escoamento superficial. Em casos de obras de drenagem pluvial urbana, é fundamental a obtenção de dados de escoamento superficial para

projetar os diâmetros das tubulações (denominadas de galerias pluviais), o mesmo ocorre para obras de captação de água ou para produção de energia elétrica, pois acresce os volumes dos corpos d'água.

Em relação ao uso dos métodos, o método racional torna-se uma ferramenta útil, pois apresenta facilidade de cálculos e isso reduz a erros possíveis, comparados ao método de Ven Te Chow, que para sua resolução, depende de vários fatores. No entanto o método racional, é indicado apenas para pequenas bacias (entre 1 a 4 km<sup>2</sup>), onde a resposta em relação ao escoamento é imediata. Portanto, considerando os resultados obtidos, o método Ven Te Chow apresentou valores mais coerentes comparados ao método racional, onde os valores de vazão apresentaram-se “descomunais” aos obtidos pelo método de Ven Te Chow. Em grandes bacias, como a bacia em estudo, podem advir pontos onde a precipitação ocorra e em outros locais não, sendo diferenciadas as respostas na formação do escoamento superficial, devido a esta variabilidade espacial de precipitação.

A CN avalia se ocorreram impactos decorrentes das mudanças de uso do solo. A aplicação desta ferramenta esta na obtenção da vazão máxima ou vazão de pico, que pode ser utilizada para os estudos das enchentes ocorridas na cidade de Pato Branco, e também para avaliações, dimensionamento e planejamento de futuras obras de proteção contra inundações à montante da bacia hidrográfica. A estimativa destes valores tem importância decisiva no dimensionamento de obras hidráulicas como no custo e financiamento das mesmas.

Estas vazões máximas foram observadas na enchente ocorrida no dia 27 de outubro de 2009. Este evento confirmou que as modificações do uso do solo a montante intensificaram o escoamento superficial, o qual parte da canalização do rio não suportou o volume acrescentado a ele.

## **5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

---

De acordo com os dados obtidos neste trabalho, a bacia hidrográfica do alto rio Ligeiro sofre não só com a poluição de suas águas superficiais, mas também com a falta de dados hidrológicos complementares que possibilitariam o seu planejamento e manejo da bacia hidrográfica. Vários dados de qualidade de água, projetos de canalizações e outorgas que poderiam estar presente neste trabalho, não se encontram mais nos arquivos mortos dos acervos pesquisados.

A metodologia de estudo foi baseada primeiramente na confecção cartográfica da delimitação da bacia, como também na elaboração de mapas temáticos de altitude (hipsometria), ordem dos rios, curvas de nível, uso do solo de 1980 e 2008 e capacidade máxima de saturação do solo, de 1980 e 2008.

O levantamento histórico da cidade partiu-se do acervo da biblioteca municipal, para o encontro de fotografias da formação da cidade. Para a classificação da água superficial do rio Ligeiro, coletou-se amostras simples, para as análises físico-químicas e bacteriológicas. O levantamento de campo teve como função a visualização das condições ambientais do rio Ligeiro. Para a determinação das vazões  $Q_{95\%}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{50\%}$  seguiram-se os procedimentos definidos no HG-52, deste modo, montaram-se os gráficos das curvas de permanência.

Para a obtenção da capacidade máxima de saturação do solo, como as vazões de pico utilizaram-se os métodos da CN desenvolvido pelo SCS e as equações empíricas de Ven Te



Chow e método racional. Mesmo tendo o conhecimento que o método racional não poder ser utilizado em bacias maiores que 4 km<sup>2</sup>, este foi calculado apenas como exemplo dos valores exorbitantes comparados a fórmula de Ven Te Chow.

Os resultados obtidos em relação à morfometria da bacia é que esta apresenta formato alongado, altitude de 799 m e de ordem 3. A declividade média encontrada foi de 10,35%, caracterizando um relevo ondulado, esses parâmetros têm grande influência sobre o escoamento superficial e conseqüentemente, sobre o processo erosivo e assoreamento dos corpos d'água.

