



**PUC Minas**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO ESPACIAL

**FATORES INTENSIFICADORES DAS ENCHENTES/INUNDAÇÕES NO  
MÉDIO E BAIXO RIO PIRANGA – MG**

Leonardo Alves de Oliveira Silva

Belo Horizonte – MG  
2014

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
(TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO ESPACIAL)

**FATORES INTENSIFICADORES DAS ENCHENTES/INUNDAÇÕES NO  
MÉDIO E BAIXO RIO PIRANGA – MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Leonardo Alves de Oliveira Silva  
Orientador: Prof. Dr. José Flávio Morais Castro  
Co-orientador: Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno

Belo Horizonte – MG  
2014

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Silva, Leonardo Alves de Oliveira  
S586f Fatores intensificadores das enchentes/inundações no médio e baixo rio  
Piranga-MG / Leonardo Alves de Oliveira Silva. Belo Horizonte, 2014.  
150f. :il.

Orientador: José Flávio Morais Castro  
Coorientador: Guilherme Taitson Bueno

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial.

1. Inundações - Piranga, Rio, Bacia (MG). 2. Levantamentos geológicos 3.  
Solos - Erosão. 4. Correntes fluviais - Medição. 5. Ouro. I. Castro, José Flávio  
Morais. II. Bueno, Guilherme Taitson. III. Pontifícia Universidade Católica de  
Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da  
Informação Espacial. IV. Título.

Leonardo Alves de Oliveira Silva

**FATORES INTENSIFICADORES DAS ENCHENTES/INUNDAÇÕES NO MÉDIO E  
BAIXO RIO PIRANGA –MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia -Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. José Flávio Morais Castro (Orientador)–PUC Minas

---

Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno (Co-orientador)–PUC Minas

---

Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães (UFMG)

---

Prof. Dr. Edson Soares Fialho (UFV)

Belo Horizonte, 28 de maio de 2014

*Aos meus pais: Sebastião e Nilza, minha querida esposa Beatriz Condé e minha avó Maria Antônia de Jesus (in memoriam).*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por toda força que me foi concedida para poder enfrentar os obstáculos e conseguir consolidar mais uma etapa na minha vida acadêmica.

Aos meus pais pelo apoio, pelas orações e pela luta incessante para proporcionar a mim e à minha irmã uma vida digna e honrada.

Aos meus familiares, amigos e amigas: Sheila, Waldemar, Aparecida Matos, João Ferreira, Maria Efigênia Condé Ferreira, Alexandre Condé, Gustavo, Karoline, Mahyhaly, Cláudia, Claudinei, Flávia, Silvano, Rosilene, Bruno, Daniel Viana, Everton, Geverson, Pedro, Marisa, Luiz e Maria da Consolação pelo apoio, incentivo e colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

À minha esposa Beatriz pela paciência e dedicação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial, em especial aos professores, funcionários e discentes pela motivação e contribuição acadêmica.

Ao meu orientador, Professor Doutor José Flávio Moraes Castro pela confiança em mim depositada nesta pesquisa, além do apoio, incentivo, ensinamentos, paciência ao longo da elaboração desta dissertação.

Ao Professor Doutor Guilherme Taitson Bueno, co-orientador, pelo auxílio durante a elaboração do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Laboratório de Física dos Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV, pela realização dos ensaios de concentração de sedimentos em suspensão.

Ao Laboratório de Geotecnica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa – UFV, pela realização dos ensaios de granulometria dos sedimentos de leito.

A todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, em especial: Maurício Romualdo da Silva, Marco Antônio Gomes, Carlos de Araújo Silva, José Ricardo, Edson Teixeira Héleno, Thaís Condé Oliveira e Edson Soares Fialho pelas fotos e informações cedidas.

## O Rio Piranga

Da minha janela te vejo  
E penso na tua história,  
História bonita  
Dos tempos do ouro  
De esplendor e de glória.  
Vejo os faiscadores,  
Bateia na mão  
Revolvendo o teu leito  
No peito a esperança  
E doce ilusão.  
Vejo o índio valente,  
Em sua canoa.  
Deslizando com sua graça,  
Em busca da pesca,  
Em busca da caça.  
Vejo a índia morena,  
Cabelos ruivos,  
Da cor do sol,  
A banhar-se nas águas,  
Em tardes serenas,  
Ao som do vento.  
E, à luz do arrebol,  
Essa índia morena,  
A mais bela da taba,  
Que seu nome legou  
À minha cidade:  
Guaraciaba.

Maristela Guimarães

## RESUMO

A dinâmica fluvial engloba características ligadas aos aspectos geológicos, às formas de relevo, aos processos geomorfológicos, e às características hidrológicas e climáticas. O foco de um estudo voltado à investigação da dinâmica fluvial está nos processos fluviais que ocorrem no leito, nas margens e nas planícies de inundação dos cursos d'água. Alguns processos naturais relativos à dinâmica fluvial se destacam, e dentre eles está as enchentes, decorrentes de movimentos atmosféricos e processos geomorfológicos.

O Vale do Piranga começou a ser ocupado a partir do final do século XVII, sendo que muitas das localidades que surgiram no vale estiveram ligadas ao ciclo do ouro, seja como áreas de extração do mineral, como foi o caso de Piranga, Guaraciaba, Catas Altas da Noruega e Presidente Bernardes, ou como áreas de produção de alimentos para abastecimento dos centros auríferos, como foi o caso de Porto Firme e Ponte Nova. Depois do ciclo do ouro, a região ganhou importância econômica com a agricultura e pecuária, o que agravou os problemas já existentes de erosão e assoreamento dos cursos d'água.

A Bacia do Rio Doce é composta por sete Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRs), dentre elas está a unidade DO1, onde está inserida a Bacia do Rio Piranga. Esta unidade abrange desde a nascente do rio Piranga, em Ressaquinha, até a confluência do rio Doce com o rio Piracicaba. Trata-se, portanto da região de cabeceira da bacia que compreende uma área de 22.000 Km<sup>2</sup>.

A geometria hidráulica do rio Piranga apresenta muitas variações ao longo de seu curso, sendo que a variação mais evidente se refere às formas que o canal assume no trecho estudado. Do município de Piranga até a confluência do rio Piranga com o rio do Carmo no município de Ponte Nova, o canal fluvial aparece com a forma retilínea, sinuosa, meandrante e anastomosada alternadas entre si.

O rio Piranga apresenta vários pontos com rupturas de declive, o que o torna de alto potencial energético. Diante disso, várias empresas demonstram interesse em construir Usinas Hidrelétricas (UHEs) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). A PCH Brecha, construída em 1958 no município de Guaraciaba, alterou significativamente o perfil de equilíbrio do rio. A barragem elevou em 10 metros o canal de montante, o que contribuiu para a agradação do leito em decorrência da deposição de sedimentos no reservatório.

**Palavras-Chave:** Dinâmica Fluvial; Rio Piranga; Enchentes; Geometria Hidráulica; Erosão; Ouro.

## ABSTRACT

The fluvial dynamics encompasses characteristics linked to geological aspects, forms of relief, the geomorphological processes and the hydrological and climatic characteristics. The focus of a study aimed at investigating the fluvial dynamics is in processes occurring in the river bed, the banks and in the flood plains of streams. Some natural processes related to fluvial dynamics stand out, and among them is the floods resulting from atmospheric movements and geomorphological processes.

The Valley of Piranga began to be occupied from the late XVII century, and many of the locations that appeared in the valley were linked to the gold cycle, either as areas of mineral extraction, as was the case of Piranga, Guaraciaba, Catas Altas da Noruega and Presidente Bernardes, or as areas of food production to supply the goldfields centers, as was the case of Porto Firme and Ponte Nova. After the gold cycle, the region gained economic importance to agriculture and livestock, which exacerbated existing erosion and silting of streams problems.

The Doce River Basin is composed of seven Units of Planning and Management of Water Resources (UPMWRs), among them is the DO1 unit, where the Piranga River Basin is inserted. This unit extends from the source Piranga river in Ressaquinha, to the confluence of Doce river with the Piracicaba river. It is therefore the region head of the basin that covers an area of 22.000 km<sup>2</sup>.

The hydraulic geometry of Piranga river shows many variations along its course, and the most obvious variation refers to the forms that the channel assumes the studied stretch. The municipality of Piranga to the confluence of the Piranga river with the Carmo river in the municipality of Ponte Nova, the river channel appears with straight, winding, meandering and anastomosing form alternating between them.

The Piranga river presents several points with slope ruptures, which makes high energy potential. Therefore, several companies have shown interest in building hydropower plants (HPPs) and Small Hydropower (SHPs). The SHP Brecha, built in 1958 in the municipality of Guaraciaba, significantly changed the equilibrium profile of the river. The dam raised in 10 meters upstream of the channel, which contributed to aggradation of the bed due to sediment deposition in the reservoir.

**Keywords:** Fluvial Dynamics; Piranga River; Floods; Hydraulic Geometry; Erosion; Gold.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta da Brecha (1879).....	21
Figura 2 - Rio Piranga antes e depois da construção da PCH Brecha.....	24
Figura 3 - Entalhamento do leito do rio Piranga à jusante da PCH Brecha.....	25
Figura 4 - Mapa de Localização da Bacia do Rio Doce.....	26
Figura 5 - Unidade DO1 e Bacia do Rio Piranga.....	27
Figura 6 - Marco da nascente do rio Piranga na Serra da Trapizonga.....	28
Figura 7 - Mapa Geológico da Bacia do Rio Piranga.....	29
Figura 8 - Modelo de relevo predominante entre Piranga e Ponte Nova.....	30
Figura 9 - Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Piranga.....	32
Figura 10 - Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Piranga.....	33
Figura 11- Mapa de Solos da Bacia do Rio Piranga.....	34
Figura 12 - Assoreamento do rio Piranga no município de Piranga.....	36
Figura 13 - Mapa de Cobertura Vegetal da Bacia do Rio Piranga.....	37
Figura 14 - Formação do Delta.....	54
Figura 15 - Rompimento do equilíbrio natural do rio.....	57
Figura 16 - Estações utilizadas para coleta de dados.....	60
Figura 17 - Desenvolvimento da Pesquisa.....	61
Figura 18 - Cartas Topográficas que compreendem o rio Piranga.....	62
Figura 19 - Pontos Altimétricos.....	62
Figura 20 - Mapa da Bacia do Rio Piranga com os pontos de medições.....	66
Figura 21 - Barbante Graduado e Trena.....	67
Figura 22 - Pontos de Coleta de Sedimentos na Bacia do Rio Piranga.....	69
Figura 23 - Amostrador de Carga de Leito Improvisado.....	72
Figura 24 - Barras de canal na Altura do Bairro Cidade Nova em Piranga.....	79
Figura 25 - Detalhe de uma das barras de canal no Bairro Cidade Nova.....	79
Figura 26 - Detalhe de uma barra de canal em Venda Nova, Presidente Bernardes.....	80
Figura 27 - Rio Piranga na ponte do centro de Porto Firme.....	81
Figura 28 - Rio Piranga na ponte de Jurumirim em Guaraciaba.....	82
Figura 29 - Mapa de Concentração de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Piranga...	86
Figura 30 - Rupturas de declive localizadas no Médio Curso do Rio Piranga.....	88
Figura 31 - Meandros entre os municípios de Porto Firme e Guaraciaba.....	89
Figura 32 - Rupturas de declive localizadas no Baixo Curso do Rio Piranga.....	89
Figura 33 - Carvoaria próxima à comunidade de Casa Nova.....	90
Figura 34 - Voçoroca no Salto, Presidente Bernardes.....	91
Figura 35 - Afloramento de Filito em Venda Nova, Presidente Bernardes.....	92
Figura 36 - Draga extraíndo areia em Guaraciaba.....	92
Figura 37 - Bancos de solapamento.....	93
Figura 38 - Formas de deposição de sedimentos no rio Piranga.....	94
Figura 39 - Média histórica de precipitação na Bacia do Rio Piranga e Unidade DO1....	96
Figura 40 - Croqui da Área de Abrangência da Inundação de 1979 em Guaraciaba.....	117
Figura 41 – Inundação entre as Pontes Arthur Bernardes e Governador Bias Fortes.....	118
Figura 42 - Áreas Inundadas em Piranga (1997).....	119
Figura 43 - Áreas Inundadas em Ponte Nova pela Enchente de 1997.....	120
Figura 44 - Áreas Atingidas pela Enchente de Dezembro de 2008 em Piranga.....	121
Figura 45 - Enchente em Presidente Bernardes em Dezembro de 2008.....	122
Figura 46 - Praça Juquinha Moreira Tomada pelas Águas em Dezembro de 2008.....	122
Figura 47 - Guaraciaba Durante a Enchente de Dezembro de 2008.....	123

Figura 48 - Croqui da Área de Abrangência da Inundação de 2008 em Guaraciaba.....	124
Figura 49 - Inundação do Bairro Copacabana em 17 de Dezembro de 2008.....	125
Figura 50 - Áreas Afetadas pela Enchente de Dezembro de 2008 em Ponte Nova.....	126
Figura 51 - Áreas Atingidas em Piranga – 2012.....	127
Figura 52 - Banco de Solapamento Estabilizado por Barreira de Contenção.....	128
Figura 53 - Áreas Atingidas pela Enchente de 2012 em Porto Firme.....	129
Figura 54 - Nível Atingido pela Água na Rua General Dutra em Guaraciaba.....	129
Figura 55 - Matéria que Trata da Inundação da Cidade de Guaraciaba.....	130
Figura 56 - Capa do Jornal Folha de Ponte Nova.....	131
Figura 57 - Margem Direita do Rio Piranga Entre Copacabana e Centro Histórico.....	132
Figura 58 - Aterro na Margem Direita do Rio Piranga no Bairro Cidade Nova.....	133
Figura 59 - Alargamento do Leito do Rio Piranga na Entrada da Rua Nova.....	133
Figura 60 - Erosão Marginal à Jusante da Barragem da PCH Brecha.....	136
Figura 61 - Modificações na Dinâmica Fluvial Proporcionadas por Barragens.....	138
Figura 62 - Barragem da PCH Brecha.....	139

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de Sinuosidade Divididos por Classes.....	63
Tabela 2 - Relação entre Altitude de Nascente e Foz, Gradiente e Comprimento de Canal dos Dez Principais Rios da Bacia do Piranga.....	75
Tabela 3 - Morfometria da Bacia do Rio Piranga.....	76
Tabela 4 - Médias de Profundidade nos Pontos Monitorados.....	78
Tabela 5 - Granulometria das Amostras de Carga de Leito.....	83
Tabela 6 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Piranga – MG (1974 – 2012).....	111
Tabela 7- Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Porto Firme – MG (1974 – 2012).....	113
Tabela 8 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Ponte Nova – MG (1974 – 2012).....	115
Tabela 9 - Relação de Alguns Reservatórios Assoreados no Brasil.....	137

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva Granulométrica dos Locais Monitorados.....	84
Gráfico 2 - Perfil Longitudinal do Rio Piranga.....	87
Gráfico 3 - Média mensal de vazão.....	98
Gráfico 4 - Cota Fluviométrica e Precipitação em Janeiro e Fevereiro/1979.....	100
Gráfico 5 - Cota Fluviométrica e Precipitação em Dezembro/1996 e Janeiro/1997.....	102
Gráfico 6 - Cota Fluviométrica e Precipitação em Dezembro/2008.....	104
Gráfico 7 - Cota Fluviométrica e Precipitação em Dezembro/2011 e Janeiro/2012.....	105
Gráfico 8 - Precipitação em Desterro do Melo.....	107
Gráfico 9 - Precipitação em Guaraciaba.....	109
Gráfico 10 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Piranga – MG (1974 – 2012).....	112
Gráfico 11 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Porto Firme – MG (1974 – 2012).....	114
Gráfico 12 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Ponte Nova – MG (1974 – 2012).....	116
Gráfico 13 - Declividade do Rio Piranga.....	135

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA – Agência Nacional de Águas

ASPARPI - Associação dos Pescadores e Amigos do Rio Piranga

COMDEC - Coordenadoria Municipal de Defesa Civil

DMAES - Departamento Municipal de Água, Esgoto e Saneamento de Ponte Nova

DO1 – Unidade de Planejamento Doce 1

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MAB – Movimento dos Atingidos por Barragens

NACAB - Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens

ONG – Organização Não Governamental

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

SIG – Sistema de Informação Geográfica

UFV – Universidade Federal de Viçosa

UHE – Usina Hidrelétrica

UPGRHs - Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
1. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA BACIA DO RIO PIRANGA.....	18
1.1. O Ciclo do Ouro.....	18
1.2. Impactos Ambientais.....	22
1.3. Localização, Geologia e Geomorfologia.....	26
1.4. Solos.....	33
1.5. Clima.....	34
1.6. Vegetação.....	35
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	38
2.1. DINÂMICA FLUVIAL.....	38
2.1.1. Geomorfologia Fluvial.....	38
2.1.2. Os Tipos de Leitos Fluviais.....	39
2.1.3. Os Tipos de Canais Fluviais.....	40
2.1.4. O Escoamento Fluvial.....	42
2.1.5. Transporte Fluvial de Sedimentos.....	43
2.1.6. Dinâmica Erosiva de Margens e Leito.....	44
2.1.7. Geometria Hidráulica e Enchentes.....	46
2.1.8. O Perfil Longitudinal.....	50
2.2. DESEQUILÍBRIO NO SISTEMA FLUVIAL.....	52
2.2.1. Desequilíbrio do Sistema Fluvial a Partir da Ação Antrópica.....	52
2.2.2. O Impacto da Barragem na Dinâmica Hidrossedimentológica.....	53
2.2.3. Efeitos Geomorfológicos à Montante e Jusante das Barragens.....	55
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	59
3.1. Aquisição de Dados Hidrossedimentológicos e Precipitação.....	59
3.2. Perfil Longitudinal.....	61
3.3. Morfometria da Bacia do Rio Piranga.....	62
3.4. Escolha dos pontos de monitoramento.....	64
3.5. Análise dos Materiais de Transporte Fluvial.....	68
3.6. Cálculo do Período de Recorrência de Cheias.....	73
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	74
4.1. Morfometria da Bacia do Rio Piranga.....	74
4.2. Geometria Hidráulica do Rio Piranga.....	76
4.3. Impactos Ambientais no Médio e Baixo Rio Piranga.....	89
4.4. Interpretação das Enchentes do Rio Piranga.....	94
4.4.1. Distribuição das Chuvas e Relação com as Vazões e Cotas Fluviométricas Durante os Eventos de Enchentes.....	97
4.4.2. Estimativa do Intervalo de Recorrência para as Máximas Enchentes no Vale do Rio Piranga.....	110
4.4.3. Repercussões das Grandes Enchentes no Vale do Rio Piranga.....	116
4.5. PCH Brecha e a Dinâmica Fluvial do Rio Piranga.....	136
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	141
REFERÊNCIAS.....	145

## INTRODUÇÃO

A dinâmica fluvial engloba características ligadas aos aspectos geológicos, às formas de relevo, aos processos geomorfológicos, e às características hidrológicas e climáticas. O foco de um estudo, voltado à investigação da dinâmica fluvial está nos processos fluviais que ocorrem no leito, nas margens e nas planícies de inundação dos cursos d'água. Alguns processos naturais, relativos à dinâmica fluvial se destacam, e dentre eles está as enchentes, decorrentes de movimentos atmosféricos e processos geomorfológicos. As enchentes ou cheias, ocorrem naturalmente em qualquer curso d'água, mas tornam-se um grande problema quando atingem áreas urbanas situadas às margens de rios. Com a expansão da urbanização, percebe-se um aumento da frequência e da intensidade das enchentes em decorrência da remoção da vegetação original, da ocupação de áreas de risco, como os fundos de vale, e da impermeabilização da superfície urbana. Todos estes fatores, associados ao acontecimento das chuvas intensas, contribuem para o aumento do pico de vazão dos cursos d'água, acarretando uma desorganização do espaço urbano.

No Brasil, as enchentes e os escorregamentos são os principais desastres naturais que ocorrem. Merecem, portanto, atenção especial por parte dos pesquisadores do poder público em todas as suas instâncias. Em dezembro de 2008, as enchentes e os deslizamentos provocados pelas fortes chuvas fizeram milhares de vítimas nos estados de Santa Catarina, Minas Gerais e Rio de Janeiro, deixando ainda a infraestrutura urbana e rural precárias em muitos municípios desses estados. Em janeiro de 2012, novamente as enchentes e os deslizamentos causaram mais mortes e prejuízos nos estados citados.

Em Minas Gerais, em 2008 e 2012, a Zona da Mata e o Centro-Oeste foram as regiões mais atingidas pelas enchentes no estado. Cidades como Ponte Nova, Guaraciaba, Piranga, Guidoval, Divinópolis e Formiga ficaram inacessíveis e sofreram grandes prejuízos.

A compreensão da dinâmica das enchentes passa pela avaliação da descarga máxima e das cotas fluviométricas, variáveis que dependem de fatores climáticos e de características da bacia hidrográfica. Entre os fatores climáticos predominam as características da precipitação, como intensidade, duração, distribuição no tempo e no espaço, além de condições antecedentes às precipitações.

O perfil longitudinal dos cursos de água também influí sobre a velocidade de escoamento da água. Bacias que apresentam cursos de água de maior gradiente causam descargas máximas maiores, porque ocorre menor concentração no tempo dos fluviogramas. A morfologia do leito dos cursos de água também influí sobre a velocidade de escoamento das enchentes, por sua seção transversal, rugosidade ou crescimento de vegetação ribeirinha. As enchentes que ocorrem no Vale

do rio Piranga, contam com todos esses fatores e pode-se adicionar ainda os eventos pluviais intensos, que concentram-se nas cabeceiras dos rios Piranga e Xopotó na primavera/verão.

Os municípios mineiros de Piranga, Presidente Bernardes, Porto Firme, Guaraciaba e Ponte Nova estão inseridos na Bacia do Rio Piranga, e registraram fortes enchentes em 1951, 1979, 1997, 2008 e 2012.

Estes municípios, com exceção de Ponte Nova, apresentam população rural superior à população urbana, sendo que a ocupação e o desenvolvimento desses municípios basearam-se na extração vegetal e mineral, acarretando drásticas consequências ambientais tais como: devastação da cobertura vegetal original, avanço do processo erosivo, assoreamento e poluição dos cursos d'água em decorrência do lançamento de esgotos domésticos, resíduos agroindustriais e de mineração. Além disso, as margens do rio Piranga, nas sedes municipais, encontram-se ocupadas, e as principais rodovias de acesso a estes municípios, em muitos trechos, acompanham o leito do rio.

Outra questão pertinente no baixo vale do rio Piranga é a existência de duas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) em operação, Brecha e Brito, situadas entre as cidades de Guaraciaba e Ponte Nova. A PCH Brecha é bastante contestada pela população, principalmente de Guaraciaba, que alega forte influência da mesma sobre a ocorrência de enchentes de grande intensidade e longa duração. Entretanto, há projetos de construção de mais quatro PCHs neste trecho do rio (Jurumirim, Cantagalo, Bom Retiro e Pontal), além da ampliação da PCH Brito, denominada Nova Brito, já com licença de instalação concedida (FOLHA DE PONTE NOVA, 2010). Este mesmo trecho do rio já foi alvo de outros projetos como a Usina Hidrelétrica (UHE) do Pilar, que seria instalada na localidade denominada Três Tiros, zona rural de Guaraciaba. Esta usina seria construída através de um consórcio feito entre a Fiat Automóveis e a Novelis (proprietária das PCHs Brecha e Brito), porém com as manifestações da sociedade civil organizada durante a década de 1990, este projeto foi cancelado. Em 2007, novas manifestações foram realizadas na comunidade de Casa Nova, em Guaraciaba, quando agricultores familiares, estudantes e ambientalistas impediram as sondagens do consórcio Fiat/Novelis na localidade de Pirapora, que teria por finalidade levar à diante o projeto da UHE Pirapora.