A qualidade da água superficial revelou-se fora dos limites da classificação da água para classe 2 e classe 3 segundo o CONAMA (2005), para os valores de DBO e DQO, que classificaram a água como classe 4, uso para fins de navegação ou paisagismo sem contato primário. Atualmente o uso do rio Ligeiro é para autodepuração de esgotos domésticos e industriais.

Em razão desta poluição, o rio não é utilizado como área de lazer e suas várzeas não são valorizadas como área nobre da cidade. Este rio é considerado pela população como uma imagem negativa da cidade, que insiste em ignorá-lo e usá-lo de forma errônea. Em relação à fonte de alimentação, alguns moradores locais pescam o peixe Jundiá (*Rhamdia Quelen*), que descrevem que este apresenta um gosto desagradável e um forte odor de óleo diesel.

Durante a pesquisa de campo, alguns critérios qualitativos não numéricos foram observados, seguindo a classificação na Resolução CONAMA No 357/2005. Os materiais flutuantes e espumas foram verificados nos pontos 3 e 4, óleos e graxas apresentaram virtualmente ausentes em todo o período de pesquisa, o forte odor foi ressaltado em períodos de estiagem onde o rio apresentava baixa vazão e por último, os resíduos sólidos concentravam-se em todo o rio desde a nascente, com pneus e trapos, ao exutório com animais mortos, garrafas pet entre outros.

Em relação à regionalização da curva de permanência, esta apresenta os resultados para a  $Q_{95\%}$  e  $Q_{90\%}$  um valor de 4,84 L/s.km<sup>2</sup> e 6,79 L/s.km<sup>2</sup> respectivamente, considerando a área da bacia hidrográfica de 68,26 km<sup>2</sup>, os valores obtidos foram:  $Q_{95\%}$  de 0,329 m<sup>3</sup>/s e  $Q_{90\%}$  de 0,464 m<sup>3</sup>/s para as vazões mínimas.

Os resultados encontrados para  $R^2$  para curva de permanência indicam que a função logarítmica como o melhor resultado, pois o  $R^2$  calculado foi de 0,9607, 0,9587 e 0,9566 para as vazões mínimas, médias e máximas.

Com a curva de permanência da bacia em estudo, podem-se obter os valores da  $Q_{95\%}$  para os pedidos de outorgas. Porém para o cálculo da vazão disponível do rio, é necessário conhecer as outorgas a montante e a jusante como manter a vazão ecológica na manutenção do ambiente aquático.

Os aumentos das áreas urbanizadas refletiram diretamente nas elevações das vazões de pico. Em 1980, a área da bacia era compreendida em 48,21 km<sup>2</sup> em agricultura e pastagem, representando 70,63% da área total, em 2008, este panorama mudou, com a área de 35,48 km<sup>2</sup>, representando 51,98% de área de agricultura e pastagem, com uma redução de 18,65%.

Em relação à vegetação, divididas em áreas florestais densas e áreas florestais esparsas, ambas apresentam uma pequena parcela da bacia hidrográfica. Em 1980, a bacia apresentava 8,7 km<sup>2</sup> de áreas florestais densas com (12%) e 3,6 km<sup>2</sup> de áreas florestais esparsas (5,27%), já em 2008, a área de reduziu para 7,54 km<sup>2</sup>, para 11% do total da bacia. A área de áreas florestais esparsas em 2008 cresceu para 4,58 km<sup>2</sup> (6,7%) que acentua a redução da áreas florestais densas para de áreas florestais esparsas.

Na área central, considerada como área residencial alta densidade, o crescimento não aconteceu, em 1980 a área era de 1 km<sup>2</sup> (1,46% da bacia) e em 2008 passou para 1,18 km<sup>2</sup> ocupando somente 1,73% da área total, este crescimento baixo é ocasionado pela verticalização da área central, que é altamente adensada.