Diante do exposto, observa-se que a Bacia do Rio Piranga apresenta uma série de problemas ambientais inerentes à sua ocupação e usos inadequados dos recursos naturais. Tais problemas podem estar contribuindo para a ocorrência de enchentes mais intensas que as que ocorriam num passado recente. Este fato despertou a atenção do autor pela questão, e culminou com a formulação da monografia de conclusão de curso de graduação intitulada: A desorganização do espaço urbano em Ponte Nova (MG) frente às grandes enchentes de 1951, 1979, 1997 e 2008. Na presente

pesquisa, sob a ótica da geomorfologia fluvial, buscou-se responder a alguns questionamentos como: Será que a modificação da forma e da dinâmica fluvial do leito do rio Piranga contribui para a intensificação das enchentes/inundações? O desmatamento, a erosão marginal e das encostas, bem como o assoreamento contribuem para a ocorrência de enchentes/inundações que atingem os municípios do médio e baixo vale do rio Piranga? A PCH Brecha causa interferência na vazão e no regime de transporte de sedimentos do rio Piranga?

Esses questionamentos estimularam o desenvolvimento da pesquisa, culminando nesta dissertação que terá por objetivo geral o estudo dos fatores intensificadores das enchentes e inundações na Bacia do Rio Piranga, bem como dos impactos negativos/danos gerados ao longo do período de ocupação, iniciado no século XVIII com a extração do ouro. Para este estudo, foi necessário realizar o levantamento das variáveis da geometria hidráulica e correlacioná-las com a distribuição espacial da precipitação na referida bacia. Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- Analisar o regime fluvial no médio e baixo rio Piranga quanto à vazão e às cotas fluviométricas entre os anos de 1974 e 2012;
- Caracterizar a carga sedimentar no trecho estudado, tanto de leito como em suspensão, levantando correlações com os processos morfodinâmicos locais;
- Verificar se a usina hidrelétrica da Brecha causa alguma interferência na vazão e regime de transporte de sedimentos;
- Verificar a correlação existente entre a precipitação e as enchentes/inundações que atingem o médio e baixo rio Piranga periodicamente.

## **1. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA BACIA DO RIO PIRANGA**

### **1.1. O Ciclo do Ouro**

O Vale do Piranga começou a ser ocupado a partir do final do século XVII, sendo que muitas das localidades que surgiram no vale estiveram ligadas ao ciclo do ouro, seja como áreas de extração do mineral, como foi o caso de Piranga, Guaraciaba, Catas Altas da Noruega e Presidente Bernardes, ou como áreas de produção de alimentos para abastecimento dos centros auríferos, como foi o caso de Porto Firme e Ponte Nova.

Por volta de 1680, os primitivos habitantes de arraiais fundados por Fernão Dias Pais e pelos expedicionários vindos de São Paulo começaram a explorar áreas de fácil acesso, à procura do ouro, percorrendo os vales dos rios Pará, Paraopeba e das Velhas, bem como os dos tributários da alta bacia do rio Doce, em especial, o do alto rio Piranga (SOUZA, 2000, p. 354 apud CASTRO, 2008, p. 27).

As pesquisas históricas mais recentes consideram que, na nascente do rio Casca, o bandeirante Antônio Rodrigues Arzão descobriu as primeiras pepitas de ouro das futuras Minas Gerais, no ano de 1692. Segundo Ribeiro Filho (2008, p. 117):

Ele, do alto do pouso da Itaverava, teria avistado picos com bizarras formações e, sabedor de que na base de montanhas como aquelas havia muito ouro, confundindo, assim, aquelas formações com o Itacolomi e adjacências, para lá seguiu. Subindo a Serra dos Arrepiados ou de Araponga, encontrou a nascente de um rio, junto a qual havia uma rústica construção feita de casca de árvores. Depois de batear as areias dali e retirado pequena quantidade de ouro, batizou o rio como rio da Casa de Casca. Com o passar dos tempos, este nome foi simplificado para rio Casca.

De acordo com Ribeiro Filho (2008, p.33-36) o rio Piranga foi descoberto e explorado pelas Bandeiras paulistas que atingiam o sertão, caminhando no sentido norte, e que o pequenino arraial da Guarapiranga, que se transformaria na atual cidade de Piranga, surgiu entre os anos de 1691 e 1693, tendo sido fundado pelas Bandeiras paulistas comandadas pelos capitães Francisco Rodrigues Sirigueio e Antônio Pires Rodovalho.

Já o povoamento do município de Guaraciaba teve início no final do século XVII e foi fortemente influenciado pela mineração do ouro. Os primeiros povoadores estabeleceram-se às margens do rio Piranga, principalmente na sua confluência com o rio Bacalhau, tendo como objetivo explorar ouro (CASTRO, 2008, p.23).

De acordo com Castro (2008, p. 24) em 28 de novembro de 1749 foi erguida uma capela

pelos povoadores em homenagem a Sant’Ana, às margens do rio Piranga, na sua confluência com o rio Bacalhau, ficando o povoado conhecido como “Barra do Bacalhau”. Antes de se chamar Guaraciaba, o município recebeu as seguintes denominações: Barra do Bacalhau, Bacalhau e Santana de Guaraciaba.

Ribeiro Filho (2008, p.39) afirma que entre Piranga e Guaraciaba existem outras localidades que, com toda certeza, também surgiram no final do século XVII e início do XVIII. A primeira dessas localidades é Catas Altas da Noruega, situada à oeste de Piranga. Com este nome, em que catas eram chamados os fossos, cavados no solo, para a exploração do ouro, pode-se deduzir que ela surgiu no ciclo do ouro.

Catas Altas da Noruega é também uma das primeiras civilizações urbanas de Minas Gerais, sendo que o seu povoamento teve início em torno de 1690, por membros das Bandeiras de Miguel Garcia e do Coronel Salvador Furtado de Mendonça enquanto exploravam a região da Serra de Itaverava (PREFEITURA MUNICIPAL DE CATAS ALTAS DA NORUEGA, 2011).

Já para o sul de Piranga, a menos de vinte quilômetros, está a atual cidade de Presidente Bernardes, a antiga Calambau. O historiador, ex-padre e ex-deputado Pedro Maciel Vidigal, escrevendo a história de sua terra natal, diz que os pioneiros brancos, que foram povoar Calambau, chegaram nos primeiros anos dos 700. Pedro Vidigal também afirma que o nome Calambau fora dado à localidade pelos índios Botocudos, porque na língua desses indígenas essa palavra significava local com pouca vegetação, mato ralo (RIBEIRO FILHO, 2008, p.43-44).

Segundo Ribeiro Filho (2008, p.46) as localidades citadas até então surgiram em torno de minas ou lavras de ouro, enquanto outras surgiram pela sua posição estratégica para as viagens incessantes das Bandeiras. Estas foram se formando para servir de ponto de apoio para os viajantes, com plantações de cereais e tubérculos. Nestes locais, a Bandeira parava para descansar em rústicas instalações e para saciar a fome de seus integrantes. Portanto, elas são tão antigas ou, até mesmo, mais antigas do que os núcleos que se formaram junto às lavras auríferas.

No caso dessa categoria, pode-se citar a atual cidade de Porto Firme, que se espalha pelas duas margens do rio Piranga. Seu antigo nome foi Tapera, fundada em fins do século XVII pelo bandeirante paulista João Siqueira Afonso. Mais tarde, a povoação passou a ser denominada Nossa Senhora do Porto Seguro e, finalmente, Porto Firme (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO FIRME, 2014).

A atual cidade de Ponte Nova é também uma antiga povoação surgida às margens do rio Piranga. O primeiro nome dado a essa povoação foi São Sebastião, depois, São Sebastião e Almas

da Ponte Nova. Em seguida, São Sebastião da Ponte Nova e, finalmente, apenas Ponte Nova. Ribeiro Filho (2008, p.48) afirma que:

De um ponto de parada de bandeirantes, por exemplo, surgiu a cidade de Ponte Nova, também situada às margens do rio Piranga. Na altura daquela cidade, o rio se afunila, tornando mais fácil alcançar a margem oposta. A trilha que passava por lá tornou-se, então, muito procurada pelos exploradores que deixavam a região das ricas minas do Carmo, do Ouro Preto, do Sumidouro, do Bom Sucesso, ou do Furquim e seguiam para o leste. Assim, aquela localidade, desde os primórdios do ciclo do ouro, tornou-se uma rancharia (ou Pouso da Tropa). De tão procurada, a trilha passou a ser um caminho regular, estrada normalmente usada. Sobre o rio Piranga foi construída, inicialmente, uma passagem rústica, no estilo das pinguelas. Mais tarde, para substituir essa antiga e rústica passagem, construíram uma ponte maior e mais segura. Surgindo, nesse momento, o nome “Ponte Nova”, que se conserva até hoje.

Conforme Ribeiro Filho (2008, p.49) no final do século XVIII, o Vale do rio Piranga encontrava-se todo povoadão.

Para Castro (2008, p.49) com o apogeu e queda do ciclo do ouro em meados do século XIX, as autoridades buscaram alternativas de novas descobertas do metal precioso, fato que pode ser comprovado na “Planta do lugar denominando Brecha no Rio Piranga”, datada de 1789, que projeta a construção de um canal na região da Brecha para a extração de ouro.

Castro (2008, p.51) afirma que o desvio do rio Piranga nas regiões do Bananal e da Brecha é tema antigo, polêmico e controverso. Segundo IBGE (1959, p. 175) apud Castro (2008, p.51):

dos fatos mais antigos ligados à história do município, ressalta-se a iniciativa do Administrador Geral das Minas Gerais, Capitão-mor de Mariana, mobilizando mil escravos para desviar o rio Piranga, no local denominado “Brecha”. Os trabalhos teriam durado de dois a quatro anos, atingindo-se o objetivo visado e descobrindo-se no leito original do rio um rico filão de ouro. A morte súbita do Administrador Geral teria interrompido os trabalhos. Hoje, não se tem conhecimento positivo da localização dessa veia aurífera, sendo os dados aqui transcritos colhidos da tradição local (isto é, uma informação verbal).

De acordo com Castro (2008, p.51), a existência da planta de 1789 comprova que houve, de fato, o desvio do rio e a extração de ouro que ocorreram no local onde se encontra a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Brecha (Figura 1).

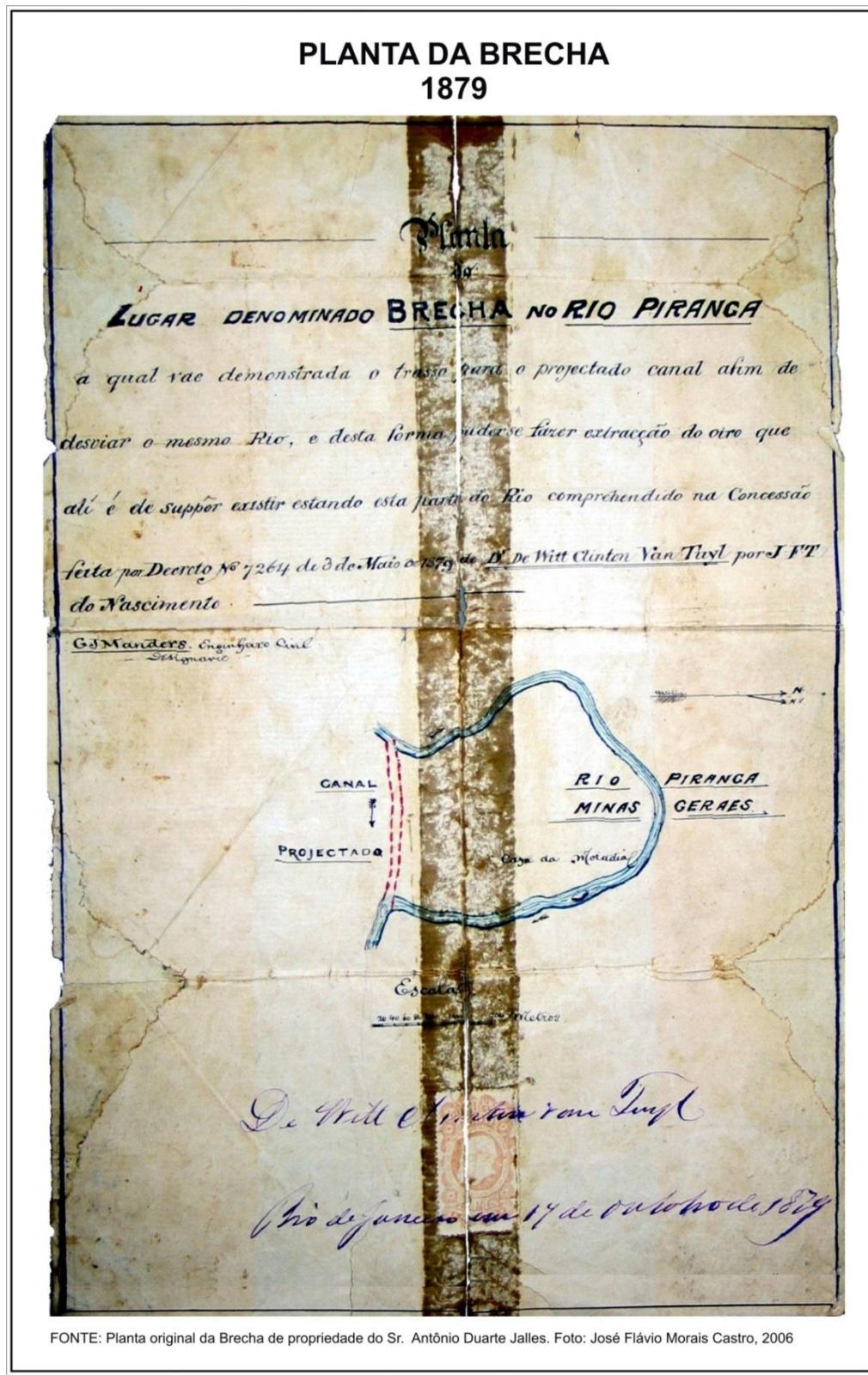


Figura 1 - Planta da Brecha (1879);  
Fonte: Castro, 2008, p. 50.

Segundo Ribeiro Filho (2008, p.16) ainda durante o Ciclo do Ouro, várias fazendas se estabeleceram ao longo do rio Piranga, principalmente onde hoje se encontra o município de Ponte

Nova. Tais fazendas eram responsáveis por fornecerem alimentos às regiões auríferas, cujos solos mostravam-se impróprios para a agricultura. Como exemplos dessa época, pode-se citar as grandes fazendas Vau - Açu, Córrego das Almas, Paciência, Engenho e Pontal.

Com o fim do Ciclo do Ouro, o Vale do Piranga ganhou com a agricultura, uma nova força, pois centenas de mineiros deixaram as minas exauridas e transferiram-se com seus escravos para sesmarias concedidas pelo governo português. Nessa fase, surgem novas fazendas de grandes dimensões, muitas das quais localizadas às margens do rio. Num terceiro momento da história da agricultura na região, ocorreu a lavoura da cana-de-açúcar, que se beneficiou das boas condições físico-químicas dos argissolos presentes nas várzeas e nos terraços. Em muitas propriedades foram instalados engenhos de ferro fundido a partir da década de 1860, como é o caso da Fazenda do Sacramento, Fazenda do Vau – Açu e Fazenda do Pontal. No ano de 1885 é inaugurado o Engenho Central de Minas Gerais e a Usina de Açúcar Anna Florênciia, no município de Ponte Nova. Junto com os engenhos e a usina, chega a Estrada de Ferro Leopoldina Railway. Com o surgimento de novos empreendimentos agropecuários, inaugura-se a Usina Hidrelétrica do Brito em 1913. Esta usina foi a primeira do rio Piranga, e alimentava as oficinas e fundições que surgiam para atender a demanda dos produtores de açúcar, e também iluminava a cidade e as fazendas (RIBEIRO FILHO, 2008, p.17-20).

## **1.2. Impactos Ambientais**

O progresso que o município de Ponte Nova vivenciou no final do século XIX e início do XX trouxe também consequências negativas para o rio Piranga. Nesse sentido, Silva (2009, p.17) afirma que:

A partir da segunda metade do século XIX, o uso da terra é intensificado através da atividade canavieira. Com isso, começaram os problemas de erosão na zona rural de Ponte Nova, pois para o cultivo da cana-de-açúcar era necessário revolver o solo para o plantio e depois, na época da colheita era ateado fogo ao canavial a fim de facilitar o corte. Esse manejo inadequado facilitou a compactação, e isso aliado ao escoamento superficial ocasionou o surgimento de erosão e consequentemente o assoreamento dos cursos d' água da região, dentre eles o rio Piranga. O assoreamento do rio no município de Ponte Nova contribui para a ocorrência de enchentes, pois uma grande quantidade de sedimentos depositada no leito diminui a lâmina de água. Desse modo, quando ocorrem chuvas concentradas, o leito se enche rapidamente e em seguida extravasa para a planície de inundação, causando muitos transtornos, sobretudo na área urbana.

De acordo com Castro (2008, p.85 e 105) os problemas ambientais encontrados no município de Guaraciaba tiveram início no século XVIII devido aos impactos inerentes à extração e lavação do ouro, enquanto no século XIX os impactos procederam do desmatamento promovido

pela atividade agropecuária e no século XX ocorreram impactos resultantes das enchentes, assoreamento e PCH Brecha. Na foto de 1964, observa-se o alargamento do canal à montante do reservatório. O autor ainda destaca que os maiores impactos ambientais ocorridos no município de Guaraciaba são “decorrentes dos desmatamentos por queimadas para fins de pastagens e de comércio do carvão”, tendo por consequência a erosão do solo e o assoreamento dos cursos d’água, o que contribui para as inundações, além dos intensos processos erosivos em encostas (CASTRO, 2008, p.116).

Nascimento (2009, p.52) relatou os impactos ocorridos no município de Piranga, como a derrubada da Mata Atlântica para a implantação de cultivo agrícola, pastagem, e mais recentemente silvicultura, favorecendo o processo erosivo nas encostas, e consequentemente o assoreamento dos cursos d’água, resultando em problemas relacionados com as cheias que atingem tanto a zona rural quanto o perímetro urbano. Além disso, existem outros problemas ambientais no município tais como o lançamento de lixo e esgoto domiciliar *in natura* no rio, despejo de dejetos de suínos sem tratamento, aterros clandestinos e legalizados nas margens do rio e construções em APP.

Em relação à extração mineral no rio Piranga, Ribeiro Filho (2008, p. 99) aponta que na década de 1990, um laudo do Departamento Municipal de Água, Esgoto e Saneamento de Ponte Nova (DMAES) indicou elevados índices de mercúrio nas águas do Piranga, decorrentes da prática de garimpo ilegal. Deste modo, a Organização Não Governamental (ONG) Associação dos Pescadores e Amigos do Rio Piranga – Asparpi, juntamente com o Ministério da Justiça, Polícia Florestal e Federal, promoveram uma campanha contra o garimpo ilegal realizada em vários trechos do rio. Esta ação obteve um resultado positivo com a retirada de dezenas de balsas, no entanto esta prática ainda acontece principalmente nos municípios de Porto Firme e Guaraciaba.

Além dos impactos já citados, que ocorrem de modo geral em todo o vale do rio Piranga, existem duas PCHs instaladas entre as cidades de Guaraciaba e Ponte Nova. De acordo com Ribeiro Filho (2008, p.82 - 84), a primeira PCH surgiu no início do século XX, em decorrência do crescimento econômico que Ponte Nova vivenciava. O lugar escolhido após a realização de estudos técnicos foi a Cachoeira do Brito, no município de Ponte Nova. Entretanto, durante as obras de construção da usina, uma grande enchente no rio Piranga, em 1910, danificou as obras, adiando a sua inauguração, que ocorreu somente em 1913.

Na década de 1950 foi instalada a PCH Brecha, a 11 quilômetros da cidade de Guaraciaba, e que atualmente pertence à Novelis do Brasil Ltda (antiga ALCAN). Segundo Ribeiro Filho (2008, p. 91) “a barragem elevou, em aproximadamente dez metros, o nível da água em relação ao nível original”. Paralelamente, para Castro (2008, p. 105) “[...] a partir da construção da PCH Brecha,

aquele rio apresenta-se, a jusante, perfeitamente encaixado no seu vale, com presença de cachoeiras e ilhas, e, a montante, assoreado, com elevação do nível do seu leito natural, causando enchentes no município [...]” (Figura 2). O encaixamento do rio no seu vale pode ser percebido na Figura 3, que mostra o leito logo após a barragem (Figura 3).

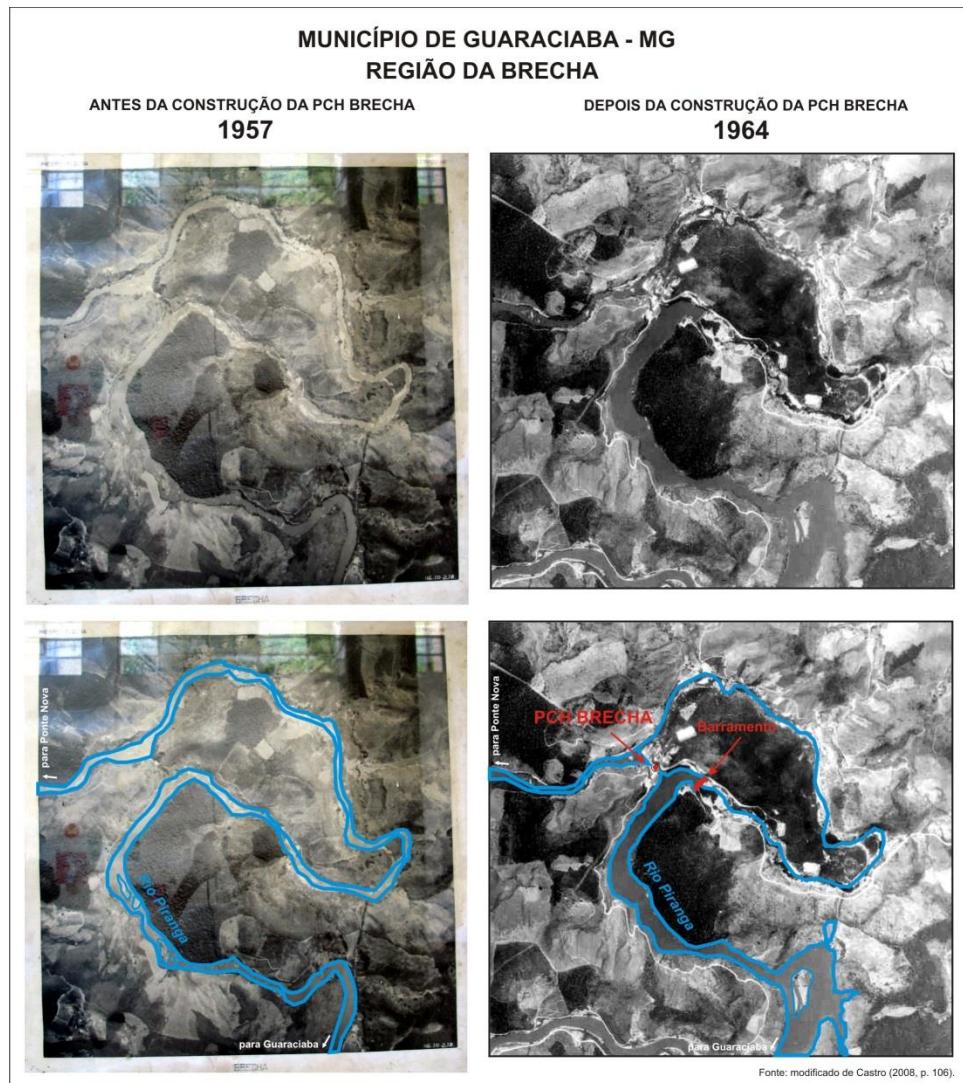


Figura 2 – Formação de barras de canal em decorrência do assoreamento à montante do reservatório da PCH Brecha;  
Fonte: Modificado de Castro, 2008, p. 106.