Nas regiões de uso do solo residencial, considerando a residencial de baixa densidade, esta cresceu de 1980 a 2008, com áreas de 3,05 km<sup>2</sup> (4,47%) para 8,06 km<sup>2</sup> (11,81%) respectivamente. Em relação a residencial de média densidade, esta de 3,4 km<sup>2</sup> em 1980 (4,98%) para 6,24 km<sup>2</sup> em 2008 (9,14%) duplicando de área. Nem toda a área urbanizada do município foi contabilizada, pois partes de bairros ficaram fora da delimitação da bacia hidrográfica.

O aumento das áreas urbanizadas refletiu diretamente nas elevações das vazões de pico, Para um tempo de recorrência de 10 anos a vazão de pico (chuva de 0,3 h) elevou-se de 59,76m<sup>3</sup>/s em 1980 para 72,13 m<sup>3</sup>/s para 2008, considerando a situação do solo AMCII. Esta vazão reflete que em 1980 a bacia hidrográfica já se encontrava parte dela impermeabilizada e sem a vegetação natural e depois de 28 anos a bacia teve seu crescimento urbano, mas 51% da área mantiveram-se agrícola.

Considerando o tempo de recorrência de 25 anos (duração da chuva de 0,3 h), a vazão de pico de 83,81 m<sup>3</sup>/s em 1980 para 98,40m<sup>3</sup>/s em 2008, e para um tempo de recorrência de 100 anos, de 125,16 m<sup>3</sup>/s em 1980 para 151,25 m<sup>3</sup>/s em 2008.

Estas vazões de pico foram observadas em 27 de setembro de 2009, onde uma enchente ocorreu na cidade. Esta enchente provocou estragos na parte central da cidade e na baixada sul, pontos baixos de altitude na bacia hidrográfica. O rio canalizado não suportou a quantidade de escoamento superficial e transbordou, acarretando em prejuízos econômicos e sociais na cidade.

Em relação a metodologia aplicada, a CN apresentou-se uma adequada solução para fins de estimativas de vazão de pico, em conjunto com a equação de Ven Te Chow, para bacias hidrográficas sem dados hidrológicos locais e também para estudos de vazões máximas, em obras hidráulicas, como drenagem urbanas ou em rio canalizados. Porém algumas dificuldades foram encontradas durante a pesquisa: a dificuldade de obtenção de

imagens aéreas locais, a determinação da classe dos solos em caso de falta de dados de análises locais e também na determinação da classificação do uso do solo e a CN correspondente.

O que foi observado em trabalho de campo à falta de conscientização ambiental com a cidade, quanto em relação ao rio ligeiro:

- O rio é canalizado como solução dos problemas dos lotes em contato direto com os fundos de vale, e esta canalização é feita com o canal retangular, formato não muito indicado pelos autores e sem área de faixa ripária muito mesmo área de infiltração.
- Outro setor são as nascentes principais do rio Ligeiro, localizadas na parte sul da bacia. Estas nascentes não foram protegidas e estão sendo ocupada sem planejamento, isto acarretou na perda da qualidade da água superficial, como também influencia no transbordamento do rio em períodos de precipitação pelo aumento do escoamento superficial.
- Um novo plano diretor foi lançado em 2009 para a cidade de Pato Branco, tentando controlar o crescimento urbano sem planejamento. Mas ainda muito tem que ser feito, como as melhorias para as a manutenção da vegetação ripária e os pequenos fragmentos de vegetação da floresta ombrófila mista e a manutenção da qualidade do rio Ligeiro.
- Uma das soluções para a redução do escoamento superficial que poderia ser implantada na cidade de Pato Branco estaria na utilização da água pluvial, tendo como exemplo, a cidade de Curitiba, a qual as novas edificações a serem aprovadas pela prefeitura, devem apresentar projetos de aproveitamento da água pluvial. Outro exemplo a ser citado, é da cidade de Montreal, no Canadá, que segundo legislação local, a edificação deve conter a água pluvial no lote, fazendo com que parte seja

utilizada para fins de uso doméstico e o restante da água pluvial a serem infiltradas em bacias de percolação, estas instaladas para recolher a água proveniente do telhado.