Figura 3 - Entalhamento do leito do rio Piranga à jusante da PCH Brecha em Guaraciaba;  
Fonte: Acervo do autor, 2012.

Diante disso, há um intenso debate sobre a influência das barragens nas enchentes/inundações que atingem os municípios banhados pelo rio Piranga, sobretudo Guaraciaba e Ponte Nova, localizados à montante e à jusante da PCH Brecha respectivamente. Em 1997, após a ocorrência de uma das maiores enchentes já verificadas na região, a ALCAN elaborou um diagnóstico técnico sobre as inundações em Guaraciaba:

[...] inundações na cidade de Guaraciaba [...] ocorreriam independentemente da existência do barramento, comprovação largamente documentada pela operação de rebaixamento dos níveis na região do aproveitamento, tanto em ocasiões de períodos de vazões maiores, quanto nas épocas de estiagem. [...] o intenso processo erosivo existente na bacia do rio Piranga, causado por inadequado uso do solo, o que significa aumento da vazão sólida levada para a calha do rio e de seus afluentes, é a mais importante causa do entulhamento do leito do rio, que vem ocorrendo mesmo em seções mais distantes da usina, como as regiões de Porto Firme e Presidente Bernardes, situadas a montante, e, também, que o processo de assoreamento notado nessas áreas distantes é absolutamente independente da presença da barragem (ALCAN, 1997, p.1-2).

Segundo Ribeiro Filho (2008, p. 61- 65) o registro mais antigo de enchente/inundação do rio Piranga, em Ponte Nova, foi em fevereiro de 1865. Outras enchentes/inundações de grande magnitude, que possuem registros oficiais, ocorreram em 06 de janeiro de 1906, início de dezembro de 1918 até o final de janeiro de 1919, 29 de março de 1951, 01 de janeiro e início de fevereiro de 1979, 01 de janeiro de 1997 e 17 de dezembro de 2008 (SILVA, 2009, p.44).

De acordo com Fialho et al (2010, p. 18) Piranga, Presidente Bernardes, Porto Firme, Guaraciaba e Ponte Nova foram afetadas por inundações nos anos de 1951, 1979, 1997 e 2008, sendo que dentre estas, 2008 foi considerada a que mais prejuízos causou. Tais autores, também mencionam as enchentes de 1961 em Piranga e 1986 em Ponte Nova. No início de janeiro de 2012, os cinco municípios voltaram a ser atingidos por outra inundação.

### 1.3. Localização, Geologia e Geomorfologia

A Bacia do Rio Doce (Figura 4) é composta por sete Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), dentre elas está a unidade DO1, onde está inserida a Bacia do Rio Piranga (Figura 5). Esta unidade abrange desde a nascente do rio Piranga, em Ressaquinha, até a confluência do rio Doce com o rio Piracicaba. Trata-se, portanto da região de cabeceira da bacia que comprehende uma área de 22.000 Km<sup>2</sup> (ÁGUAS DO RIO DOCE, 2007).



Figura 4 – Mapa de Localização da Bacia do Rio Doce;  
Fonte: Nascimento, 2013, p.43.

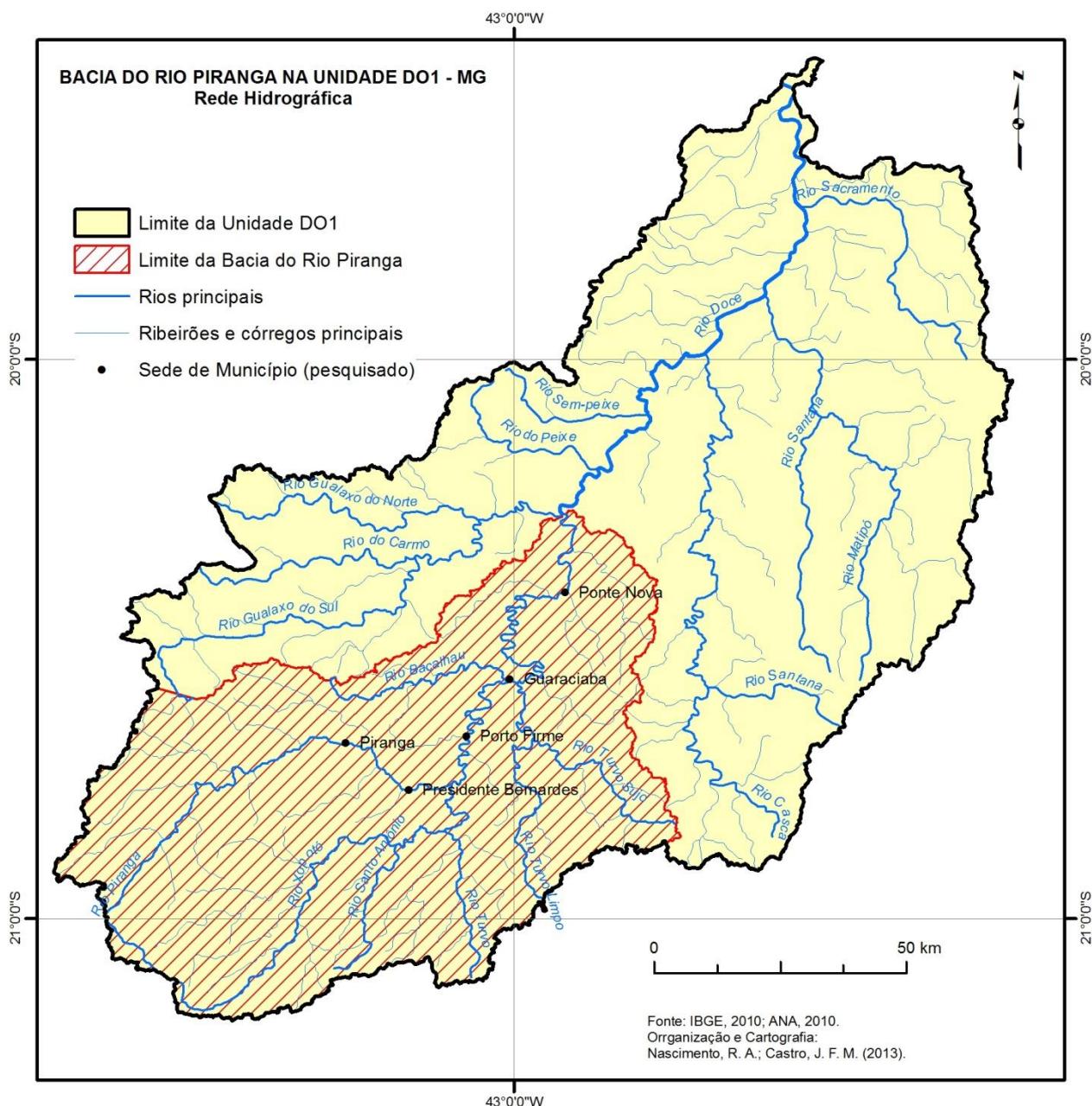


Figura 5 - Unidade DO1 e Bacia do Rio Piranga;  
Fonte: Nascimento, 2013, p. 49.

De acordo com Barros (1967, p. 11) o rio Piranga é a denominação atribuída ao rio Doce antes de receber o rio do Carmo. Ele nasce num dos contrafortes da Serra da Trapizonga, como é regionalmente conhecida a Serra da Mantiqueira, no município mineiro de Ressaquinha, a uma altitude de 1250 m (Figura 6). Segundo Ribeiro Filho (2008, p. 114) à medida que o rio Piranga vai descendo a Serra da Mantiqueira, a ele vão se incorporando diversos córregos e ribeirões. O primeiro grande afluente do rio Piranga é o rio Xopotó, cuja confluência ocorre na zona rural do município de Presidente Bernardes.



Figura 6 - Marco da nascente do rio Piranga na Serra da Trapizonga, Ressaquinha – MG;  
Fonte: Acervo de fotos do município de Ressaquinha, 2012.

Barros (1967, p. 12-14) considera como bacias elementares do rio Piranga, as correspondentes aos afluentes da margem esquerda: ribeirão Papagaio, rio Guarará, rio Água Suja, ribeirão Pirapetinga, rio Pirapetinga, rio Bacalhau e ribeirão Mata Cães. E também aos da margem direita: ribeirão Pinta Pau, ribeirão Pedroso, ribeirão do Melo, ribeirão Lamin, ribeirão Oliveira, rio Xopotó, rio Turvo, ribeirão Teixeiras e ribeirão Vau Açu. Destes, o maior é o rio Xopotó com 103 km de extensão e o menor, o Lamin com apenas 13,5 km. O estirão do rio Piranga até Ponte Nova tem 221,5 km. O estudo de Barros (1967) contempla a Bacia do Rio Piranga somente até a Estação Ponte Nova – Jusante da Agência Nacional de Águas (ANA), localizada no bairro Rasa em Ponte Nova. Entretanto, há à jusante da referida estação o ribeirão Oratórios, importante afluente do rio Piranga também pela margem direita.

Do ponto de vista geológico, a Bacia do Rio Piranga é composta por rochas arqueanas do Complexo Cristalino Brasileiro, com predomínio do gnaisse, sendo as rochas submetidas a intenso intemperismo. O trecho do rio Piranga estudado integra o Domínio dos Planaltos Cristalinos Rebaixados, que corresponde à região compreendida entre as escarpas da Serra da Mantiqueira, a

leste, e a Serra do Espinhaço, a oeste (INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS, 1984).

Segundo Barros (1967, p. 34) a Bacia do Rio Piranga (Figura 7), apresenta rochas arqueanas, com pouca presença de granito, sotopostas a outras parametamórficas (micaxistos, quartzitos e filitos). Há predominância do gnaisse e presença de charnoquitóides, que ocorrem principalmente na porção sudoeste da bacia. Os terrenos são antigos, sulcados por rios jovens (encachoeirados), o que sugere típica influência de tectônica recente.

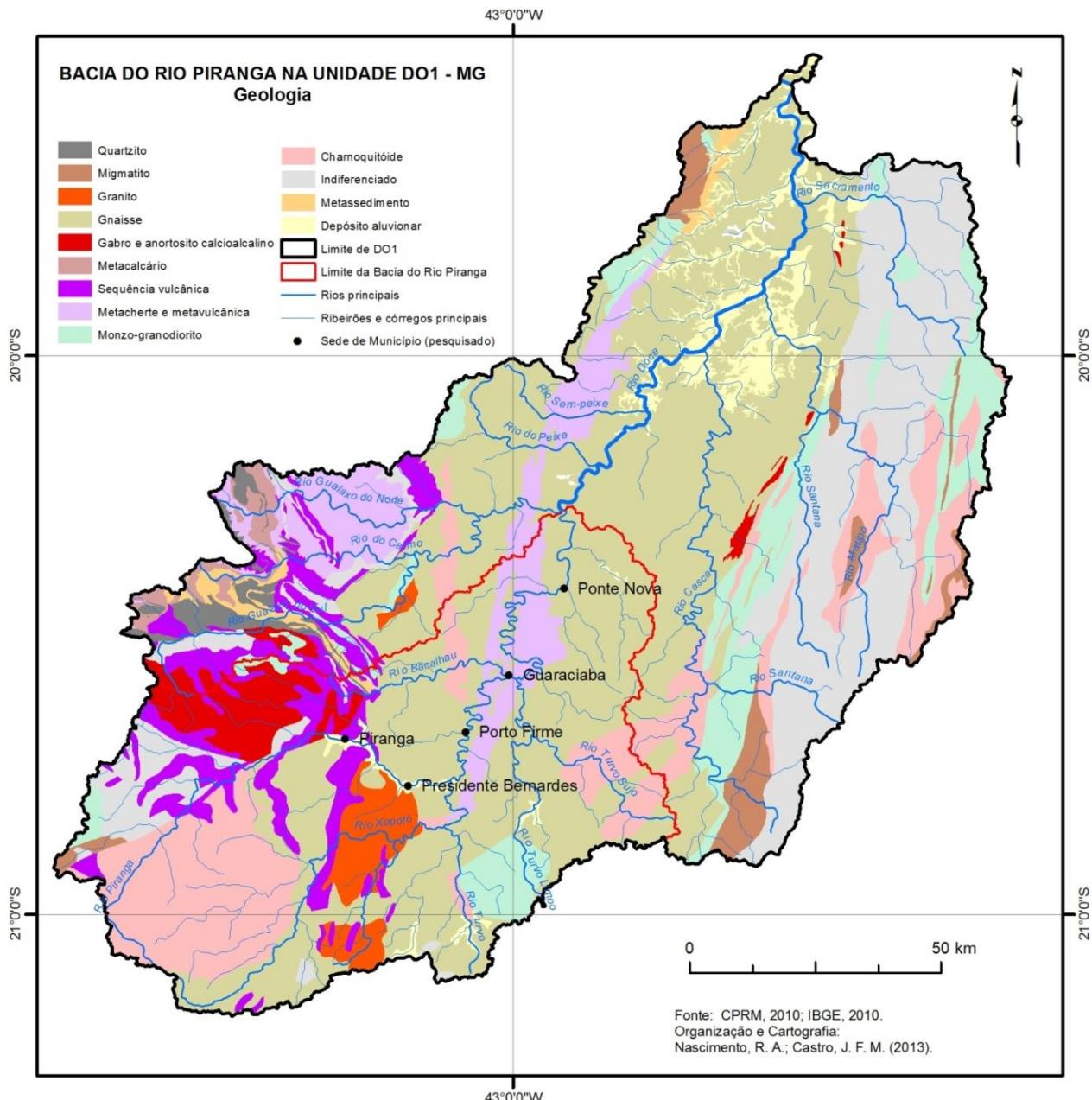


Figura 7 - Mapa Geológico da Bacia do Rio Piranga;  
Fonte: Nascimento, 2013.

O rio Piranga atravessa uma área de dissecação homogênea que apresenta vertentes retilinizadas e entalhadas por ravinas. Acima do nível de colinas de topos convexizados, destacam-se elevações do tipo cristas, das quais partem vertentes irregulares e ravinadas. As ravinas, sobretudo no nível topográfico inferior, são herdadas. Onde foi mantida, a vegetação as recobre, indicando que tais ravinas não estão sob ambiente climático favorável à sua evolução. No entanto, em trechos em que ocorreu a retirada da cobertura florestal, elas se tornam ativas. A paisagem da área de estudo é representada por mar de morros. Por vezes, observa-se uma tendência de cristas alinhando-se segundo uma direção que corresponde à direção das camadas (PROJETO RADAMBRASIL, 1983).

De acordo com Silva (2009, p. 11) o rio Piranga percorre uma área de dissecação homogênea compreendida entre os municípios de Piranga e Ponte Nova. Nesse trecho, o relevo é composto de colinas e morros de topos convexo-côncavos, frequentemente dominados por linhas de cumeadas e cristas de topos aguçados. As incisões de drenagem são geralmente profundas e configuram vales em “V” encaixados, mas em alguns trechos a planície se alarga, favorecendo a inundação durante o período de cheias (Figura 8).

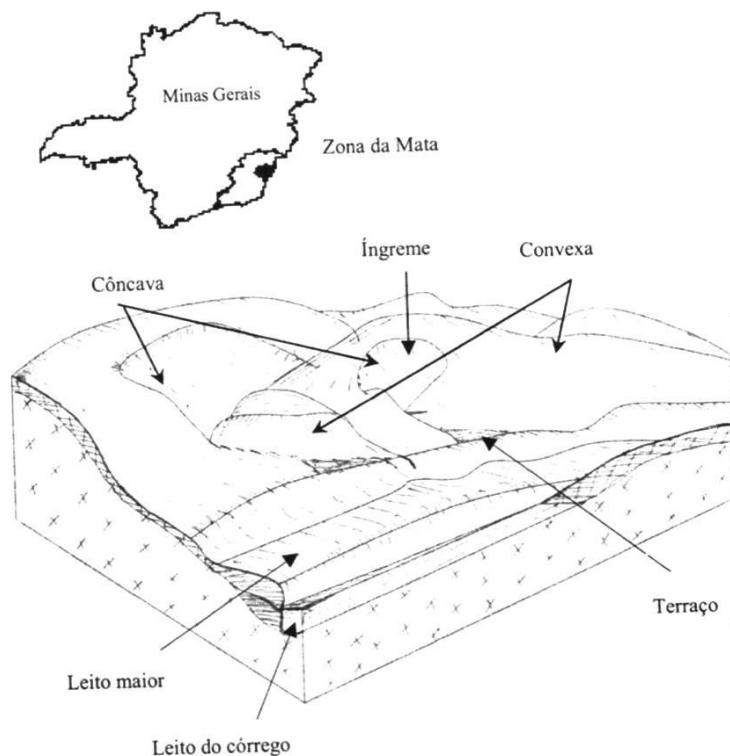


Figura 8 - Modelo de relevo predominante entre Piranga e Ponte Nova;  
Fonte: Cardoso e Jucksch, 2008.

A Bacia do Rio Piranga encontra-se predominantemente inserida no Domínio de Morros e Serras Baixas. As nascentes dos rios Piranga e Xopotó localizam-se nas Escarpas Serranas. O Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos ocorre nas porções sudeste, sudoeste, norte e nordeste da bacia. Entre a sede municipal de Piranga e a confluência com o rio Xopotó observa-se uma planície fluvial que margeia o rio Piranga (Figura 9). Segundo a classificação de Strauch (1955) apud Cupolillo (2008, p. 22) o Vale do Rio Piranga encontra-se no Planalto Deprimido Central, denominado por Barros (1967, p. 11) como Planalto Cristalino Rebaixado, no qual a paisagem é representada pelos Mares de Morros. Ainda de acordo com esta classificação, o Planalto Deprimido Central limita-se ao norte com a Zona Ondulada do Norte, ao leste com a Zona dos Maciços Elevados dos rios Caratinga e Manhuaçu e ao sul e oeste com a Zona da Mantiqueira e Espinhaço.

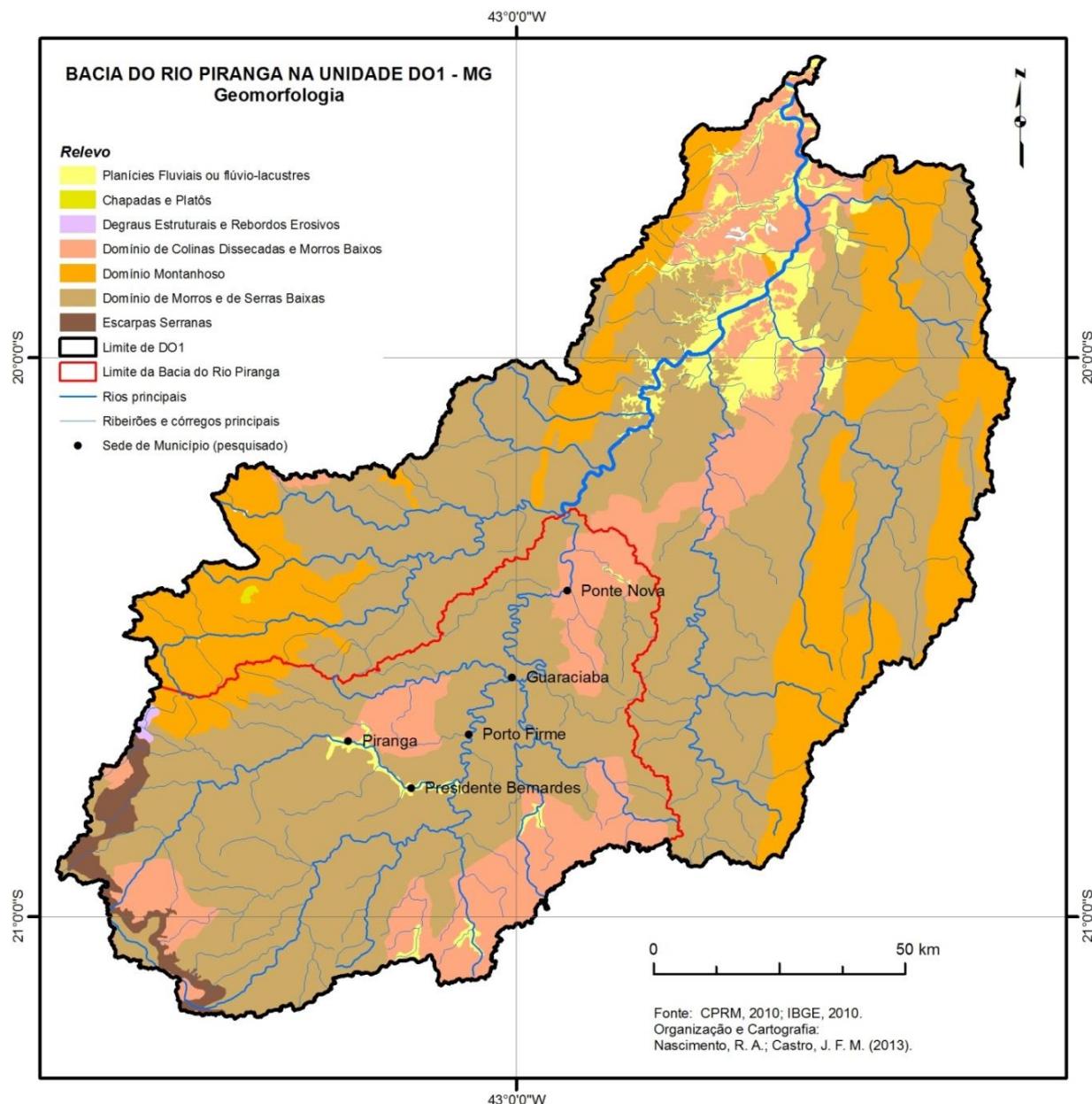


Figura 9 - Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Piranga;  
Fonte: Nascimento, 2013.

Analizando o mapa hipsométrico, pode-se perceber que a altitude predominante na bacia varia entre 639 a 796 metros, entretanto a partir da cidade de Piranga até Ponte Nova o leito do rio situa-se na faixa entre 444 e 638 metros (Figura 10). Após a sede municipal de Ponte Nova até a confluência com o rio do Carmo a altitude varia entre 150 e 443 metros. A altitude predominante, nos municípios de Piranga, Presidente Bernardes, Porto Firme e Guaraciaba situa-se na faixa de 639 a 796 metros, contudo no extremo norte deste último município (região do Cantagalo) e em Ponte Nova a altitude varia entre 444 e 638 metros. Dessa forma, dentre os municípios foco desta pesquisa, Ponte Nova é o que apresenta a menor altimetria, em praticamente toda a sua área.