- Um fator importante é manter as áreas a montante da bacia hidrográfica como local de infiltração e percolação das águas pluviais, que poderia estar sendo considerado no plano diretor da cidade, no uso e ocupação do solo. Neste caso como áreas de baixas densidades, com no máximo, edificações de dois andares.
- Uma modificação positiva realizada pela prefeitura de Pato Branco, esta na renovação dos ladrilhos hidráulicos dos passeios públicos, que conforme legislação municipal denominada de Lei de Calçadas (instituída em 19 de novembro de 2008), por pavimentos permeáveis (paver vibro-prensado) nas áreas centrais, e a calçada ecológica nos bairros, que no projeto deve manter uma faixa de vegetação (gramíneas).

Para trabalhos futuros são sugeridos:

- Estudo da curva-chave do rio Ligeiro, com a implantação de régua linimétrica, em uma seção transversal do rio conhecida (batimetria) e o uso do equipamento molinete para as medições de velocidade da água.
- Análises da qualidade das águas superficiais e subterrâneas considerando os parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e de metais pesados.
- Estudo do tempo de retorno das enchentes urbanas que ocorreram na cidade de Pato Branco, considerando precipitações diárias superiores a 60 mm, em um período de 10 anos de dados de precipitações, como também na obtenção de registros das enchentes por meios de comunicações, como jornais locais.

## REFERÊNCIAS

ALLASIA, D. G.; COLLISHCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; GERMANO, A.; COLLISHCHONN, B.; FAILACHE, N. **Modelo hidrológico da bacia do alto Paraguai**. Disponível em <[http://www.riosvivos.org.br/arquivos/site\\_noticias\\_578553689.pdf](http://www.riosvivos.org.br/arquivos/site_noticias_578553689.pdf)>. Acesso em 5 de julho de 2010.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Manual de estudos de disponibilidade hídrica para os aproveitamentos hidrelétricos, manual do usuário**. Julho, 2009. Disponível em <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acesso em 15 de julho de 2010.

ANDREOLI, C. V.(editor) **Mananciais de Abastecimento: planejamento e gestão – estudo de caso do altíssimo Iguaçu**. Curitiba: Sanepar Finep, 2003.

ARCOVA, F. C. S., CICCIO, V. de; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.27, n.2, p.257-262, 2003.

AZAGRA, A. M.; HEVIA, J. N. **Hidrología Forestal – el ciclo hidrológico**. Espanha: Universidad de Valladolid. Valladolid, 1995.

BAILLIE, B. R.; DAVIES, T. R. Effects of land use on the channel morphology of streams in the Moutere Gravels, Nelson, New Zealand. **Journal of Hydrology (NZ)**. New Zealand Hydrological Society.V. 41:19-45,2002

BAPTISTA, M. B.; LARA, M. M. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. 2ed. Ver. Belo Horizonte: Editora UFMG/ Escola de engenharia da UFMG, 2003.

BARDDAL, M. L.; RODERJAN, C. V., GALVÃO, F.;CURCIO, G. R. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial, em Araucária, pr. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 37-50, 2003.

BAUNGARTEN, A. P.; FELIX, D. & MÜLLER, M. Avaliação da precipitação média na bacia do rio Chopim. **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2003.

\_\_\_\_\_. Determinação da precipitação efetiva na bacia do rio Chopim através do método da Curva Número do SCS. **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2003.

BURIAN, P. P. **Avaliação Ambiental Estratégica como instrumento de licenciamento para hidrelétricas – o caso das bacias do rio Chopim no Paraná**. ANAIS ANPPAS. Disponível em <<http://www.anppas.com.br>>. Acesso em 27/02/2007.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; MARTINS, S. V.; SOARES, C. P. B. Caracterização Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore** Viçosa-MG, v.30, n.2, p.249-256, 2006. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0100-6762&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=0100-6762&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 25 de setembro de 2009.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T; SOARES, C. P. B; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, Rj. **Revista Árvore** Viçosa-MG, v.30, n.2, p.241-248, 2006. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622006000200012&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000200012&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 25 de setembro de 2009.

CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e Defesa do Meio Ambiente de São Paulo. Parâmetros da qualidade da água. Disponível em <<http://www.cetesb.gov.sp>>. Acesso em: 21 de setembro de 2008.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357/2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 30 de novembro de 2008.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 274/2000. **Condições de balneabilidade.** Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 30 de novembro de 2008.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357/2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 30 de novembro de 2008.

CÓRDOVA, R. N.; PINHEIRO, A.; PINHEIRO, I. G. Regionalização da curva de permanência como base para o gerenciamento da bacia do Itajaí. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/v-001.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2009.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION (DEP), NEW YORK CITY. **Watershed Protection Program Summary and Assessment.** Prepared by the Bureau of Water Suplly, march 2006. Disponível em <<http://www.nyc.gov/html/dep/html/home/home.shtml>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2008.

ESTEVES, F. de A. Eutrofização artificial. IN: **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência/FINEP, 1995. cap. 23, p. 489-513.

FADIGA Jr. F. M.; MARTINS, J. R. S. **Hidrologia urbana**. Curso de Capacitação Tecnológica e Transferência de Tecnologia em Drenagem Urbana, 2003. Disponível em <<http://WWW.fcth.br/public/cursos/praiagrande/1HidrologiaUrbana.pdf>>. Acesso em 30 de novembro de 2009.

FARIA, R.; PEDROSA, A. Impactos da Urbanização na Degradação do solo urbano e sua relação com o incremento de inundações urbanas em Santa Maria da Feira. Este texto tem por

base a comunicação apresentada no **International Symposium in Land Degradation and Desertification**, organizado pela União Geográfica e COMLAND, que decorreu em Maio 2005 em Uberlândia (Brasil).

GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; RODERJAN, C. V. Levantamento fitossociológico das principais associações arbóreas da Floresta Nacional de Irati – Pr. **Revista Floresta**, 1989.

**GLOSSÁRIO DE ECOLOGIA**. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, Publicação ACIESP n. 57, 1997.

HIRIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulação para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente e água** – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science: v.2, n2, 2007.

INSTITUTO AGRÍCOLA DO PARANÁ (IAPAR). Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[asjabur@hotmail.com](mailto:asjabur@hotmail.com)> em 15 de julho de 2010.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Disponível em <<http://www.iap.gov.br>>. Acesso: 10 de abril, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO DE PATO BRANCO (IPPUPB). **Mapas de Leituras técnicas**. Disponível em <http://www.ippupb.org.br/>. Acesso em 29 de setembro de 2009.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS DO PARANÁ. Carta Topográfica de Pato Branco. Paraná: 1982. 1 mapa, color., 79 cm x 95 cm. Escala 1:100.000.

\_\_\_\_\_. Carta Topográfica de Mariópolis. Paraná: 1982. 1 mapa, color., 79 cm x 95 cm. Escala 1:100.000.

\_\_\_\_\_. Fotos Aéreas do Município de Pato Branco. Paraná, 1980. 36 fotografias aéreas, preto e branco. Escala 1:25.000.

JANKE, B. D.; HERB, W. R.; MOHSENI, O.; STEFAN, H. G. Simulation of heat export by rainfall-runoff from a paved surface. **Journal of Hydrology**, v.365, p. 195-212, 2009. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/jhydro>>. Acesso em 9 de fevereiro de 2009.

KRÜGER, N. **Sudoeste do Paraná: história de bravura, Trabalho e Fé**. Posigraf Editora, Curitiba, 2004.