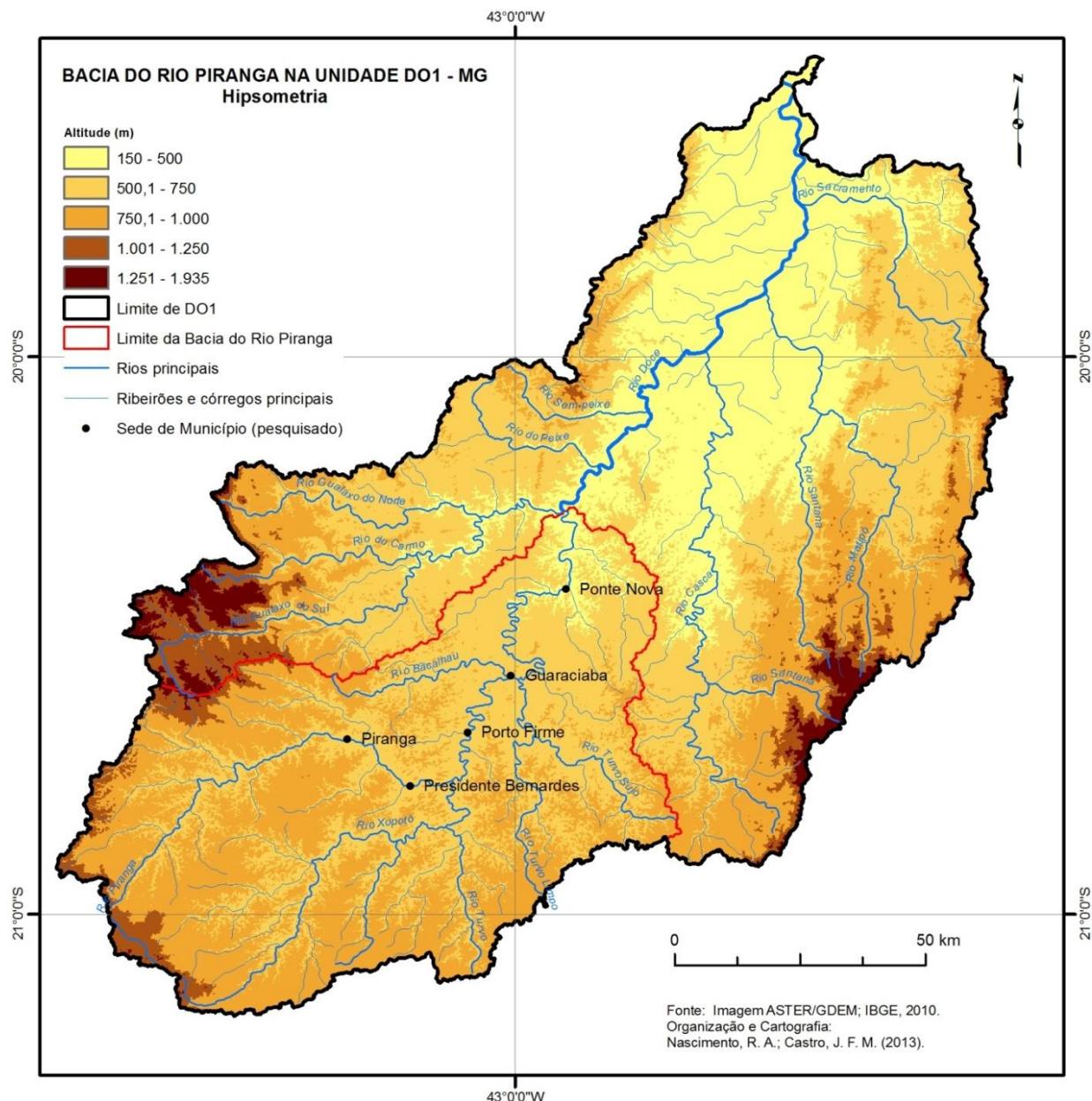


Figura 10 - Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Piranga;  
Fonte: Nascimento, 2013.

## 1.4. Solos

As classes de solos que predominam na Bacia do Rio Piranga são os Latossolo Vermelho Distrófico e os Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, que ocorrem principalmente nos planaltos dissecados desde o relevo plano, passando pelo suave ondulado até o forte ondulado e/ou montanhoso com predominância neste último. O Argissolo Vermelho-Amarelo também é encontrado desde o relevo plano, passando pelo suave ondulado até forte ondulado e/ou montanhoso (COELHO, 2007, p. 68; COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE, 2012). Em menor abrangência, ocorre o Cambissolo Háplico em relevo montanhoso (Figura 11).

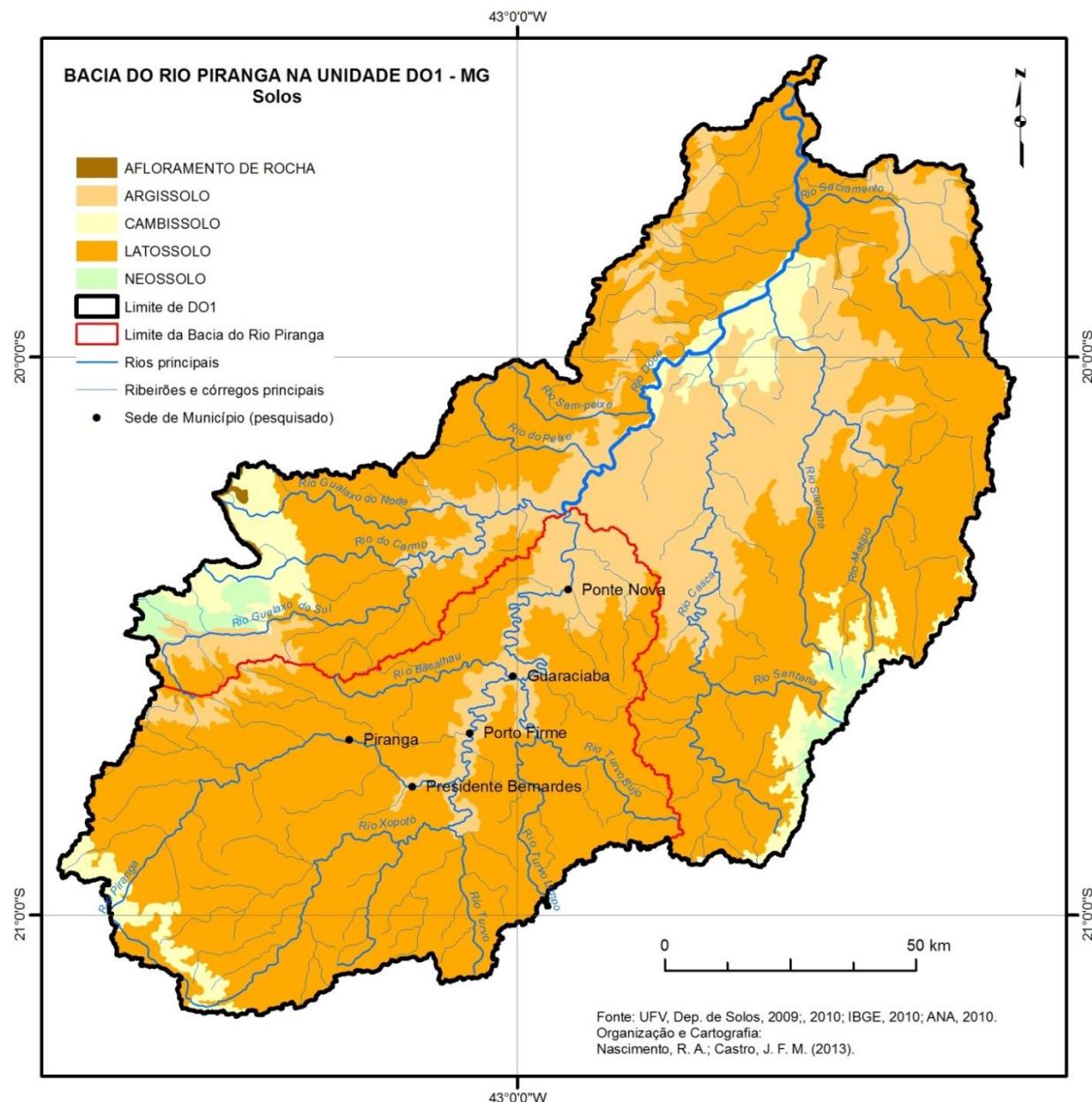


Figura 11 - Mapa de Solos da Bacia do Rio Piranga;  
Fonte: Nascimento, 2013.

### 1.5. Clima

No que se refere aos aspectos climáticos, Coelho (2006, p. 2) afirma que o clima atuante no interior da Bacia do Rio Doce é o tropical úmido, caracterizado por uma diversidade climática, fato explicado por vários fatores, principalmente devido à posição geográfica, características peculiares do relevo e das diferentes massas de ar que atuam no interior da bacia.

De acordo com Barros (1967, p. 11-12), o clima predominante na Bacia do Rio Piranga é o clima tropical de altitude. Segundo a classificação de Köppen trata-se da variedade Cwb ou Cwg': mesotérmico com estação chuvosa no verão que, via de regra é brando. A estação chuvosa é de

novembro a março, sendo o trimestre mais chuvoso o de novembro a janeiro e o mais seco, o de junho a agosto. A umidade anual varia de 75 a 90%, sendo de clima úmido portanto e os meses mais quentes são janeiro, fevereiro e março, e os mais frios são junho, julho e agosto, com uma temperatura média anual de 10º a 20ºC.

Para Coelho (2007, p. 69 – 71) as nascentes dos rios Piranga e Xopotó são as áreas que têm maior índice pluviométrico anual na Bacia do Rio Doce (acima de 1500 mm anuais), seguida pelas áreas litorâneas (1200 mm anuais) e os fundos de vales e depressões que apresentam os menores valores anuais, variando entre 700 e 1000 mm (COELHO, 2006, p. 2).

Segundo Cupolillo (2008, p. 29-30) a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) é composta por uma associação de mecanismos atmosféricos atuantes no continente sul-americano. Deste modo, forma-se uma faixa de nebulosidade de sentido NW-SE, sobre a América do Sul. O ar úmido é transportado da Amazônia para o sudeste do Brasil, atingindo a região da Bacia do Rio Doce, onde a ZCAS estaciona-se muitas vezes sobre os paralelos 19º e 20º de latitude sul, provocando catástrofes em muitos municípios da bacia, como enchentes e deslizamentos de encostas em rodovias e áreas urbanas.

De acordo com Silva (2009, p. 29-30) e Nascimento (2009, p. 52), a Bacia do Rio Piranga foi afetada por fortes enchentes, decorrentes de chuvas concentradas no verão, nos anos de 1951, 1979, 1997 e 2008. Em 2012, a bacia foi novamente atingida por uma enchente de grandes proporções.

## **1.6. Vegetação**

Os municípios de Piranga, Presidente Bernardes, Porto Firme, Guaraciaba e Ponte Nova, estão localizados no médio e baixo vale do rio Piranga, situados na Zona da Mata Mineira e inseridos no domínio morfoclimático dos “Mares de Morros” (AB’ SÁBER, 2003, p. 49) em áreas de abrangência de florestas tropicais. Os municípios em questão eram cobertos pela Floresta Tropical Atlântica Subperenifólia, no entanto, submetida à intensa devastação, restam atualmente somente pequenos fragmentos isolados em algumas encostas e elevações (INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS, 1984).

De acordo com Ribeiro Filho (2008, p. 61) nos dois primeiros séculos de ocupação, o desmatamento da região ocorreu em baixa escala, já que o procedimento de plantio em pequenas roças para subsistência demandava poucas terras. Entretanto, no final do século XIX e início do XX, iniciaram-se as grandes derrubadas para a implantação dos canaviais, cafezais e pastagens. A

remoção da vegetação natural dos topos dos morros, juntamente com as matas ciliares, favoreceu a ocorrência de processos erosivos avançados nas encostas e margens dos rios, desencadeando o assoreamento da calha fluvial, fato observado em muitos pontos do rio Piranga e de seus tributários (Figura 12). Atualmente, a vegetação que predomina na bacia é a Floresta Estacional Semidecidual Montana e a partir de Ponte Nova e principalmente no extremo norte da unidade DO1 a Floresta Estacional Semidecidual Sub Montana (Figura 13).



Figura 12 - Assoreamento do rio Piranga no município de Piranga;  
Fonte: Foto do autor, 06/07/2013.

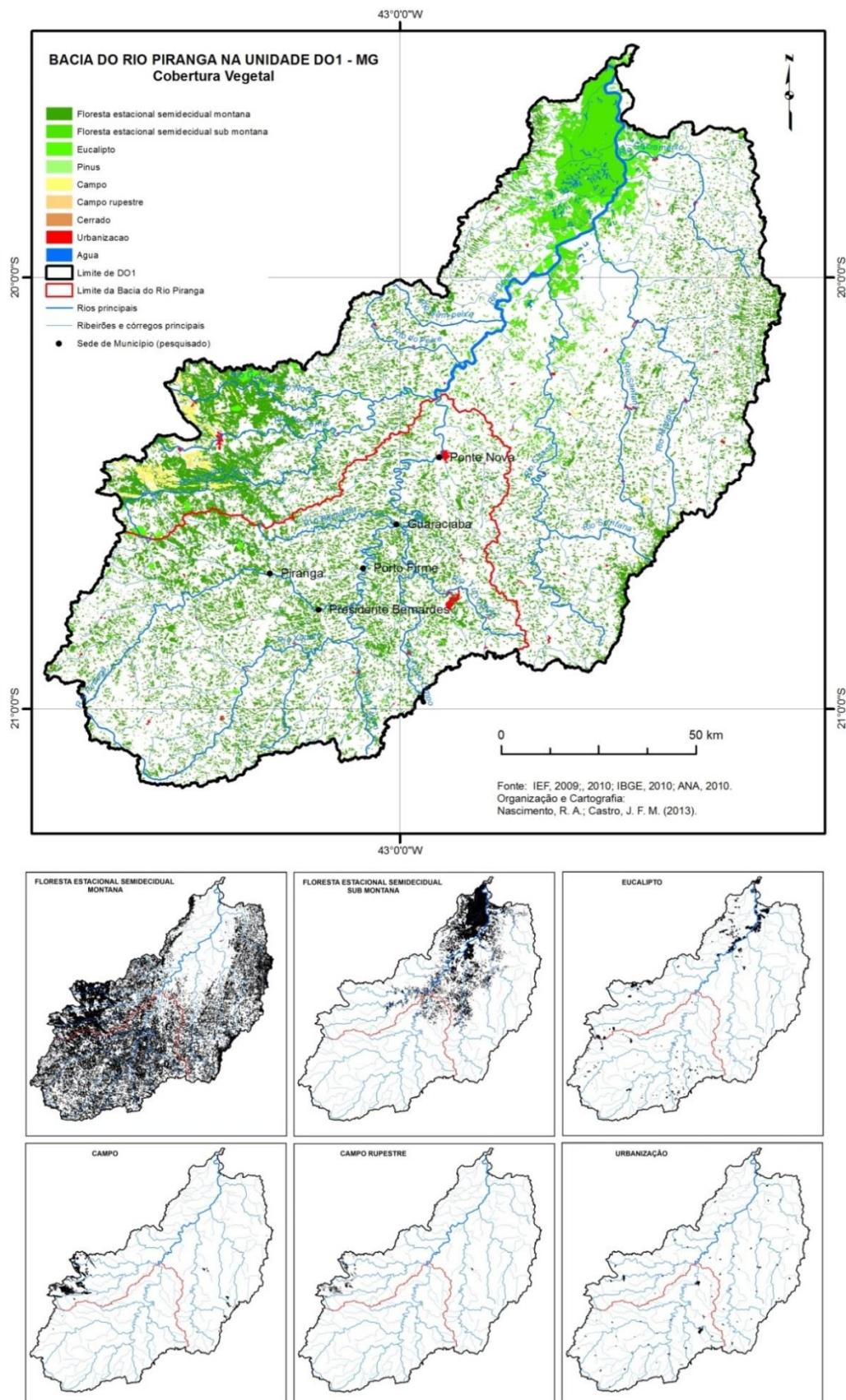


Figura 13 - Mapa de Cobertura Vegetal da Bacia do Rio Piranga;  
Fonte: Nascimento, 2013.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. DINÂMICA FLUVIAL

#### 2.1.1. Geomorfologia Fluvial

A Geomorfologia Fluvial engloba o estudo dos cursos de água e das bacias hidrográficas. Enquanto o primeiro se preocupa com os processos fluviais e as formas resultantes do escoamento nos processos fluviais e nas formas resultantes do escoamento das águas, o segundo considera as principais características das bacias hidrográficas que condicionam o regime hidrológico. Essas características ligam-se aos aspectos geológicos, às formas de relevo e aos processos geomorfológicos, às características hidrológicas e climáticas, à biota e à ocupação do solo (CUNHA, 2011, p.211).

A teoria do regime de fluxo uniforme das águas foi o ponto de partida para o desenvolvimento da geomorfologia fluvial, sendo que tal teoria foi discutida nos estudos de Leopold et al (1964), e publicados no livro “*Fluvial Processes in Geomorphology*”, que atualmente é uma das maiores referências nas pesquisas relacionadas à geomorfologia fluvial. A teoria em questão, diz que, a velocidade de escoamento é constante em qualquer ponto dentro dos canais fluviais e as forças de resistência e atrito são iguais e opostas à declividade gravitacional impelida pela força da água. Entretanto, a teoria do regime de fluxo uniforme das águas é creditada a Antoine de Chézy (1718 – 1798) (AGUIAR, 2009, p. 36).

Segundo Aguiar (2009, p.37), Chézy passou a maior parte de sua vida como coordenador da *École des Ponts et Chaussées* na França e em 1768 foi responsável por coordenar a construção de um canal para transportar água do rio Yvette até Paris. Neste período propôs parâmetros para a determinação das características de um canal a partir de medições obtidas em outro canal.

Abreu (1980), sobre o “*Etude sur les torrents des Hautes Alpes*” publicado em Paris no ano de 1841 por Alexandre Surell, destaca este como uma obra fundamental voltada para a compreensão do trabalho dos rios e sua influência nos processos de modelagem do relevo terrestre. Estas ideias forneceram as premissas básicas para o desenvolvimento da geomorfologia fluvial e das principais teorias geomorfológicas, tendo início com a abordagem davisiana do “Ciclo Geográfico”, ao princípio de mobilidade de Penck (1924), além do emprego da teoria geral dos sistemas para a definição do conceito de equilíbrio fluvial conforme exposto por Hack (1960) (AGUIAR, 2009, p. 37).

Cunha (2011, p.212) afirma que a partir da década de 1970, os estudos em Geomorfologia

Fluvial foram intensificados, com ênfase nos processos e nos mecanismos observados no canal fluvial, adquirindo visão interdisciplinar, ao envolver outras áreas do conhecimento, como a Hidrologia, a Pedologia e a Ecologia. Ainda, a partir da década de 1970, as contribuições da Geomorfologia Fluvial têm adotado uma perspectiva temporal para as mudanças fluviais e se preocupado com as modificações decorrentes da maior atuação humana sobre o ambiente fluvial, em especial modificando-o com a construção de obras de engenharia ou usos indevidos na bacia hidrográfica.

No Brasil, nas décadas de 1970 e 1980, merecem destaque o trabalho de sistematização sobre os estudos sedimentológicos de Suguio (1973), que consolidou alguns conceitos básicos ligados ao campo da Geomorfologia Fluvial, como as publicações dos livros textos de Christofoletti (1974 e 1981) e Bigarella et al. (1979) (CUNHA, 2011, p.212).

### **2.1.2. Os Tipos de Leitos Fluviais**

Christofoletti (1980, p.83) classifica quatro tipos de leitos fluviais sendo eles o de vazante, o menor, o maior periódico ou sazonal e o maior excepcional. O leito de vazante, que inclui o leito menor é utilizado para o escoamento das águas baixas. Ele serpenteia entre as margens do leito menor, acompanhando a linha de maior profundidade ao longo do leito, que é denominada talvegue. O leito menor é bem delimitado e está encaixado entre margens normalmente bem definidas. Ao longo do leito menor existem irregularidades, com trechos mais profundos denominados depressões (*pools*), seguidas de partes menos profundas, e que se apresentam de forma mais retilíneas e oblíquas em relação ao eixo aparente do leito, e que são designadas de umbrais (*riffles*). O leito maior periódico ou sazonal é regularmente ocupado pelas cheias, pelo menos uma vez por ano e o leito maior excepcional é por onde correm as cheias mais fortes (enchentes). Ele é submerso em intervalos irregulares, mas nem todos os anos. As delimitações entre os quatro tipos de leitos são muito difíceis de serem observadas. No entanto, a nitidez maior é a que existe entre o leito menor e o leito maior.

Cunha (2011, p.212), apoiada na classificação de Tricart (1966) cita o leito menor, de vazante, maior e maior excepcional. Segundo a autora, a existência dos distintos tipos de leito e as relações entre eles podem variar de um curso de água para o outro ou de um setor a outro do mesmo rio.

Usando-se o critério da litologia sobre a qual correm, há que diferenciar entre leitos que cortam rochas coerentes e os que atravessam materiais móveis. Os rios com leito sobre rocha coerente são aqueles que atravessam material consolidado. A resistência encontrada pela corrente

faz com que os leitos se encontrem inadaptados às exigências hidrodinâmicas. A largura e a profundidade variam em pequenas distâncias, o declive é irregular e as margens geralmente são mal definidas. Os rios com leito sobre material móvel são os que atravessam sedimentos facilmente mobilizáveis. A facilidade com que tais materiais respondem às exigências hidrodinâmicas do escoamento faz com que os leitos estejam sempre calibrados. É nesse tipo de material que se pode aplicar as mensurações e as fórmulas pertinentes à geometria hidráulica (CHRISTOFOLLETTI, 1980, p. 84).

### **2.1.3. Os Tipos de Canais Fluviais**

A classificação dos tipos de canais fluviais não é consensual, pois existem vários sistemas de classificação propostos por diversos autores. Entretanto, o sistema de classificação provisória proposto por George H. Dury (1969) é o mais utilizado em trabalhos de Geomorfologia Fluvial. Dury apresentou essa classificação visando padronizar o arranjo espacial que o leito apresenta ao longo do rio. Tal classificação apresenta os seguintes tipos de canais fluviais: a) meandrante, b) anastomosado, c) reto, d) deltaico, e) ramificado, f) reticulado e g) irregular (CHRISTOFOLLETTI, 1980, p. 87).

Para a pesquisa proposta, se faz necessário detalhar somente os padrões retilíneo, anastomosado, meandrante e também o entrelaçado, sendo que esse último é citado por Petts e Foster (1985).

Os canais retos são aqueles em que o rio percorre um trajeto retilíneo, sem apresentar grandes desvios em relação à sua trajetória normal em direção à foz. Os canais verdadeiramente retos são muito raros na natureza, existindo principalmente quando o rio está controlado por linhas tectônicas, como no caso de cursos de água acompanhando linhas de falha. Sua presença exige também a existência de um embasamento rochoso homogêneo, ou seja, com rochas de igual resistência, pois em caso contrário o rio fatalmente se desviará em sua trajetória (CHRISTOFOLLETTI, 1980, p. 88).

Segundo Santos (2008, p. 13), o padrão retilíneo, geralmente, ocorre em pequenas distâncias num canal e seu padrão deposicional se assemelha ao de canais meandrantes, consistindo em mudança lateral de canal, acúmulo de sedimentos em barras de canal e erosão em margens com profundidades maiores, e se caracterizam por possuírem sinuosidade insignificante.

Os rios anastomosados caracterizam-se por apresentar canais largos, rápido transporte de sedimentos e contínuas migrações laterais. Os deslocamentos laterais dos canais ligam-se às

flutuações na descarga dos rios, que apresentam grande volume de carga de fundo e gradiente relativamente alto. As seções transversais de seus vales evidenciam canais rasos e grosseiramente simétricos, enquanto que, o perfil longitudinal ao longo do seu canal principal apresenta cavidades relativamente profundas e protuberâncias irregulares (SUGUIO; BIGARELLA, 1979, p. 22-23).

Os canais meandrinos são aqueles em que os rios descrevem curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si, através de um trabalho contínuo de escavação na margem côncava que apresenta maior velocidade da corrente e de deposição na margem convexa que apresenta menor velocidade. Deve-se notar, portanto, que a deposição dos detritos da carga do leito se faz do mesmo lado da margem em que eles foram arrancados (CHRISTOFOLLETTI, 1980, p. 88).

Petts e Foster (1985, p. 161) definem o rio meandrante como aquele que possui uma seqüência de curvas sinuosas que são produzidas pelo acréscimo lateral de barras de pontal (*point bar*). Esse acréscimo lateral está relacionado à energia de circulação de fluxo, que é geralmente favorecida por declividades relativamente baixas, e também por grande quantidade de carga suspensa e de fundo.