LANÇA, R. M. M.; RODRIGUES, A. C. Apresentação de um modelo distribuído de precipitação/escoamento superficial. **Anais Congresso da Água 2000**. Disponível em <<http://>>. Acesso em 16/11/2008.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 242p.

LIMA NETO, R. T.; SOUSA, C. A. V. de; MENDONÇA, L. A. R.; GONÇALVES, J. Y. de B.; PEREIRA, J. de A.; FRISCHKORN, H. Análise morfométrica e ambiental da microbacia



hidrográfica do rio Granjeiro, Crato/CE. Disponível em <<http://www.scielo.com.br>>. Acesso em 10/10/2009.

MATA-LIMA, H.; GONÇALVES, M.; VARGAS, H.; MARQUES, A.; CARVALHO, J.; RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográfica: interação de métodos e aplicação a um estudo de caso. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, 60(3), 525-536, jul. set. 2007. Disponível em <<http://WWW.ufpr.br>>. Acesso em 09 de julho de 2010.

MENDES FILHO, W. M.; VENDRAME, I. F.; de CARVALHO R. G. Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos – SP. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3453-3460.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biodiversidade brasileira – avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. **Mata Atlântica e Campos Sulinos**, p. 215–266. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404p.

MUSEU DE ARTE DA UFPR. A vegetação do Paraná. Folder. Imprensa Universitária da UFPR. 700 unidades, 2003.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P. A utilização do método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio Atuba. **Revista Geografar**, 2007. Disponível em <<http://WWW.ufpr.br>>. Acesso em 23 de janeiro de 2009.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmentos secundário da mata Atlântica. **Revista Árvore, Viçosa – MG**, v.29, n.1, p.9-15, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PATO BRANCO. Mapa do Município de Pato Branco. Disponível em <http://www.ippupb.com.br>. Acesso em 25 de setembro de 2008.

\_\_\_\_\_. Mapa de uso do solo. Disponível em <http://www.ippupb.com.br>. Acesso em 25 de setembro de 2008.

\_\_\_\_\_. Mapa de evolução da ocupação urbana. Disponível em <http://www.ippupb.com.br>. Acesso em 25 de setembro de 2008.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 975 de 02/10/91. Dispõe Sobre o Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo do Perímetro Urbano da sede do município de Pato Branco.**

\_\_\_\_\_. Plano diretor de desenvolvimento urbano. Secretaria de Planejamento, 1989.

PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **ReRH – Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**. Vol. 1, n.1, Jul/Set 2004, p. 20-36. Disponível em <<http://www.iph.ufrgs.gov.br>>. Acesso em 20/04/2007.

PINHEIRO, A.; BADIA, S. B. Efeitos da curva-chave sobre a curva de permanência dos escoamentos em uma bacia agrícola. **Revista de Estudos Ambientais REA**, Blumenau; v. 10, n.2, p.64 – 70, jul./dez. 2008.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

RIVERA VÁZQUEZ, R.; VÉLEZ, O. L. P.; MORALES, J. C.; BELMONT, M. A.; GAVRILOV, I. N.; DE BAUER, M. L.; QUINTERO, A. G.; ONOFRE, L. T.; GONZALEZ, R. C. Contaminación por coliformes y helmintos em los rios Texcoco, Chapingo y San Bernadino tributários de la parte oriental de la cuenca del Valle de México. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, ano 2007, vol.23, número 002. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México, p. 69-77. Disponível em <<http://redalyc.uaemex.mx>>. Acesso em 12/11/2008.

RIZZI, N. E. **Hidrologia florestal e manejo de bacias hidrográficas**. DVD de Coletâneas Bibliográfica e material Didático: textos, apresentação em Power point. 25 capítulos. Uso restrito aos alunos do curso de engenharia florestal da UTFPR. 2010 (atualizado periodicamente).

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBA CH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência&Ambiente**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, n. 24, p. 75-92, jan/jun 2002.