De acordo com Christofolletti (1980, p. 88-89), tradicionalmente na Geomorfologia, os meandramentos fluviais eram relacionados às planícies fluviais e deltaicas. Partindo desse ponto de vista, chegou-se à noção de que os meandramentos estavam ligados aos grandes rios que atingiam a “maturidade” do ciclo davisiano. Essa interpretação é incorreta, pois rios de todos os tamanhos e em todas as altitudes podem formar meandros, desde que uma condição básica seja encontrada: a presença de camadas sedimentares de granulação móvel, mas que estejam coerentes, firmes e não soltas. Observou-se também que os meandros não são meros caprichos da natureza, mas que representam o equilíbrio em seu estado de estabilidade, denunciando o ajustamento entre todas as variáveis hidrológicas, inclusive a carga detritica e a litologia por onde corre o curso de água. Considerado na perspectiva de todos os possíveis tipos de canais que o rio pode apresentar, o meandro é o mais provável, porque minimiza a declividade, cisalhamento e a fricção.

Segundo Petts e Foster (1985, p. 168), a maioria dos canais entrelaçados é caracterizada pela elevada carga de sedimentos, pela rapidez com que seus canais mudam de posição e por sua alta variação na descarga.

Santos (2008, p. 12) salienta que quando há retirada da cobertura vegetal, pode haver uma contribuição para um grande aporte de sedimentos para os canais fluviais, portanto a retirada da vegetação pode contribuir para o entrelaçamento de um canal. Os depósitos de rios entrelaçados são tipicamente caracterizados por pouca organização interna e grande variação no tamanho dos sedimentos, tanto nos depósitos de leito, quanto de barras de canal, devido à grande variação de

descarga.

#### **2.1.4. O Escoamento Fluvial**

Segundo Christofeletti (1980, p. 58-59), duas forças externas principais atuam sobre as águas que fluem em canais abertos: gravidade e fricção. A força de gravidade atua verticalmente e possibilita o escoamento das águas das partes mais altas para as mais baixas. A fricção exercida pelas forças delimitantes do canal no escoamento do fluido promove ação de retardamento, cuja direção é contrária à do fluxo. Nos rios, por exemplo, essa resistência é exercida pelo leito e margens e, em menor escala, pela interface água-ar. A força de fricção é também denominada de força de cisalhamento, que atua na superfície de contato entre duas camadas de água que escoam com velocidades diferentes.

Nos canais abertos existem diversos tipos de fluxos que, segundo a característica envolvida são denominados de laminar e turbulento, uniforme e não-uniforme, estável e instável. O fluxo laminar ocorre quando a água escoa ao longo de canal reto, suave, a baixas velocidades, fluindo em camadas paralelas acomodadas uma sobre as outras. Cada partícula do fluido movimenta-se numa trajetória determinada com velocidade uniforme, e não há difusão entre as camadas do fluxo. Como não há difusão nem mistura, as trajetórias dos movimentos do fluido são paralelas e individuais, e esse tipo de fluxo não pode manter partículas sólidas em suspensão e, praticamente, não é encontrado nos cursos naturais. O perfil da velocidade no fluxo laminar tende a crescer à medida que aumenta a distância em relação ao fundo do canal. A camada na qual a velocidade é máxima localiza-se logo abaixo da superfície da água (CHRISTOFOLETTI, 1976, p. 59-60).

O fluxo torna-se turbulento quando através das linhas de fluxo verificam-se flutuações de velocidades que excedem um determinado valor crítico. Estas flutuações são causadas por redemoinhos produzidos quando a água passa por obstáculos ou irregularidades de contornos rugosos do fundo. Uma pequena partícula transportada em suspensão por uma corrente turbulenta, não segue uma trajetória uniforme e suave como no caso do fluxo laminar, mas move-se para cima e para baixo, de um lado para outro e mesmo para montante (SUGUIO; BIGARELLA, 1979, p.32).

O fluxo uniforme estabelece-se quando a magnitude e a direção da velocidade não se modificam ao longo do comprimento do canal, conservando sempre a mesma profundidade. Quando ocorrem variações na velocidade e na profundidade ao longo do canal, o fluxo torna-se não-uniforme. O fluxo estável ocorre quando, em determinado ponto do canal, a profundidade não se modifica com o decorrer do tempo. Pressupondo a existência de fluxo estável e uniforme, a quantidade de água que passa através dos sucessivos perfis transversais de um canal permanece

constante (CHRISTOFOLETTI, 1976, p. 61-62).

### **2.1.5. Transporte Fluvial de Sedimentos**

Carvalho (1994, p. 55) afirma que a partícula derivada da rocha passa pelos processos de erosão, deslocamento, transporte do sedimento, deposição e compactação. O transporte de sedimentos se processa nos cursos d'água, sendo que a maior quantidade ocorre no período chuvoso. Foi verificado que 70% a 90% de todo o sedimento transportado pelos cursos d'água ocorrem na época das chuvas, principalmente durante as fortes precipitações.

Christofoletti (1980, p. 73) concebe que o trabalho dos rios é exercido pelo transporte, erosão e deposição do material detritico. Os sedimentos são carregados pelos rios por meio de três maneiras diferentes: solução, suspensão e saltação. Os minerais intemperizados das rochas que são transportados em solução química compõem a carga dissolvida dos cursos de água. A quantidade de matéria em solução depende, em grande parte, da contribuição relativa da água subterrânea e do escoamento superficial para o débito do rio. A carga dissolvida é transportada na mesma velocidade da água e é carregada até onde a água prosseguir; a deposição desse material só se processa quando houver a saturação (por evaporação, por exemplo).

As partículas de granulometria reduzida (silte e argila) são tão pequenas que se conservam em suspensão pelo fluxo turbulento. Esses sedimentos são carregados na mesma velocidade em que a água se desloca, enquanto a turbulência for suficiente para mantê-los em suspensão. Quando essa atingir o limite crítico, as partículas precipitam-se. Essa deposição pode ocorrer em trechos de águas muito calmas ou nos lagos. Já as partículas de granulometria maior, como as areias e cascalhos, são roladas, deslizadas ou saltam ao longo do leito dos rios, compondo a carga do leito do rio. A carga do leito move-se muito mais lentamente que o fluxo da água, porque os grãos deslocam-se de modo intermitente. A maior quantidade de detritos de determinado tamanho que um rio pode deslocar como carga do leito corresponde à sua capacidade. O maior diâmetro encontrado entre os detritos transportados como carga do leito assinala a competência do rio. Calcula-se, em geral, que a carga do leito seja aproximadamente de 10% da carga em suspensão, mas pode exceder a 50% da carga total em rios anastomosantes (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 73).

Carvalho (1994, p. 56) cita, diferentemente de Christofoletti (1980), três tipos de carga sólida que são transportadas pelos rios: a carga de arrasto, a saltante e a em suspensão. As cargas de arrasto e saltante compõem a carga do leito, mas foram desmembradas pelo fato de seu transporte ocorrer de forma diferenciada em relação ao escoamento das águas. A carga sólida de arrasto é composta pelas partículas de sedimento que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso

d'água, portanto, as partículas estão em contato com o leito praticamente todo o tempo. A carga sólida saltante é composta pelas partículas que pulam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas. O impulso inicial que arremessa uma partícula na correnteza pode advir do impacto de uma na outra, do rolamento de uma por cima da outra ou pelo fluxo de água sobre a superfície curva de uma partícula, criando assim uma pressão negativa.

Suguió e Bigarella (1979, p. 39) afirmam que o transporte de sedimentos por tração ocorre através de tensões, tangenciais ao longo do fundo da corrente. O efeito das tensões tangenciais é reforçado pelo fluxo turbulento e as partículas esféricas, pequenas e menos densas são as mais ajustadas à condição de carga de tração.

De acordo com Petts e Foster (1985, p. 9) a quantidade e o tempo relativo do transporte de sedimentos em um rio refletem a combinação de processos atuantes nas vertentes da bacia e nos processos de canal. O aporte e o controle da disponibilidade de sedimentos na carga de rio podem ser verificados pelo fornecimento de materiais da bacia de drenagem, através do escoamento superficial, dos afluentes, dos ravinamentos e de uma variedade de movimentos de massa. Os processos de canal controlam o equilíbrio entre deposição e transporte, podendo ser provido de sedimentos fornecidos por erosão no próprio canal.

Para Santos (2008, p. 16), tanto a carga de fundo, quanto a suspensa elevam-se quando há um aumento na descarga, mas essas relações são muito complexas e nem sempre diretamente proporcionais. Muitos são os fatores que podem influenciar na disponibilidade de material para transporte, na distribuição granulométrica dos sedimentos, e no fornecimento de materiais detritícios.

A tendência é da granulometria dos sedimentos fluviais ir diminuindo em direção de jusante, fato que representa a diminuição na competência do rio. Entretanto há muitos rios onde essa lógica é questionada, já que partículas mais grosseiras podem ser encontradas em seções muito distantes da nascente. Essa redução no tamanho das partículas era explicada pela suposta velocidade menor das águas. Entretanto, Leopold (1953) concluiu que a redução na competência ao longo de um curso de água ocorria devido à diminuição do cisalhamento. Embora haja uma tendência de aumento da profundidade nos cursos de água à jusante, também ocorre a diminuição da declividade, e essas variáveis explicam a redução do cisalhamento, que pode resultar na consequente diminuição da competência fluvial (CHRISTOFOLLETTI, 1980, p. 73-74).

## **2.1.6. Dinâmica Erosiva de Margens e Leito**

De acordo com Carvalho (1994, p. 33) a erosão fluvial se processa de modo contínuo e espontâneo pela ação das correntes dos rios. É de grande interesse na morfologia fluvial, podendo explicar a formação dos rios e da rede hidrográfica. É responsável pelo aprofundamento e alargamento do canal. O material erodido é transportado pelos rios, processando-se uma deposição que pode ser temporária. Esse material é o aluvião. Segundo o estágio de evolução do curso d'água, haverá maior ou menor transporte.

Para Petts e Foster (1985, p. 112) os mecanismos que englobam a erosão marginal são muito complexos e pouco compreendidos, e estão relacionados ao tamanho, geometria e estrutura das margens, além do tipo de material e de sua composição. Dois processos se destacam no que se refere à remoção de material marginal, sendo eles a ação fluvial - corrente e ondas; e as forças de origem externa - precipitação e ação antrópica.

Segundo Suguio e Bigarella (1979, p. 71) o trabalho total de um rio é medido pela quantidade de material que ele é capaz de erodir, transportar e depositar. A erosão fluvial é realizada através dos processos de corrosão, corrasão e cavitação.

A corrosão comprehende todo e qualquer processo de reação química que se verifica entre a água e as rochas que estão em contato com ela. A corrasão ou abrasão é o desgaste pelo atrito mecânico, geralmente através do impacto das partículas carregadas pelas águas. A eversão representa um tipo especial de corrasão, originada pelo movimento turbinhonar sobre as rochas do leito. Depressões de vários tamanhos podem ser escavadas, em geral, de forma circular, tais como as marmitas ou caldeirões. A cavitação ocorre somente sob condições de velocidades elevadas da água, quando as variações de pressão sobre as paredes do canal fluvial facilitam a fragmentação das rochas (SUGUIO; BIGARELLA, 1979, p. 71).

Para Christofolletti (1980, p. 75) o material abrasivo que atua na erosão fluvial está na dependência do que lhe é fornecido pelas vertentes. Nas bacias em que predomina o intemperismo físico, há detritos grosseiros a serem transportados pelos rios, enquanto naquelas em que predomina o intemperismo químico, só sedimentos de granulometria fina são fornecidos aos cursos de água. Verifica-se, portanto, que a corrasão está diretamente relacionada à carga do leito do rio. A carga em solução e a em suspensão não apresentam poder abrasivo e isso explica porque os rios intertropicais, que transportam sedimentos finos como areias e argilas, têm dificuldade de entalhar as rupturas de declive, como cachoeiras e corredeiras, que podem-se manter por longas durações de tempo geológico.

Os canais aumentam os seus comprimentos por erosão remontante, que resulta geralmente de solapamento da base, principalmente onde a superfície é protegida por uma camada resistente,

solos ou vegetação. A erosão do subsolo pode ser causada por percolação de água subterrânea, que remove o material fino subjacente, formando túneis. O alargamento dos canais fluviais pode ocorrer de várias maneiras e pode se processar por vigorosa corrasão lateral contra as paredes durante as enchentes, ou quando a migração de meandros age contra os lados do canal. Frequentemente ocorre o alargamento dos vales como resultado do intemperismo e consequentes movimentos de massa nas vertentes do vale à medida que o rio aprofunda o seu leito. Ocorrem muitos rastejos de detritos, escorregamentos e quedas de blocos que chegam ao rio, sendo por ele removidos periodicamente (SUGUIO; BIGARELLA, 1979, p. 71).

### **2.1.7. Geometria Hidráulica e Enchentes**

A geometria hidráulica foi definida por Leopold e Maddock (1953, p. 25) como a medição quantitativa de alguns dos fatores hidráulicos que ajudam a determinar a forma dos canais dos cursos d'água naturais: profundidade, largura, velocidade e carga suspensa, e como eles variam com a descarga como simples funções potenciais.

Segundo Christoforetti (1980, p. 70), pode-se analisar o canal fluvial como exemplo de sistema morfológico, distinguindo os elementos e suas variáveis. O fluxo e o material sedimentar são os dois elementos fundamentais na estruturação do sistema de geometria hidráulica, em cursos aluviais. Cada um desses elementos pode ser caracterizado por diversas variáveis ou atributos, cujas mensurações são realizadas nas seções transversais. As variáveis consideradas são as seguintes:

#### **A. Para o Elemento Fluxo**

1. *largura do canal* – largura da superfície da camada de água recobrindo o canal;
2. *profundidade* – espessura do fluxo medida entre a superfície do leito e a superfície da água;
3. *velocidade do fluxo* – comprimento da coluna de água que passa, em determinado perfil, por unidade de tempo;
4. *volume ou débito* – quantidade de água escoada, por unidade de tempo;
5. *gradiente de energia* – gradiente de inclinação da superfície da água;
6. *relação entre largura e profundidade* – resulta da divisão da largura pela profundidade;
7. *área* – área ocupada pelo fluxo no perfil transversal do canal, considerando a largura e a profundidade;
8. *perímetro úmido* – linha que assinala a extensão da superfície limitante recoberta pelas águas;
9. *raio hidráulico* – valor adimensional resultante da relação entre a área e o perímetro úmido ( $R = A/P$ ). Para rios de largura muito grande, o raio hidráulico é aproximado ao valor da

profundidade média;

10. *concentração de sedimentos* – quantidade de material detritico por unidade de volume, transportada pelo fluxo.

## B. Para o Material Sedimentar

1. *granulometria* – as classes de diâmetro do material do leito e das margens, notadamente os diâmetros D84, D50 e D16.
2. *rugosidade do leito* – representa a variabilidade topográfica verificada na superfície do leito, pela disposição e ajustamento do material detritico e pelas formas topográficas do leito.

Para Grison e Kobiyama (2011, p. 27) o estudo da geometria hidráulica de determinada seção transversal deve levar em consideração o uso de dados de largura, profundidade, velocidade e vazão para vários níveis d’água na seção. Para o estudo da geometria hidráulica em direção a jusante é necessário utilizar dados de largura, profundidade e velocidade para uma vazão com determinado tempo de retorno, ou seja, uma vazão de mesma frequência. Desse modo é possível analisar ao mesmo tempo o comportamento dessas variáveis com o aumento dessa vazão ao longo do canal do rio.

Coelho (2007, p. 15) salienta que, quando se observa um canal fluvial em uma carta topográfica é comum notar no decorrer de seu curso um padrão geométrico. Essa geometria ocorre em função de uma série de características morfométricas como reflexo do relevo e estrutura, sinuosidade, grau de entrelaçamento, rugosidade do leito, relação largura/profundidade e ajuste do canal à seção transversal, e do inter-relacionamento entre as variáveis: descarga líquida, carga sedimentar (suspensa e de fundo) e velocidade do fluxo.

A forma do canal reflete a resposta do ajustamento aos débitos que fluem através de determinada seção transversal. Dessa forma, pode-se afirmar que as suas dimensões serão controladas pelo equilíbrio entre as forças erosivas de entalhamento e os processos agradacionais, depositando material no leito e em suas margens. Para ter um trabalho efetivo, o débito deve ter a força necessária para realizar o entalhamento, frequência e duração suficientes para manter a forma do canal. Como a magnitude dos débitos modifica-se em direção de jusante, torna-se conveniente analisar as alterações da geometria hidráulica em determinado local e no sentido do perfil longitudinal do rio (CHRISTOFOLLETTI, 1981, p. 53).

De acordo com Coelho (2007, p. 20), em um rio, a velocidade das águas depende de fatores importantes como a declividade do canal, o volume das águas, a forma da seção transversal, o

coeficiente de rugosidade do leito e a viscosidade da água. Todas essas variáveis, fazem com que a velocidade das águas tenha variações nos diversos setores do canal pelo qual ela escoa. Nesse sentido, qualquer obstáculo influencia na eficiência do fluxo das águas, por exemplo, quanto menos rugosa for a calha, maior será a eficiência do fluxo. Assim, o comportamento da velocidade das águas e seu fluxo relacionam-se com o trabalho que o rio executa, possibilitando o transporte da carga sedimentar por suspensão, saltação e rolamento, de acordo com a granulação das partículas (tamanho e forma) e das características da própria corrente, elaborando uma forma de relevo fluvial em função destas variáveis.

Leopold et al (1964, p. 248), consideram que o aumento do débito de montante para jusante de um trecho de drenagem poderá influenciar na modificação da forma, sendo que, o canal fluvial pode tonar-se mais amplo, preservando a profundidade e o fluxo constantes, ou, estes podem aumentar a velocidade, preservando a profundidade e comprimento constantes. Ambas as combinações irão exigir mudanças na declividade do canal, dependente da mudança de fluxo e resistência litológica à jusante.

Observando as variáveis da geometria hidráulica, pode-se observar uma tendência de aumento proporcional da largura, profundidade e velocidade das águas em direção à jusante. Com o aumento da largura e da profundidade há elevação dos valores do raio hidráulico e, consequentemente, diminuição relativa da influência exercida pela rugosidade. O aumento do valor do raio hidráulico e a diminuição relativa da rugosidade apontam uma maior eficiência do fluxo, que implica no aumento da velocidade, compensando o decréscimo que ocorre na declividade do canal.

A compreensão da relação entre as variáveis da geometria hidráulica é de suma importância para o estudo das enchentes, pois é através dessa relação que se pode calcular, por exemplo, valores importantes como o débito e o intervalo de recorrência de uma cheia.

A declividade dos cursos de água influí sobre a velocidade de escoamento do deflúvio superficial. Bacias com cursos de água mais íngremes causam descargas máximas maiores, porque há maior concentração no tempo dos fluviogramas correspondentes às várias partes da tempestade. A conformação do leito dos cursos de água também influí sobre a velocidade de escoamento das enchentes, por sua seção transversal, rugosidade ou crescimento de vegetação ribeirinha (PFAFSTETTER, 1976, p. 85).

Para Pfafstetter (1976, p. 81) a descarga máxima é, em geral, a característica mais importante das enchentes para o projeto das obras de seção de vazão de pontes, bueiros, canais e galerias de drenagem, altura de endicamentos, acumulação de barragens para controle de enchentes

e capacidade de escoamento de sangradouro de barragens. A descarga máxima e o volume das enchentes dependem de fatores climáticos e de características da bacia hidrográfica. Entre os fatores climáticos predominam as características da precipitação, como intensidade, duração, distribuição no tempo e no espaço, além de condições antecedentes às precipitações.

De acordo com Carvalho et al (2007, p. 90-91) o termo encheente, também denominado cheia, significa a elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem em decorrência do aumento da vazão ou descarga. A inundação é caracterizada pelo processo de transbordamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais, também conhecidas como planícies de inundação, quando a encheente atinge cota acima do nível da calha do rio.

Segundo Christofeletti (1981, p. 56) o estudo sobre as cheias abrange a análise das frequências relacionadas com os débitos mais elevados que anualmente ocorrem em determinada seção transversal. No presente trabalho, o designativo de cheia refere-se ao maior débito diário que ocorre em cada ano, independente do fato de causar ou não, inundação. A cheia apresenta, portanto uma periodicidade de ocorrência anual.

Para Grison e Kobiyama (2011, p. 29) a literatura faz grande confusão ao abordar os termos vazão efetiva, vazão de margens plenas e vazão modeladora, pois segundo eles o termo mais correto e abrangente é o de vazão dominante. A vazão dominante pode ser estimada a partir da definição de uma vazão com determinado tempo de retorno, ou seja, uma vazão de mesma frequência. Para estimar um tempo de retorno para uma vazão qualquer é preciso antes fazer uma análise de frequência de vazões.

O procedimento para se determinar o intervalo de recorrência de uma cheia inicia-se com a coleta das cheias para longo período de anos, cujos dados constituem uma série anual. Em seguida, os dados coletados são ordenados conforme a sequência da magnitude, dos valores mais elevados para os menores. A cada valor deve corresponder um número de ordem, que representa a sua posição na escala. Como a finalidade é estabelecer, para cada cheia, o seu intervalo de recorrência, definido como o intervalo de tempo que decorre entre duas cheias de igual magnitude, costuma-se aplicar a equação simples expressa da seguinte maneira (CHRISTOFOLETTI, 1981, p. 56):

$$Ir = \frac{N + 1}{M}$$

onde:

**Ir** = intervalo de recorrência;

**N** = número total de eventos considerados na série anual; e

**M** = número de ordem que representa a posição da cheia na escala organizada.

Essa simples equação, utilizada para determinar o intervalo de recorrência é denominada de Método Californiano. Esse método foi utilizado por Christofeletti (1981, p. 57-58) para calcular o intervalo de recorrência de cheias para o rio Paraíba, em Guararema – SP, para um período de 46 anos; e por Antônio (1967, p. 55) para o rio Piranga, em Ponte Nova – MG, para um período de 22 anos. Entretanto, a equação utilizada por Antônio (1967) e também citada por Pfafstetter (1976) difere um pouco da empregada por Christofeletti (1981), sendo a mesma expressa da seguinte forma:

$$T = \frac{n}{m}$$

onde:

**T** = intervalo de recorrência;

**n** = número total de eventos considerados na série anual; e

**m** = número de ordem que representa a posição da cheia na escala organizada.

Christofeletti (1981, p. 59) também cita a importância geomorfológica do débito de margens plenas (*bankfull discharge*), que é definido como o débito que preenche, na medida justa, o canal fluvial, e acima do qual ocorrerá transbordamento para a planície de inundação. A definição do débito de margens plenas é relativamente simples, mas alguns problemas surgem na interpretação aplicativa no campo e na sua delimitação precisa, em decorrência dos valores diferentes da largura e da profundidade a serem considerados em determinado perfil e, relacionados a débitos diferentes.

O estágio de margens plenas assinala a descontinuidade entre o sistema canal fluvial e o sistema planície de inundação. Até atingir o estágio de margens plenas, o escoamento das águas se processa no interior do canal e origina diversas formas topográficas. Ultrapassado o estágio de margens plenas, considerado como igual ao débito de 1,58 anos de intervalo de recorrência, as águas espalham-se e há relacionamento diferente entre as variáveis da geometria hidráulica. Embora englobando o canal fluvial, como um subsistema, a planície de inundação não deve ser confundida nem caracterizada pelos processos e formas de relevo desenvolvidas no canal fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 76).

#### 2.1.8. O Perfil Longitudinal

Para Cunha (2011, p. 234) o perfil longitudinal de um rio expressa a relação entre seu

comprimento e sua altimetria, que significa o gradiente. O perfil típico é côncavo, com declividades maiores em direção à nascente.

O perfil longitudinal fluvial determina a declividade de um rio em função das distâncias horizontais percorridas entre cada cota altimétrica, além disto, esta variável é muito utilizada na análise geomorfológica, pois expressa a relação entre o comprimento e a altimetria pela qual um rio escoa em direção ao nível de base. Ou seja, seu significado diz respeito ao gradiente topográfico da rede de drenagem (AGUIAR, 2009, p. 61).

De acordo com Leopold et al (1964, p. 268), as variáveis que influenciam nos ajustes morfológicos das formas dos canais são: profundidade do canal, largura, velocidade do fluxo, carga e tamanho dos sedimentos, declividade do canal, descarga de sedimentos e irregularidades do leito. Caso ocorra qualquer mudança em alguma dessas variáveis, será processado um novo ajuste das formas e na dinâmica dos rios. Deste modo, o levantamento do perfil longitudinal apresenta-se como um importante procedimento para a compreensão das questões relacionadas aos ajustes dos processos geomorfológicos.

Aguiar (2009, p. 62) trata das rupturas de declive ou mudanças na forma do perfil longitudinal que indicam processos de ajuste atuantes no equilíbrio das formas e no transporte de materiais. Essas mudanças estão associadas a corredeiras, cachoeiras, saltos, áreas de confluência de tributários e evidências de captura fluvial.

Para Suguio e Bigarella (1979, p. 39) o perfil longitudinal resulta do trabalho que o rio executa para manter o equilíbrio entre a capacidade e a competência, de um lado, com a quantidade e a granulometria da carga detritica de outro lado. Se a capacidade e competência são maiores que as requeridas para transportar a carga que lhe é fornecida, o rio deverá diminuir sua capacidade e competência através de modificações na morfologia e declividade do canal.

Com a aplicação da teoria dos sistemas nos estudos geomorfológicos, principalmente a partir de 1950, passou-se a empregar o conceito de estado de estabilidade (*steady state*) em sistemas abertos no estudo da dinâmica fluvial. O estado de estabilidade é atingido quando há equacionamento entre a importação e exportação de energia e matéria através do sistema, exprimindo-se por meio da ajustagem das formas do próprio sistema. Nesse estágio, o sistema é auto-regulador e qualquer alteração nas condições ambientais resulta em modificação compensatória por parte do sistema. O lapso de tempo deve ser relativamente longo, dentro do qual serão mínimas as flutuações do fluxo e que o débito e a carga possam ser considerados como constantes. Torna-se evidente que as características do canal do escoamento estão sendo sempre alteradas em função da variabilidade sazonal das condições ambientais, e durante um longo período

de anos há um equilíbrio entre o fluxo de água e detritos que entram e saem do sistema fluvial; a morfologia do rio e de sua bacia de drenagem não é estática, pois o material está sendo constantemente removido e há modificações nas formas de relevo superficiais e fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 98-99).

## **2.2. DESEQUILÍBRIO NO SISTEMA FLUVIAL**

### **2.2.1. Desequilíbrio do Sistema Fluvial a Partir da Ação Antrópica**

De acordo com Coelho (2007, p. 22) a noção de equilíbrio fluvial, sem grandes interferências humanas, ocorre quando existe uma condição estável entre a descarga líquida, o transporte de sedimentos, a erosão e a deposição ao longo do perfil longitudinal do rio, de maneira que, ele mantenha certa proporcionalidade no tamanho de sua calha desde sua nascente até a sua desembocadura. Desse modo, a avaliação do equilíbrio fluvial pode ser medida através das relações geométricas entre as componentes das bacias hidrográficas. Isto significa que em qualquer ponto de um perfil longitudinal de um rio equilibrado, há sempre a relação direta entre o tamanho do grão e a área da bacia hidrográfica correspondente.

Park (1981) e Knighton (1984) citado por Cunha (2011, p. 237-238), destacaram dois principais grupos de mudanças fluviais induzidas pela ação antrópica. O primeiro deles são as modificações promovidas diretamente no canal fluvial, para controle de vazões ou para alterar a forma do canal. São exemplos os reservatórios para armazenamento de águas para geração de energia, redimensionamento de margens com o objetivo de atenuar o efeito das enchentes, extração mineral, erosão ou deposição de materiais. Os pesquisadores apontam que esse tipo de interferência, normalmente, altera a seção transversal, o perfil longitudinal e o padrão de canal. O segundo grupo são as interferências indiretas realizadas fora dos canais, ou seja, no interior da bacia e que acabam causando consequências que são perceptíveis no canal. Um exemplo são as mudanças da descarga sólida do rio, e consequentemente, a extensão para o restante da bacia a jusante.

Segundo Coelho (2007, p. 24), em função destas interferências, o ajustamento morfológico do canal pode ocorrer com intervalos de tempo que variam entre longo, médio e curto prazo. A velocidade destas transformações vai depender da dinâmica do funcionamento do canal. Por exemplo, uma das formas que o rio encontra para retornar ao equilíbrio fluvial é através da intensa erosão de suas margens e mudanças na topografia do fundo do leito. Dessa forma, as transformações morfológicas do rio podem levar desde alguns dias a várias décadas para serem processadas.

A dinâmica resultante entre a velocidade da corrente fluvial, a variabilidade das descargas diária, mensal, anual e a frequência das descargas extremas exerce importante papel no processo de moldagem da calha principal do curso de água. O aspecto morfológico de um canal estável é o reflexo do equilíbrio entre a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos ao longo de seu perfil longitudinal. Quando ocorre algum desequilíbrio, o canal fluvial sofre um novo reajustamento até alcançar uma nova forma estável e que seja compatível com as novas condições.

### **2.2.2. O Impacto da Barragem na Dinâmica Hidrossedimentológica**

Um rio que apresenta características naturais possui uma dinâmica hidrológica própria que resulta em uma morfologia particular. Qualquer perturbação sofrida por este rio, como a construção de uma barragem, por exemplo, resulta em uma mudança significativa no seu regime hidrológico, sobretudo, em seu segmento à jusante.

Segundo Miranda (2001) citado por Coelho (2007, p. 33) nos países de climas tropicais, os modelos de barragens projetados e construídos são, geralmente, iguais aos dos países da América do Norte ou da Europa, elaborados por peritos estrangeiros que propõem estratégias que muitas vezes não se adaptam às realidades físicas e bióticas presentes, a exemplo do funcionamento do clima, dinâmica geomorfológica/sedimentar, fauna fluvial e também as condições socioeconômicas, podendo comprometer o empreendimento, como redução da vida útil do reservatório, por exemplo.

No que tange aos padrões de liberação de água de represas e barragens, Coelho (2007, p. 33) destaca duas formas de classificação: fio-de-água e armazenamento-liberação. No primeiro caso, que é mais raro, a represa usa um pequeno ou nenhum volume de armazenamento, operando na maioria das vezes, próximo aos padrões de fluxo naturais do rio (ex: Mascarenhas e Aimorés, no rio Doce). Entretanto, em alguns casos, o fluxo no leito pode ser reduzido ou eliminado para a alimentação dos tubos que levam água às turbinas. Esses reservatórios raramente apresentam problemas relacionados às liberações de limnófilos e nutrientes. Já os reservatórios de armazenamento-liberação são mais frequentes, possuindo diversas finalidades como: irrigação, abastecimento de água, navegação, controle de inundação e produção hidrelétrica. Nesses, quando ocorrem mudanças significativas devido à sazonalidade climática, ocorre efeitos mais expressivos à jusante das barragens, como nos períodos extremos de estiagens prolongadas, quando há liberação mínima de água pelo vertedouro, comprometendo toda a dinâmica fluvial, ou nos períodos de cheias excepcionais, quando ocorre abertura de comportas/vertedouro, resultando em danos socioambientais, a exemplo da inundação de cidades e comunidades rurais. Os reservatórios de armazenamento-liberação produzem modificações nos fluxos e padrões do canal, afetando as

características do sedimento do rio, nutrientes e qualidade de água. São exemplos as UHEs de Xingó e Sobradinho no rio São Francisco.

Para Coelho (2007, p. 35) a posição do reservatório e das armadilhas de sedimento, especialmente, em regiões tropicais e áridas, com erosão substancial do solo, produz efeitos tanto à montante quanto à jusante da barragem e, mesmo que os reservatórios retenham a maioria dos sedimentos, não significa, necessariamente, que a água rio abaixo das represas esteja relativamente desobstruída de sedimentos.

De acordo com Carvalho et al (2000, p. 81), um dos efeitos hidrossedimentológicos provocados por barragens é a agradação do leito na entrada do reservatório formando um delta, o que provoca deformações no canal do rio que, aos poucos, vai se estrangulando. Os depósitos avançam para jusante e também um pouco para montante, o gradiente do canal se reduz, sendo que o lençol de água subterrâneo permanece em alto nível, o que dificulta a drenagem. Com o estreitamento do canal, à medida que o delta aumenta, os efeitos do remanso do reservatório também aumentam, tornando as cheias mais frequentes à montante (Figura 14).

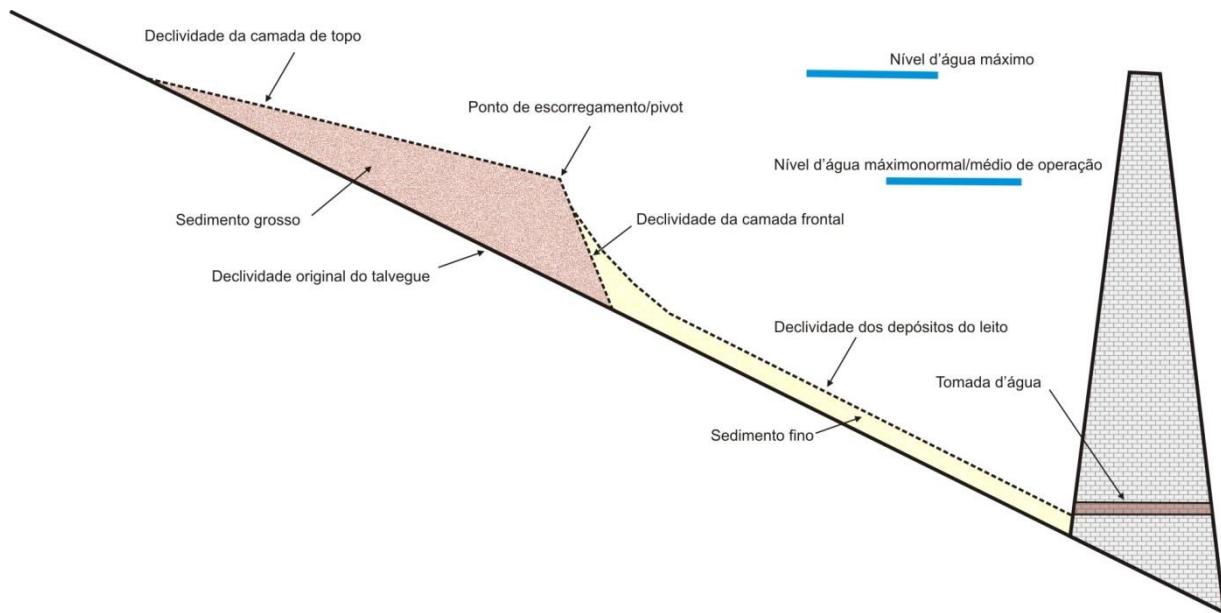


Figura 14 - Formação do Delta. (1) declividade da camada de topo, (2) sedimento grosso, (3) declividade original do talvegue, (4) ponto de escorregamento/pivot, (5) declividade da camada frontal, (6) declividade dos depósitos do leito, (7) nível d'água normal/médio de operação, (8) nível d'água máximo, (9) tomada d'água, (10) sedimentos finos;

Fonte: Adaptado de Carvalho et al, 2000, p. 81.

No reservatório, em virtude da mudança da situação lótica (água corrente) para lêntica (água

parada), a atuação dos ventos e ondas nas margens torna-se mais importante do que o impacto da energia cinética das correntes sobre o fundo. Desenvolvem-se as margens de abrasão, cujos declives favorecem a atuação dos processos gravitacionais, o recuo das margens ou das falésias lacustres e a formação de praias. Os produtos de abrasão, juntamente com os sedimentos trazidos pelos tributários, podem originar feições deposicionais na faixa litoral lacustre, tais como os depósitos dos desmoronamentos, as praias e os leques lacustres. Os impactos mencionados aumentam a carga de fundo e de suspensão, provocando o assoreamento do reservatório, com consequente redução da vida útil do mesmo (CUNHA, 2011, p. 240-241).

Carvalho et al (2000, p. 83) alertam para o fato de que mesmo as margens do reservatório estando protegidas com vegetação ciliar ou sendo utilizadas seguindo práticas conservacionistas, podem ocorrer processos erosivos nas suas margens, seja por embate de ondas ou pelo alto grau de encharcamento em períodos chuvosos, provocando a queda de taludes. Quando isto ocorre perto da barragem, exige-se imediata proteção, pois esses sedimentos vão se incorporar ao assoreamento ao mesmo tempo em que a evolução da erosão pode trazer consequências diversas.

O sedimento depositado pode sofrer acomodação, escorregamento para o interior do leito do reservatório. Quando ocorre de se acomodar no volume morto, considera-se benéfico. Existem modelos computacionais de operação de reservatório, usando um estacionamento mais rápido, que facilita essa acomodação, aumentando parte do volume ocupado pelo sedimento. No entanto, quando o assoreamento já está mais próximo da barragem, o escorregamento desse depósito pode oferecer risco para a estrutura ou atingir a tomada d'água subitamente (CARVALHO et al, 2000, p. 83).

### **2.2.3. Efeitos Geomorfológicos à Montante e Jusante das Barragens**

Com base nos estudos específicos de Cunha (2011), Carvalho et al (2000), Carvalho (1994), Coelho (2007) e de outros pesquisadores, foram relacionados, a seguir, outros efeitos geomorfológicos que normalmente ocorrem à montante ou jusante das barragens, seguido do comentário de cada um destes:

- Erosões marginais nos canais e mudanças nos processos fluviais (sedimento, descarga);
- Mudanças na declividade (perfil longitudinal);
- Mudanças de seção transversal;
- Mudanças na configuração em planta (*Planform*);

- Reflexos nos tributários a partir das alterações no canal principal.

Erosões marginais nos canais e mudanças nos processos fluviais: Carvalho et al (2000, p. 84) apontam para o fato de que a degradação do canal à jusante pode ter diversas consequências indesejáveis ao meio ambiente. Estruturas presentes no canal, tais como pontes ou tubulações que cruzam o rio pelo leito, estarão sujeitas a rebaixamentos que podem danificar sua integridade estrutural. Se as margens do canal estiverem no ponto de ataque da corrente, propriedades agrícolas, industriais ou residenciais podem ser danificadas. A comunidade biológica no canal de jusante pode ser muito afetada pelo aumento de material mais grosso do leito e por uma mudança do crescimento da vegetação ao longo das margens.

Coelho (2007, p. 36) chama a atenção para a erosão marginal nos canais fluviais que processa-se de modo contínuo e espontâneo pela ação das correntes dos cursos de água. A erosão marginal está diretamente vinculada às alterações provocadas no interior das bacias hidrográficas, como a construção de reservatórios, por exemplo. Desse modo, se faz necessário estudar seus processos de desencadeamento, o que contribui para melhor compreender os demais processos que operam ao longo de um canal. A erosão marginal à jusante das barragens pode ser potencializada pela ação das ondas, que se formam devido aos fluxos artificiais caracterizados por altas variações de descargas (operação da barragem). As elevadas descargas produzem efeitos negativos sobre a vegetação ripária, adaptada a um regime de fluxo sazonal.

Segundo Cunha (2011, p. 240-241) a construção de barragens modifica a dinâmica natural dos rios à montante da barragem, já que o nível de base local é soerguido, alterando a forma do canal e provocando assoreamento no fundo do vale do rio principal e dos tributários. Os impactos registrados não se limitam somente à área próxima ao reservatório e à faixa de inundação, pois estes estendem-se para montante, ao longo dos perfis dos rios. O trecho localizado à jusante do reservatório é marcado por mudanças ocorridas no regime das águas, causando o entalhe do leito, a erosão nas margens e a deposição à jusante, que atinge longas distâncias (Figura 15).

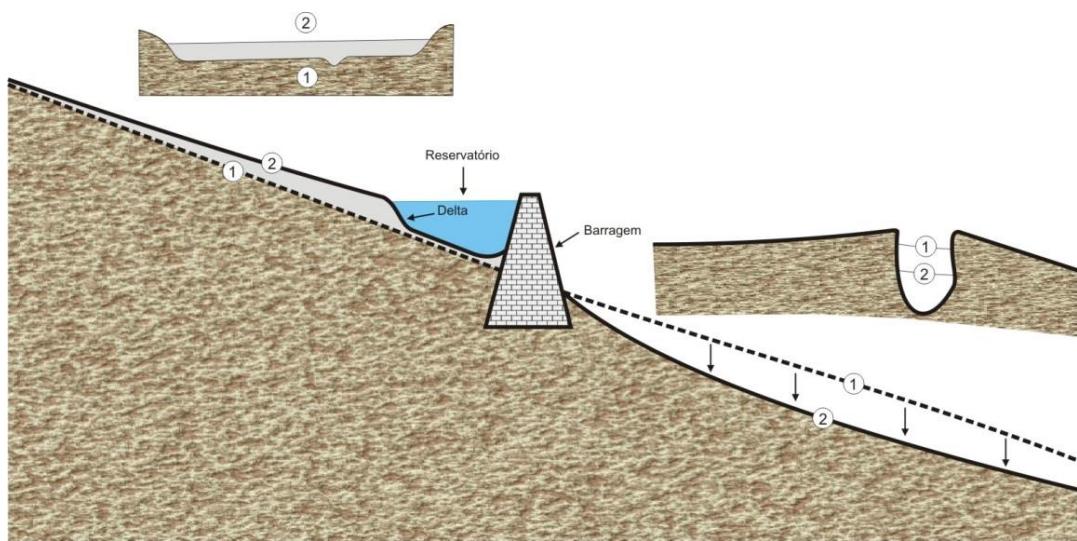


Figura 15 - Rompimento do equilíbrio natural do rio, em virtude da construção de reservatório.

Fonte: Adaptado de Cunha, 2011, p. 240.

A retenção de sedimento no reservatório provoca um escoamento de água limpa para jusante da barragem. Por outro lado, a regularização das vazões à jusante provoca maiores ações nos leitos e margens desse canal. Estes dois efeitos somados, além de outros, podem produzir aprofundamento do leito e erosão das margens do canal de jusante da barragem. Em pequenos aproveitamentos estes efeitos são menores, podendo ocorrer no canal mais próximo, enquanto nos aproveitamentos com grandes reservatórios esses efeitos são maiores e podem ser sentidos mesmo a centenas de quilômetros a jusante do barramento (CARVALHO et al, 2000, p. 84).

Mudanças na Declividade (Perfil Longitudinal): São provocadas pela construção de reservatório, e variam de acordo com o efeito da contenção de sedimentos, que se for significativo, reduzirá a capacidade de transporte de sedimento, podendo promover um entalhamento do leito do rio imediatamente à jusante da barragem (COELHO, 2007, p. 38).

A esse respeito, Cunha (1995, p. 214) citado por Coelho (2007, p. 38) destaca que:

O entalhe do leito do rio tem início junto à barragem onde é mais evidente a sua atuação, propagando-se para jusante com um avanço na ordem de alguns quilômetros por ano, em rios de planície, e de dezenas de quilômetros, nos rios da montanha.

De acordo com Carvalho et al (2000, p.85) o processo de degradação se move progressivamente para jusante até que alcance um ponto onde o sedimento que está sendo transportado resulte em canal estável ou em equilíbrio. Qualquer quantidade de sedimento grosso

que passar através da barragem terá um efeito de compensação na degradação do canal.

Normalmente, o comportamento do processo erosivo a jusante das barragens é extremamente elevado, provocando mudanças rápidas (entalhamento), decrescendo para jusante até predominar os processos de sedimentação e assoreamento (COELHO, 2007, p. 38).

Para Carvalho (1994, p. 284) a água escoada da barragem carrega os sedimentos mais finos, restando os sedimentos grossos, formando uma camada no leito como se fosse uma proteção de encorajamento. Dessa forma, o sedimento fino do leito vai sendo arrastado, modificando a declividade desse leito através de aprofundamento do talvegue.

Mudanças de Seção Transversal: Pode ser medida pela relação entre largura x profundidade que aumenta com o incremento de energia da corrente e com a erodibilidade das margens. Na maioria das vezes, o entalhe tende a ser mais intenso que a erosão lateral, modificando gradualmente o perfil transversal do canal à medida que o fundo vai sendo alargado e aprofundado (COELHO, 2007, p. 39).

Mudanças na Configuração em Planta (Planform): Alterações na entrada da água e sedimento logo após as barragens, geralmente, induz mudanças na configuração do padrão geométrico do rio (*planform*). Schumm (1967) citado por Christofoletti (1981, p.186) identificou que a forma e a sinuosidade dos canais são determinadas, principalmente, pela porcentagem elevada de silte e argila na seção transversal, e em menor grau pelo débito fluvial. Bridge (1993) citado por Coelho (2007, p. 39) afirma que enquanto a carga sedimentar da calha diminui, o canal torna-se mais estreito e mais profundo devido à ocorrência de erosão. Já o meandramento ocorre quando aumenta-se o diâmetro das partículas do leito, ocasionando o entrelaçamento do segmento de gradiente com as descargas mais baixas.

Reflexos nos Tributários a Partir das Alterações no Canal Principal: Um dos maiores impactos exercidos pelos canais principais sobre os tributários são as mudanças no nível de base. Na maioria dos casos, o rebaixamento do nível de base ocorre devido às mudanças nos perfis transversal e longitudinal do canal principal no trecho à jusante da barragem. Germonoski e Ritter (1988) citado por Coelho (2007, p. 39) apontam alguns motivos para essas alterações: (1) a degradação do leito do canal abaixará o nível do fluxo do tronco principal do rio afetando toda a descarga; (2) o canal alarga-se pela erosão do banco de solapamento do rio (assoreamento), e (3) se o regulamento do fluxo pela barragem for significativo, o pico da descarga do rio realizar-se-á sempre fora da fase do pico de descargas dos tributários. Cunha (2011, p. 242), também afirma que à jusante de barragens, o perfil do rio principal e dos seus tributários tem sua forma modificada pelo entalhe dos leitos causado pelo abaixamento dos seus níveis de base, produzindo novo terraço.

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1. Aquisição de Dados Hidrossedimentológicos e Precipitação**

Aguiar (2009, p. 63) afirma que os estudos hidrossedimentológicos de bacias hidrográficas compreendem basicamente a utilização de dados coletados na observação de campo e testes de laboratórios. Este tipo de estudo é realizado com base no levantamento de algumas variáveis hidrossedimentológicas (vazão, cota fluviométrica, precipitação e concentração de sedimentos em suspensão).

Os dados hidrossedimentológicos de vazão, cota fluviométrica e precipitação foram coletados junto ao banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). As estações utilizadas são apresentadas na Figura 16. Depois de coletados, os dados foram tabulados, comparados e apresentados em gráficos e tabelas gerados através do software Excel 2010. A finalidade dos gráficos é demonstrar a sazonalidade e intensidade das variáveis em estudo.

Os dados foram tratados no Laboratório de Cartografia do Programa de Pós-graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial da PUC-Minas através do software ArcGis 10.0. Com o auxílio desse software foi possível confeccionar o mapa com gráficos inseridos, que mostram a concentração dos sedimentos em suspensão nos pontos de coleta.



Figura 16 - Estações utilizadas para coleta de dados.