ROCA, M.; J.P. MARTIN-VIDE; P.J.M. MORETA. Modeling a torrential event in a river confluence. **Journal of Hydrology**. Disponível em [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol). Acesso em 20 de janeiro de 2009.

RUDI, B. **Lembranças de Vila Nova: a evolução de Pato Branco através de imagens fotográficas**. Curitiba: 1982

SANT'ANA, R. F.; FIOR, M. T. B.; KAVISKI, E. **Projeto HG – 52 – aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte**. Regionalização de vazões de estiagem, de curvas de permanência e de vazões máximas de pequenas bacias hidrográficas do Estado do Paraná. CEHPAR, COPEL, 1989.

SANTOS, G. V.; DIAS, H. C.T.; SILVA, A.P.S.; MACEDO, M. N. C. análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore** Viçosa-MG, v.31, n.5, p.931-940, 2007. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0100-6762&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=0100-6762&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 25 de setembro de 2009.

SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. v. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada** Curitiba: Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, 2001. 372 p.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. v. B.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.  
SCHWARZ, W. **Estudo da expansão urbana como subsídio a análise ambiental aplicado a cidade de Pato Branco – PR**. Florianópolis, SC – UFCS, Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2001. XIII 141 p. Dissertação: Mestrado em Engenharia de Produção, Orientadora: Dr<sup>a</sup> Ana Maria Benciveni Franzoni.

SEMA – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Bacia do rio Iguaçu: Bacias Hidrográficas do Paraná, uma série histórica**. Curitiba: Estado do Paraná, v. 1, 2000.

SEWELL, G. H. **Administração e controle da qualidade ambiental**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1975.

SILVA, E. L. DA; MENEZES, E M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. Ed. Ver. Atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da USFC, 2001. 121p.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2ª. Ed. Florianópolis: UFPR, UFSC, 1990.

**Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA**. Plano da bacia do alto Iguaçu e afluentes do alto Ribeira. Capítulo 6: disponibilidade hídrica quantitativa e qualitativa, 2005. Disponível em <<http://www.suderhsa.pr.gov.br>>. Acesso em 20 de janeiro de 2009.

**Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA**. Mapa de Chuvas Intensas. Disponível em <[www.suderhsa.pr.gov.br](http://www.suderhsa.pr.gov.br)>. Acesso em 21 de janeiro de 2009.

TABALIPA, N. L. **Estudo da estabilidade de vertentes da bacia do rio Ligeiro, Pato Branco, Paraná**. 2008, 264f.. Tese (Doutorado da pós-graduação em Geologia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TABALIPA, N. L.; FIORI, A. P. Caracterização e classificação dos resíduos sólidos urbanos do município de Pato Branco, PR. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, N° 4, agosto de 2005.

TIBÚRCIO, E. C.; CASTRO, M. A. H. De. Uso de sistema de informação geográfica para a determinação do curve number em regiões hidrológicas. I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste, s.d. Disponível em <<http://www.scielo.com.br>>. Acesso em 10/10/2009.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; DE SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006. Disponível em <<http://www.scielo.com.br>>. Acesso em 10/10/2007.

TUCCI, C. E. M.(org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed., v. 4. Porto Alegre: Editora da Universidade, ABRH, 1997.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul & ABRH, 1995.

VICTORIA, D. de C.; BALLESTER, M. V. R.; PEREIRA, A. R. Balanço hídrico da bacia do Ji-paraná (RO) por modelo hidrológico simples, espacialmente distribuído. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16 – 21 abril 2005, INPE, p. 2563-2569.

VOLTOLINI, S. **Retorno: origens de Pato Branco**. Primeira Parte. Artepres Gráfica e Editora Ltda, Dois Vizinhos, 1996.

Von SPERLING, E. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, Volume 1. Editora UFMG, 1995, 452p.

WATTS, L. F.; HAWKE, R. M. The effects of urbanization on hydrologic response: a study of two coastal catchments. **Journal of Hydrology (NZ)**, New Zealand Hydrological Society, v.42(2): 125 – 143, 2003.