A Figura 17 mostra as etapas realizadas e suas interligações no desenvolvimento desta pesquisa.

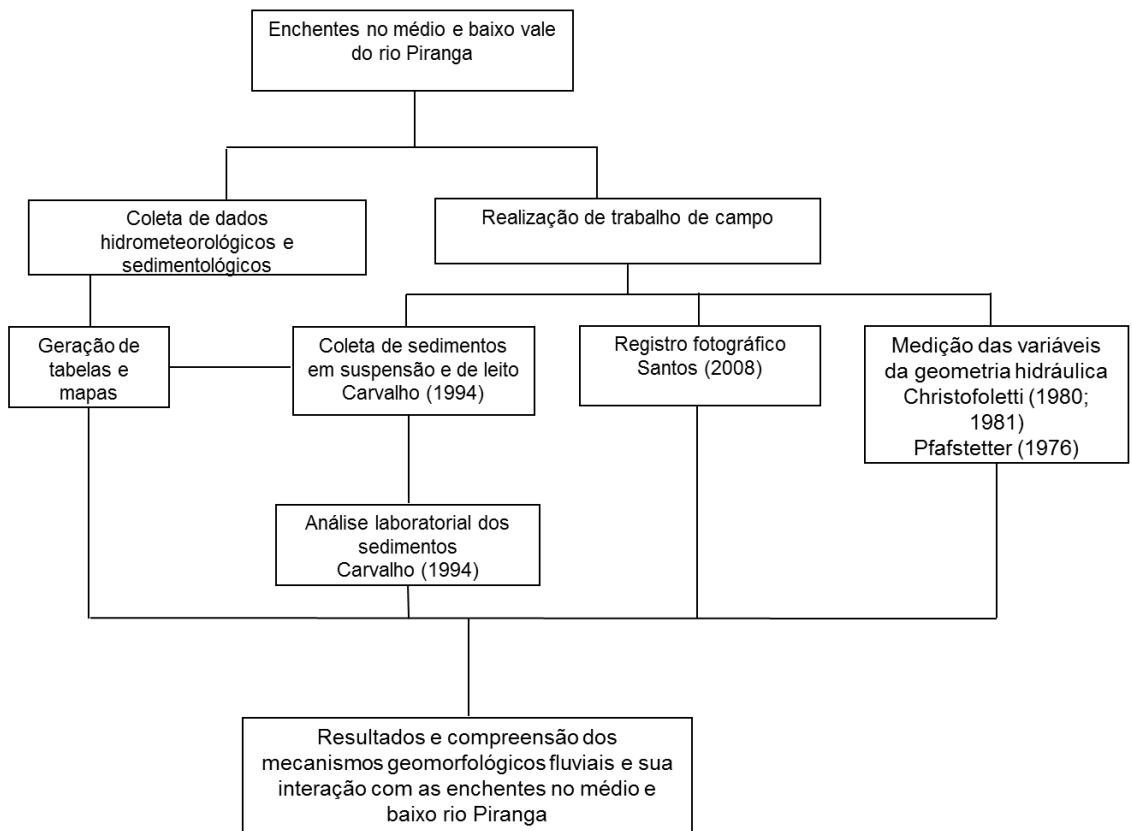


Figura 17 - Desenvolvimento da Pesquisa;

### 3.2. Perfil Longitudinal

A obtenção do perfil longitudinal do rio Piranga foi possível através da junção de cartas topográficas em formato GEOTIF que compreendem o percurso do rio (Figura 18). Após esse processo, foram adquiridas as curvas de nível georreferenciadas por onde passa o rio com a marcação dos pontos altimétricos por meio de uso do software ArcGis 10.0. Depois da obtenção dos pontos altimétricos (Figura 19), foi possível gerar os gráficos que representam o perfil longitudinal do rio Piranga com as sedes municipais por ele banhadas, bem como o perfil longitudinal que demonstra a declividade que o rio atinge no terreno.



Figura 18 – Cartas Topográficas que compreendem o rio Piranga;  
Fonte: IBGE, 1976.

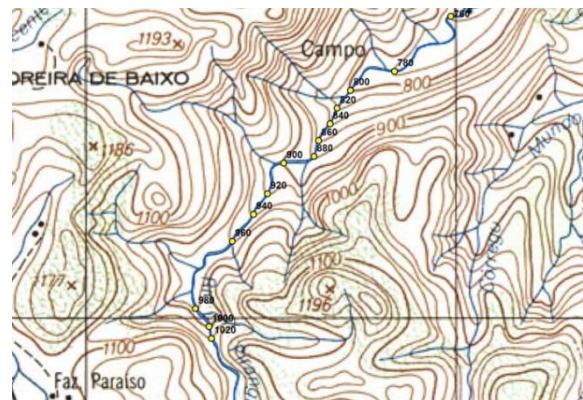


Figura 19 – Pontos Altimétricos;  
Fonte: IBGE, 1976.

### 3.3. Morfometria da Bacia do Rio Piranga

Cardoso et al (2006, p. 242) afirmam que a bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Para compreender as relações hidrológicas, geológicas e geomorfológicas que ocorrem no interior de uma bacia hidrográfica, se faz necessário o uso da análise morfométrica, que objetiva estabelecer conexões entre os parâmetros mensuráveis da bacia hidrográfica e os seus condicionantes. As informações obtidas são referenciadas no tempo e espacialmente localizadas, permitindo assim o acompanhamento dinâmico da realidade a partir da sua integração.

Tendo em vista a importância da análise morfométrica para o desenvolvimento deste trabalho, optou-se pelos seguintes procedimentos metodológicos:

A delimitação da bacia hidrográfica do rio Piranga foi feita em cartas topográficas do IBGE na escala 1: 50.000 impressas. As cartas topográficas utilizadas foram: Barbacena, Barra Longa, Capela Nova, Carandaí, Ouro Branco, Piranga, Ponte Nova, Porto Firme, Rio Espera, Senador Firmino, Senhora dos Remédios, Teixeiras e Viçosa. De posse do curvímetro, foi possível medir o perímetro da bacia e o comprimento dos 55 canais analisados. Através do planímetro pôde-se determinar a área da bacia. Para conferir os valores de perímetro, área, comprimento de canais e

comprimento de eixo da bacia foi usado o Atlas Geográfico Digital de Recursos Hídricos do Brasil, disponível no sítio da Agencia Nacional de Águas (ANA) e que permite executar cálculos precisos de área e distância, utilizando cartas topográficas na escala de 1: 100.000.

Através dos dados de altitude, perímetro, área, comprimento de canais e comprimento de eixo foi possível obter os demais parâmetros morfométricos por meio da aplicação das seguintes equações utilizadas por Cardoso et al (2006); Stipp et al (2010) e Marcuzzo et al (2011):

Comprimento do rio principal: distância da foz até a nascente mais distante da mesma;

Gradiente dos canais:  $G = H - h$ , onde  $H$  é a altitude da nascente,  $h$  é a altitude da foz. Tem por finalidade indicar a declividade dos cursos de água, podendo ser medido para o rio principal e para todos os demais canais de qualquer ordem.

Índice de sinuosidade (Isin):  $Isin = 100 (L - eV) / L$ , onde  $L$  é o comprimento do canal principal e  $eV$  é a medida em linha reta da bacia. O índice de sinuosidade possui classes, divididas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Índices de Sinuosidade Divididos por Classes

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Limites (%)</b>
I	Muito reto	<20
II	Reto	20 a 29
III	Divagante	30 a 39,9
IV	Sinuoso	40 a 49,95
V	Muito sinuoso	>50

Fonte: Marcuzzo et al (2011).

Comprimento médio dos canais ( $Lm$ ):  $Lm = Lu/Nu$ , onde  $Lm$  é o comprimento médio dos rios;  $Lu$  é a extensão total dos rios e  $Nu$  é o número total de rios.

Área da bacia ( $A$ ): refere-se a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, fornecida em  $m^2$  ou  $km^2$ . Segundo Marcuzzo et al (2011), determinando o perímetro da bacia, a área pode ser

calculada com o auxílio do planímetro, de papel milimetrado, pela pesagem de papel uniforme devidamente recortado ou através de técnicas mais sofisticadas, com o auxílio do computador.

Fator de forma da bacia (Ff):  $Ff = A/L^2$ , onde Ff é o fator de forma; A é a área da bacia e L é o comprimento do eixo. O fator de forma relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento de eixo da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do divisor topográfico). Segundo Stipp et al (2010), quando o fator de forma estiver próximo de 0 a bacia apresentará forma alongada e quando estiver próximo de 1 terá forma circular.

Índice de Compacidade (Kc):  $Kc=0,28 \times P/\sqrt{A}$ , onde Kc é o índice de compacidade, P o perímetro (km) e A a área de drenagem ( $km^2$ ). O índice de compacidade (Kc) relaciona a forma da bacia com um círculo. Representa a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. De acordo com Villela e Mattos (1975), esse índice varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o índice de compacidade. Se o valor for inferior a 1 corresponderá a uma bacia circular, e se for superior a 1 será uma bacia alongada.

Índice de circularidade (Ic):  $Ic = 12,57 * A/P^2$ , onde Ic é o índice de circularidade, A é a área da bacia e P é o perímetro da bacia. Simultaneamente ao índice de compacidade, quando o índice de circularidade estiver mais próximo de 0 a bacia terá forma circular, e quando estiver mais próximo de 1 terá forma alongada.

Densidade de drenagem (Dd): correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica. Aplica-se a fórmula  $Dd = Lt/A$ , onde Dd é a densidade de drenagem; Lt o comprimento total dos canais e A a área da bacia.

Índice de rugosidade (Ir):  $Ir = H \times Dd$ , onde Ir é o índice de rugosidade; H é a amplitude altimétrica e Dd é a densidade de drenagem. O índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional.

Amplitude altimétrica (Hm):  $Hm = h1 - h2$ , onde h1 é o ponto de máxima altitude da bacia e h2 é o ponto de menor altitude da bacia. Corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar do divisor topográfico.

### **3.4. Escolha dos pontos de monitoramento**

Para a escolha dos pontos de monitoramento das variáveis da geometria hidráulica (granulometria de sedimentos de leito, concentração de sedimentos em suspensão, largura e profundidade de canal) foi levada em consideração a facilidade de acesso e de uso dos equipamentos, o que foi proporcionado pelas pontes. Desse modo, quase todas as mensurações e

coletas foram feitas sobre pontes ou próximo a elas, com exceção da coleta de sedimentos que foi realizada na confluência entre os rios Piranga e Turvo Limpo em Guaraciaba, que também é um local de fácil acesso. Os pontos escolhidos (Figura 20) foram marcados com o auxílio de um GPS e neles foram obtidas a profundidade média e a largura do canal. A determinação da profundidade média foi obtida com base em quatro medidas com espaçamento aleatório de profundidade do rio ao longo da seção transversal, sempre efetuadas da margem esquerda para a direita. Depois de obtidos os resultados foi encontrada a média. Para se efetuar as medidas de profundidade, foram empregados um barbante graduado com um peso acoplado e uma trena (Figura 21) para conferir a medida com maior exatidão. A largura foi obtida por meio de mensuração, feita com barbante graduado e trena sobre a extensão das pontes.



Figura 20: Mapa da Bacia do Rio Piranga com os pontos de medições.



Figura 21 – Barbante Graduado e Trena;  
Fonte: Acervo do autor, 2013.

Através das medidas de profundidade e de largura, foi possível obter a área do canal por meio da seguinte fórmula utilizada por Santos (2008):

$$A = L/n+1 \times (Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n)$$

Onde:

**A** = área da seção do canal ( $m^2$ );

**L** = largura do rio (m);

**Y<sub>1</sub>** = profundidade do rio no ponto 1 (m);

**n** = número de medidas de profundidade que você realizou.

Seguindo o método de monitoramento direto empregado por Santos (2008), foram obtidas fotografias dos pontos monitorados em diferentes datas, tendo por finalidade verificar a evolução do processo erosivo marginal e o volume das águas. Como método de monitoramento indireto, foram obtidas fotografias antigas e imagens de satélite para comparação. A identificação de algumas áreas com processos erosivos e assoreamento no médio e baixo rio Piranga, ocorreu através de

observações realizadas durante os trabalhos de campo.

### **3.5. Análise dos Materiais de Transporte Fluvial**

- **Carga Suspensa**

No Brasil, a maioria dos estudos hidrossedimentológicos, leva em consideração a caracterização da carga sedimentar em suspensão e da carga sedimentar do leito. Barros (1967), Carvalho (1994), Coelho (2007) e Santos (2008) buscaram verificar a composição granulométrica e a concentração de sedimentos através da coleta de amostras, encaminhadas para testes em laboratório.

Segundo Carvalho (1994, p. 112) a medida da descarga em suspensão continua sendo a fase predominante das investigações sedimentométricas. A amostragem é feita geralmente para determinação da concentração de sedimentos e, eventualmente, para obtenção da distribuição granulométrica.

A amostragem pontual pode ser instantânea quando a admissão da amostra no recipiente é feita instantaneamente, em pouquíssimos segundos, ou por integração, quando a admissão é feita lentamente, talvez mais que 10 segundos. A amostragem pontual é usada comumente para definir a distribuição vertical da concentração de sedimento e a granulometria na posição de coleta. É usada ainda para representar a concentração da seção, quando se tem um coeficiente de correção obtido de medições completas anteriores (CARVALHO, 1994, p.114-115).

A caracterização da carga suspensa foi realizada em duas etapas, sendo a primeira, a amostragem em campo e a segunda, análise quantitativa em laboratório. Em seis pontos de monitoramento, desconsiderando o ponto PCS4 que foi cancelado (Figura 22), foram coletadas seis amostras de sedimento em suspensão, sendo uma amostra coletada em cada ponto através do método da amostragem pontual. Cada amostra foi obtida a uma profundidade de 0,6 metros, utilizando garrafas plásticas de 2 litros posicionadas diretamente dentro do rio. Esse procedimento foi realizado em dois períodos distintos, ambos no ano de 2013. O primeiro foi executado entre os dias 25/07/2013 e 27/07/2013, e o segundo entre 27/12/2013 a 29/12/2013. O objetivo foi comparar a concentração de sedimentos em suspensão do período de estiagem (julho) com o do período chuvoso (dezembro). O total de amostras coletadas e analisadas foi doze, sendo seis no período de estiagem e seis no chuvoso.

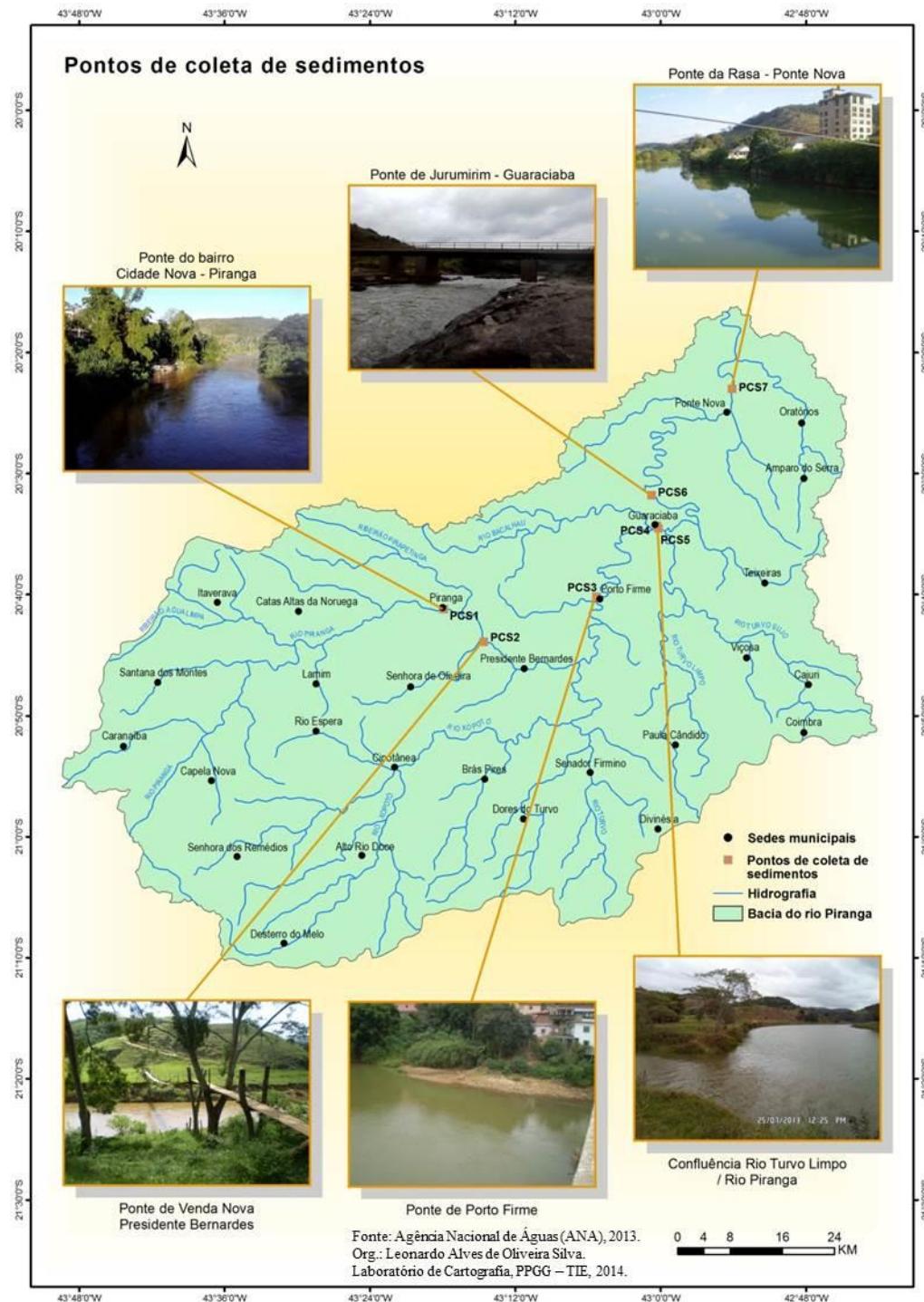


Figura 22 – Pontos de Coleta de Sedimentos na Bacia do Rio Piranga.

De acordo com Carvalho (1994, p. 115) depois do processo de amostragem, cada amostra deve permanecer no próprio recipiente da coleta, não sendo permitida a transferência de uma para outra garrafa. Os recipientes devem ser bem arrolhados para evitar vazamentos, não se colocando nenhum conservante para não alterar as condições das amostras, que devem ser logo enviadas ao laboratório. Enquanto esperam o momento de análise, as amostras precisam estar armazenadas em

ambientes de temperatura fresca e fria e em área escura, a fim de que seja evitada a formação de algas devido à provável presença de matéria orgânica na mistura água/sedimento.

Após a realização das coletas, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, onde foi feito o processamento das amostras a partir do método empregado por Melo et al (1975), adaptado por Santos (2008). Foi utilizado um sistema composto por dois funis de filtragem conectados a uma bomba de vácuo.

Os equipamentos utilizados no processamento foram:

- Garrafas plásticas de 2 litros;
- Equipamento de filtragem: constituído por um funil e receptáculos de filtragem, conectados a uma bomba de vácuo;
- Filtros: filtros da marca Millipore R. com diâmetro de 47 mm e poros de valor nominal de 0,45 micrômetros.

A partir desse método, foi feita a análise da concentração de sedimentos através de filtragem rápida, utilizando como filtro uma membrana de celulose, cujas etapas foram as seguintes:

1. *Preparação*: Os filtros foram pesados, um a um, em balança de precisão. Depois de pesados, foram acondicionados individualmente em envelope de papel alumínio. Foi colada no lado de fora do envelope de papel alumínio uma etiqueta de identificação com o número do filtro e seu peso inicial;

2. *Coleta de Material*: para a determinação da carga suspensa coletou-se uma amostra de 2 litros de água em garrafas plásticas;

3. *Filtragem*: o processo de filtragem das amostras foi feito somente com 2 litros por amostra. Utilizou-se 2 filtros por amostra. Os filtros foram colocados na bomba de vácuo. A amostra foi agitada e, desta, foram retirados 2 litros que foram filtrados, 1 litro em cada proveta. Cada proveta foi despejada em um filtro. Utilizou-se água destilada para auxiliar na remoção da carga das provetas. Anotou-se na caderneta de campo o nome da amostra e o número dos filtros utilizados para esta. Depois de filtrados, foram retirados com a ajuda de uma pinça e acondicionados em seu envelope de origem;

4. *Secagem*: Os filtros secaram em estufa com temperatura de 105° a 110°C por período mínimo de 24 horas;

5. *Pesagem*: Ao retirar da estufa para a pesagem, os filtros foram resfriados no secador por 20 minutos. Em seguida, foram pesados individualmente, anotando-se o seu peso final. A quantidade de material foi dada pela diferença de peso final menos o peso inicial.

- **Carga de Leito**

Segundo Carvalho (1994, p. 111) a coleta simples do sedimento do leito, na medição indireta, para análise da granulometria, é o método mais empregado no Brasil. Os equipamentos de medição *in situ*, com bocais e recipientes apropriados, colocados no leito durante um certo tempo, coletam várias amostras que são pesadas, fornecendo os dados de obtenção da descarga de arrasto para parte da seção transversal correspondente à largura do bocal.

Os métodos de amostragem de sedimentos do leito dependem fundamentalmente da granulometria, podendo ser classificados em amostragem de material desde finos a cascalho ou pedregulho médio (8mm de diâmetro), e amostragem de material maior que pedregulho médio. Os métodos de amostragem para material grosso do leito, maior que 8mm, exigem técnicas especiais, incluindo “contagem de pedras ou seixos”. Esses métodos são limitados aos rios rasos, onde se passa a vau, e quantidades de pedras de 100 a 200 a serem contadas (CARVALHO, 1994, p.111).

De acordo com Carvalho (1994, p. 128), a amostragem de material fino do leito é o procedimento mais usual no Brasil, sendo que tais amostras são coletadas em posições da seção transversal para garantir a determinação da granulometria do sedimento que está sujeito a movimento e disponível para transporte. As amostragens de sedimento do leito são efetuadas geralmente em posições de igual incremento de largura. No entanto, essas amostragens podem ser feitas nas mesmas verticais de amostragem em suspensão, qualquer que seja o método.

A coleta de sedimentos de leito foi realizada no mês de dezembro com o auxílio de um amostrador de carga de leito improvisado, que consiste em um recipiente de alumínio com um peso de ferro acoplado e sustentado por uma haste (Figura 23), o que permite que o recipiente desça até o fundo e colete na horizontal a amostra de sedimentos de até 8,0 mm (argila, silte, areia e seixos). Esse equipamento se assemelha ao amostrador do tipo concha de penetração horizontal. Foram coletadas seis amostras de material fino do leito obtidas no meio do rio, sendo uma em cada ponto monitorado, e que foram encaminhadas ao laboratório para se determinar a granulometria inferior a 2,0 mm. Os pontos amostrados foram os mesmos utilizados nas coletas da carga em suspensão. Já o material mais grosso foi caracterizado quanto ao tamanho dos seixos e sua litologia.



Figura 23 – Amostrador de Carga de Leito Improvisado;  
Fonte: Acervo do autor, 2013.

Os procedimentos metodológicos para análise granulométrica (Dispersão Total) seguem as normas da Embrapa (1997) e foram empregadas por Santos (2008) listadas abaixo:

1. *Preparo das amostras:* depois de devidamente protocoladas, as amostras foram colocadas em tabuleiro adequado, deixado em local seco e ventilado até completar dessecção pelo ar. Em seguida, cada amostra foi destorroada; passou-se a amostra destorroada através da peneira de malha 2 mm e eliminou-se o material retido na peneira; o restante do material, de granulometria inferior a 2 mm, foi colocado em sacos plásticos devidamente etiquetados e identificados.
2. *Separação Granulométrica:* pesou-se 20 gramas da amostra; foram transferidas para um bêquer de 400 ml, contendo 100 ml de água e 10 ml de NaOH 1mol/l; foi feita a agitação com bastão de vidro e, em seguida, foram deixadas em repouso durante aproximadamente 12 horas; após este período o conteúdo foi transferido para o agitador elétrico (coqueteleira), onde a amostra foi agitada por 15 minutos com rotação de 12000 rpm. Depois disso, passou-se o conteúdo em uma peneira de malha 0,053 mm, tendo logo abaixo uma proveta de 1000 ml, nesta etapa, a fração areia foi separada da argila; deixou-se o material fino em repouso durante 4 horas.
3. *Pesagem da areia:* o material de granulometria superior a 0,053 mm (fração areia) foi transferido para uma placa de Petri numerada e de peso conhecido; colocou-se na estufa por aproximadamente 5 horas a uma temperatura de 105°C; o material seco foi peneirado em peneiras de malha 1,00/0,50/0,250/0,125 mm, o que permitiu a separação das diferentes classes de areia.

4. *Pesagem do silte e da argila:* após o tempo de repouso para decantação do silte, pipetou-se uma alíquota de 50 ml utilizando-se uma pipeta volumétrica, colocada em pipetador automático. A coleta foi feita a 5 cm de profundidade; transferiu-se a suspensão para cápsula de porcelana numerada e previamente pesada, colocou-se a cápsula na estufa, após a evaporação da suspensão pesou-se a fração argila.
5. *Prova em Branco:* foram colocados 10 ml de NaOH 1mol/l em uma proveta de 1000 ml, agitada durante 20 segundos, após um repouso de 4 horas, pipetou-se 50 ml, utilizando a pipeta volumétrica com a profundidade de 5 cm; transferiu-se a suspensão para a cápsula, deixou-se na estufa; após a evaporação, pesou-se a massa dispersante.

### 3.6. Cálculo do Período de Recorrência de Cheias

Segundo Christofeletti (1981, p. 56), o intervalo de recorrência é definido como o intervalo de tempo que decorre entre duas cheias de igual magnitude. Para se determinar o intervalo de recorrência utilizou-se a seguinte equação, conhecida por Método Californiano e empregada por Antônio (1967, p.55) para o rio Piranga, em Ponte Nova- MG:

$$T = \frac{n}{m}$$

onde

**T** = intervalo de recorrência;

**n** = número total de eventos considerados na série anual; e

**m** = número de ordem que representa a posição da cheia na escala organizada.

A equação em questão foi utilizada para se determinar o período de recorrência de cheias para as seguintes estações que apresentam série histórica de vazão: Estação Ponte Nova – Jusante, Estação Porto Firme e Estação Piranga. Essas três estações estão localizadas dentro da área foco de estudo, portanto a determinação do período de recorrência de cheias nas mesmas é de grande importância.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Morfometria da Bacia do Rio Piranga

Os cálculos morfométricos para a bacia do rio Piranga foram desenvolvidos a partir de uma análise areal e de uma análise linear. Na análise areal, foi possível verificar que a bacia do rio Piranga apresenta uma área de 6691,81 km<sup>2</sup>, com densidade de rios de 10,31.10<sup>-3</sup> canais.km<sup>2</sup> e densidade de drenagem igual a 0,20 km.km<sup>2</sup>. No que diz respeito à densidade de drenagem, a bacia hidrográfica do rio Piranga é considerada mal drenada devido ao seu baixo índice de 0,20 km de canal por km<sup>2</sup> e à elevada permeabilidade dos solos da bacia. Apesar disso, alguns municípios banhados pelos rios Piranga e Xopotó apresentam grande potencial para a ocorrência de enchentes nos períodos de chuva concentrada.

O Fator de Forma da bacia apresentou um valor de 0,43, o índice de circularidade de 0,47 e o índice de compacidade de 1,44. Esses valores classificam a bacia do rio Piranga como rede de drenagem alongada, ou seja, o tempo de concentração das águas de chuva é maior, o que faz a água escoar mais lentamente dentro da bacia em condições normais de precipitação. No entanto, outros parâmetros morfométricos de ordem linear e de ordem hipsométrica podem justificar as enchentes que atingem o médio e baixo vale do rio Piranga durante eventos intensos de precipitação.

A análise linear da bacia do rio Piranga mostra que o rio principal tem um forte gradiente (900 m). Dentre os nove de seus principais tributários, o rio Xopotó é o que apresenta gradiente mais forte (630 m). Os fortes gradientes do rio Piranga e do rio Xopotó, contribuem para o escoamento mais rápido das águas diante da ocorrência de intensas precipitações. Com isso, as águas chegam rápido ao médio e baixo rio Piranga, provocando enchentes. A relação das altitudes de nascente e foz, gradiente e comprimento de canal do rio principal e seus tributários podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre Altitude de Nascente e Foz, Gradiente e Comprimento de Canal dos Dez Principais Rios da Bacia do Piranga

<b>Nome do rio</b>	<b>Altitude (m)</b>		<b>Gradiente do rio (m)</b>	<b>Comprimento do canal (km)</b>
	<b>Nascente</b>	<b>Foz</b>		
Piranga	1250	350	900	248,59
Água Suja	1080	750	330	33,6
Bacalhau	900	560	340	48
Oliveira	900	598	302	26
Oratórios	660	370	290	31,8
Pirapetinga	1060	600	460	34
Teixeiras	840	560	280	24
Turvo Limpo	860	560	300	66,3
Vau-Açu	780	380	400	27,9
Xopotó	1200	570	630	104,95

Fonte: Dados do autor, 2014.

O índice de sinuosidade registrado para o rio Piranga foi 50,1%, o que coloca o rio como muito sinuoso, fato que pode ser comprovado pelo grande número de meandros ao longo de seu percurso. A amplitude altimétrica registrada na bacia foi de 1100 m, o que também revela uma rápida concentração das águas de precipitação no rio Piranga e nos seus afluentes, culminando na ocorrência de enchentes em alguns pontos específicos da bacia.

Os parâmetros morfométricos da bacia do rio Piranga podem ser conferidos na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Morfometria da Bacia do Rio Piranga

<b>Parâmetros morfométricos</b>	<b>Valores obtidos</b>
Perímetro	423,27 km
Área de drenagem	6691,81 km <sup>2</sup>
Eixo da bacia	123,9 km
Comprimento do canal principal	248,59 km
Comprimento médio dos canais	25,27 km
Densidade de drenagem	0,20 km.km <sup>2</sup>
Densidade de rios	10,31.10 <sup>-3</sup> canais.km <sup>2</sup>
Índice de sinuosidade	50,1%
Índice de rugosidade	0,22
Fator de forma	0,43
Índice de compacidade	1,44
Índice de circularidade	0,47
Altitude máxima	1450 m
Altitude mínima	350 m
Amplitude altimétrica	1100 m
Comprimento total dos canais	1389,94 km
Número de canais	55

Fonte: Dados do autor, 2014.

#### 4.2. Geometria Hidráulica do Rio Piranga

A geometria hidráulica do rio Piranga apresenta muitas variações ao longo de seu curso, sendo que a variação mais evidente se refere às formas que o canal assume no trecho estudado. Do município de Piranga até a confluência do rio Piranga com o rio do Carmo no município de Ponte Nova, o canal fluvial aparece com a forma retilínea, sinuosa, meandrante e entrelaçada alternadas entre si.

Nos municípios de Piranga e Presidente Bernardes, o rio Piranga apresenta um padrão sinuoso com a presença de barras de canal nas margens convexas. Já em Jurumirim, zona rural de Guaraciaba, o canal fluvial é retilíneo porque pode estar correndo sobre uma fratura, constituída em substrato rochoso homogêneo referente ao paleoproterozóico e representada por gnaisse migmatítico. Outro trecho retilíneo considerável sobre o referido substrato rochoso pode ser

observado na ponte do bairro da Rasa, localizada na cidade de Ponte Nova. Entre as sedes municipais de Porto Firme e Guaraciaba, percebe-se a existência de grandes meandros encaixados que ocorrem em áreas de litologias diferentes (gnaisses, rochas metavulcânicas e formações ferromanganesíferas), enquanto os trechos entrelaçados podem ser observados nos municípios de Piranga, Guaraciaba e Ponte Nova.

Além da litologia, os tipos de canais fluviais também sofrem forte influência do fluxo e do calibre da carga detrítica. Desse modo, para se compreender a dinâmica de um canal fluvial se faz necessário o estudo de algumas variáveis da geometria hidráulica, sendo algumas relacionadas ao elemento fluxo, como a profundidade, largura, área e concentração de sedimentos; e outras relacionadas ao material sedimentar, como a granulometria e rugosidade do leito. As médias de profundidade obtidas nos pontos de monitoramento nos períodos de 25/07/2013 a 27/07/2013 e de 27/12/2013 a 29/12/2013 estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Médias de Profundidade nos Pontos Monitorados

<b>Ponto de monitoramento</b>	<b>Médias de profundidade (m)</b>	<b>Médias de profundidade (m)</b>
	<b>Julho (2013)</b>	<b>Dezembro (2013)</b>
Ponte do Bairro Cidade Nova (Piranga)	1,39	2,99
Ponte de Venda Nova (Presidente Bernardes)	0,67	1,56
Ponte do Centro de Porto Firme	2,49	3,95
Ponte do Centro de Guaraciaba	2,94	3,72
Ponte de Jurumirim (Guaraciaba)	2,48	2,94
Ponte da Rasa (Ponte Nova)	3,36	3,44

Fonte: Dados do autor, 2013.

Na ponte do Bairro Cidade Nova localizada na sede municipal de Piranga, no dia 25/07/2013, a profundidade média registrada foi de 1,39 metros e a largura do canal foi de 32 metros, enquanto o valor da área foi referente a 35,58 m<sup>2</sup>. Em nova medição realizada no dia 27/12/2013, a profundidade média obtida foi de 2,99 metros e a largura do canal foi 34 metros. O valor encontrado para a área foi de 81,33 m<sup>2</sup>. O leito apresenta elevada rugosidade nesse trecho, pois há muitos seixos de quartzo, gnaisse e xisto que formam barras de canal que ficam à mostra nos períodos de águas baixas (Figura 24 e 25). Estes seixos apresentam diâmetro que varia entre 2,5 e 15,4 cm.

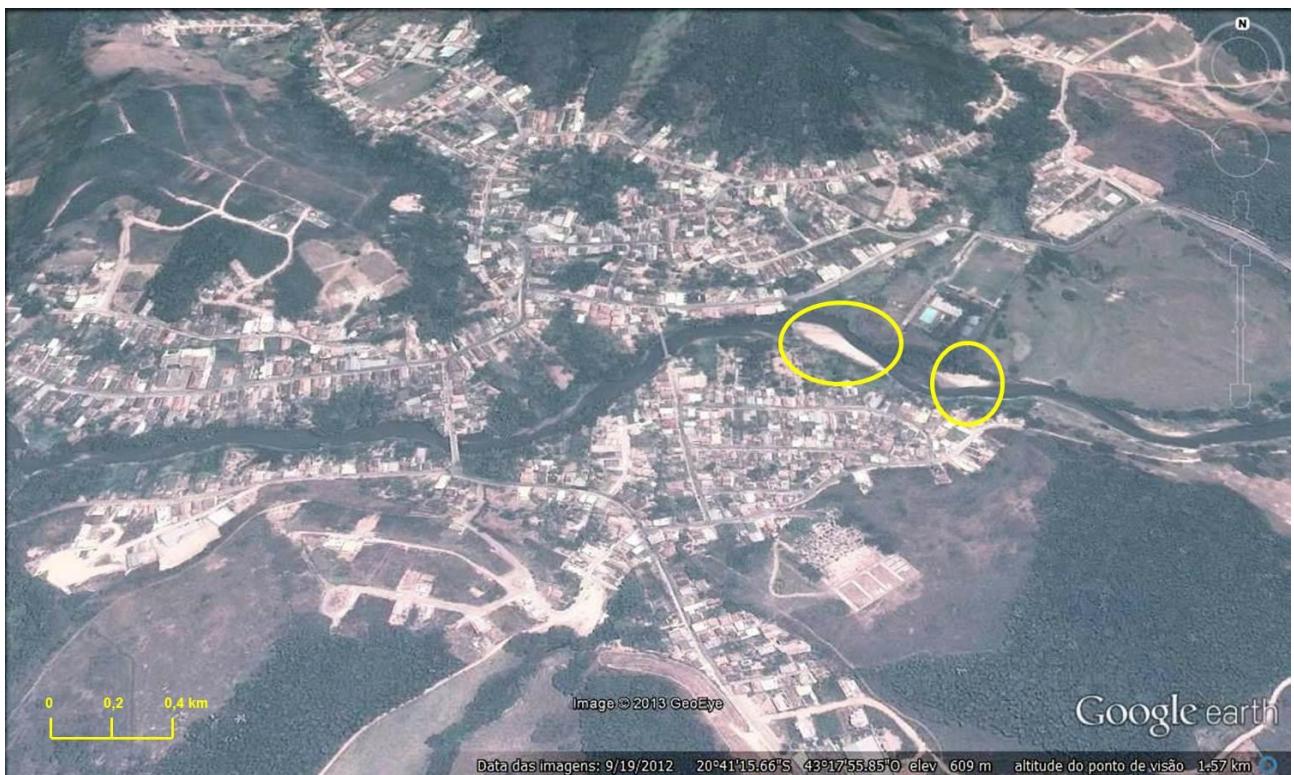


Figura 24 – Barras de canal na Altura do Bairro Cidade Nova em Piranga;

Fonte: Google Earth, 2012.



Figura 25 - Detalhe de uma das barras de canal no Bairro Cidade Nova;

Fonte: Acervo do autor, 25/07/2013.

Na ponte de arame de Venda Nova, zona rural de Presidente Bernardes, no dia 25/07/2013, a profundidade média observada foi de 0,67 metros e a largura do canal foi de 31 metros. O valor da área do canal foi de 16,62 m<sup>2</sup>. O canal é relativamente largo no local e está se alargando cada vez

mais em decorrência do processo de recuo de margens, através de bancos de solapamento presentes na margem esquerda. No dia 28/12/2013, a profundidade média encontrada foi de 1,56 metros, enquanto a largura foi de 32 metros. O valor obtido para a área do canal foi 39,94 m<sup>2</sup>. Nesse trecho, o rio Piranga apresenta um padrão bastante sinuoso, mas que não chega a ser meandrante. O leito tem muitas rugosidades como dunas, antidunas e soleiras, além de pontos de deposição de sedimentos grosseiros (areia grossa e seixos), localizados principalmente na margem direita formando barras de canal (Figura 26). Os seixos que predominam nesse local são de quartzo, e apresentam diâmetro que varia entre 1,0 e 7,0 cm.

Na ponte do centro da cidade de Porto Firme (Figura 27), observações realizadas no dia 26/07/2013 indicaram uma profundidade média de 2,49 metros e largura do canal de 43 metros. O valor da área do canal obtido no local representou 85,66 m<sup>2</sup>. Em medição realizada no dia 27/12/2013, a profundidade média verificada foi de 3,95 metros e a largura foi de 47 metros. O valor obtido para a área do canal foi referente a 148,61 m<sup>2</sup>. O rio apresenta no trecho em questão um padrão sinuoso e algumas rugosidades como soleiras, dunas e antidunas, mas não foram observadas as presenças de formas de deposição de sedimentos no canal, tais como barras de canal e barras de pontal.



Figura 26 – Detalhe de uma barra de canal em Venda Nova, Presidente Bernardes;  
Fonte: Acervo do autor, 25/07/2013.



Figura 27 - Rio Piranga na ponte do centro de Porto Firme; **A** - Foto do rio Piranga em 26/07/2013; **B** - Foto do mesmo local em 27/12/2013;

Fonte: Acervo do autor, 2013.

As observações efetuadas no dia 26/07/2013 na ponte do centro da cidade de Guaraciaba indicaram uma profundidade média de 2,94 metros e uma largura de 52 metros. O valor da área do canal foi 122,2 m<sup>2</sup>. Em medições realizadas no dia 29/12/2013, foram encontrados os valores de 3,72 metros para a profundidade média e de 56 metros para a largura. A área do canal obtida foi 166,77 m<sup>2</sup>. Assim como em Porto Firme, esse trecho do rio no centro da sede municipal de Guaraciaba também apresenta um padrão sinuoso com a presença de algumas rugosidades como soleiras, dunas e antidunas, sendo que não foram observadas formas de deposição de sedimentos no canal.

Na ponte da comunidade rural de Jurumirim, localizada no município de Guaraciaba, as observações realizadas em 26/07/2013 mostraram os valores de 2,48 metros para a profundidade média e de 37 metros para a largura. O valor obtido para a área do canal foi de 73,56 m<sup>2</sup>. As medições feitas em 29/12/2013 indicaram profundidade média de 2,94 metros e largura de 40 metros, sendo o valor da área do canal referente a 94,24 m<sup>2</sup>. Nesse trecho, o rio Piranga apresenta um padrão retilíneo em decorrência do seu encaixamento no gnaisse (Figura 28). A correnteza é forte por causa do desnível e da ausência de rugosidades como dunas, antidunas e barras de canal.



Figura 28 – Rio Piranga na ponte de Jurumirim em Guaraciaba; **A** - Foto do rio Piranga em 26/07/2013; **B** - Foto do mesmo local em 29/12/2013;

Fonte: Fotos do autor, 2013.

Em Ponte Nova, junto à ponte do bairro Rasa, as observações realizadas no dia 26/07/2013 apontaram uma profundidade média de 3,36 metros e largura do canal de 58 metros, enquanto a área do canal neste local foi de 156,02 m<sup>2</sup>. Em medições feitas no dia 29/12/2013, os valores encontrados foram de 3,44 metros para a profundidade média e de 61 metros para a largura. O valor obtido para a área do canal fluvial foi 168,12 m<sup>2</sup>. Nesse trecho o rio apresenta um padrão retilíneo, correndo encaixado em um vale rodeado por colinas baixas e com afloramento de gnaisses migmatíticos do Complexo Piedade no canal fluvial. As formas de deposição de sedimentos no canal (*point bars* e ilhas fluviais) são completamente ausentes, o que demonstra uma boa competência no transporte dos sedimentos.

Analizando a granulometria dos sedimentos obtidos através da coleta da carga de leito, é possível perceber que é alta a porcentagem de areia (89%) (Tabela 5) na ponte do bairro Cidade Nova em Piranga, fato que pode ser comprovado pela presença de várias formas de deposição como barras centrais e de pontal; e de alguns pontos de extração de areia em larga escala para fins comerciais nesse município. Na ponte de arame de Venda Nova, zona rural de Presidente Bernardes, houve predominância de silte (52%), provavelmente por se tratar de um local onde as águas são calmas. Já na ponte do centro de Porto Firme a porcentagem de areia foi alta (89%), o que também explica a grande concentração de empresas que exploram areia no município. É bom lembrar que a cidade de Porto Firme está localizada à jusante da confluência entre os rios Piranga e Xopotó, e que o Xopotó transporta uma considerável carga de sedimentos em decorrência de seu grande volume de águas. A porcentagem de areia encontrada na confluência entre os rios Piranga e Turvo, em Guaraciaba, foi também de 89%, fato que justifica a presença de muitos areais até o reservatório da

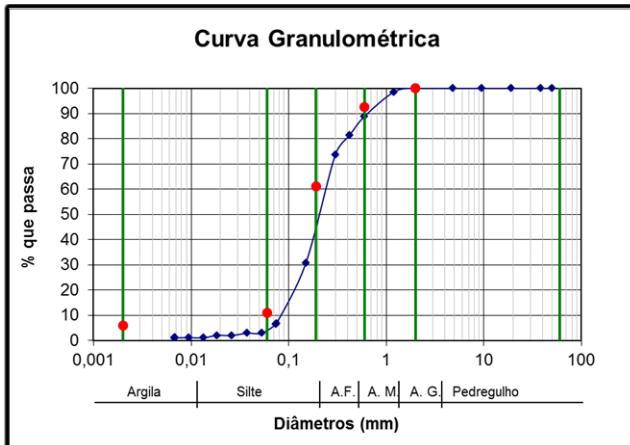
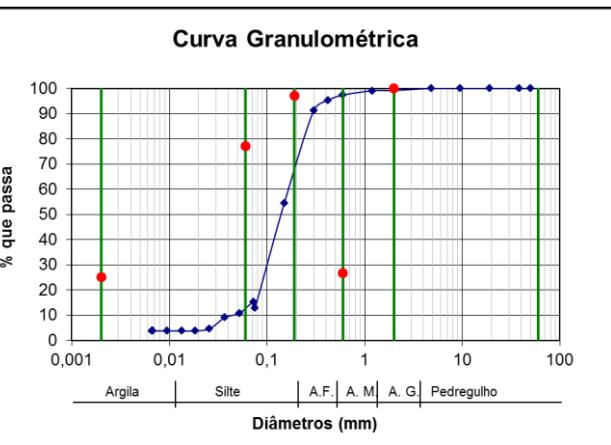
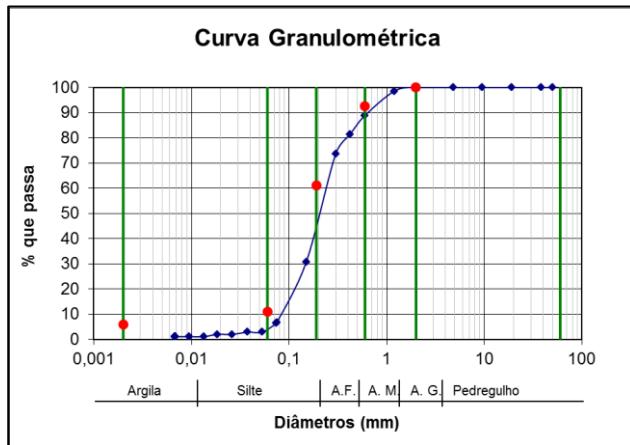
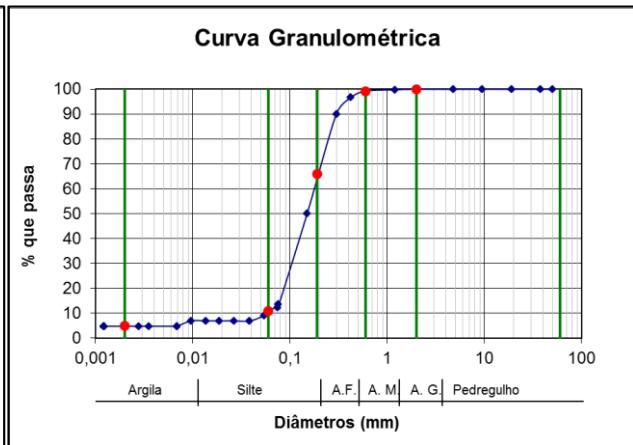
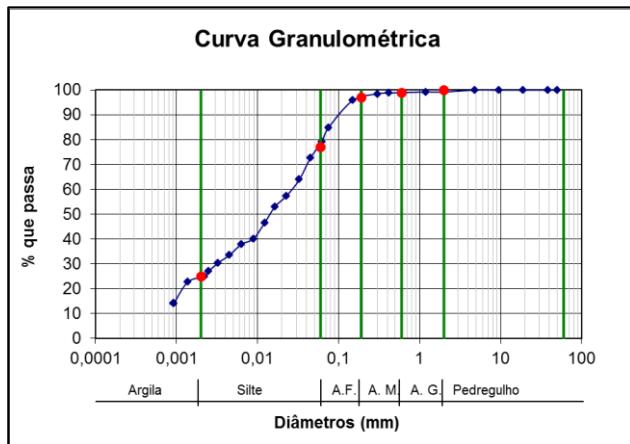
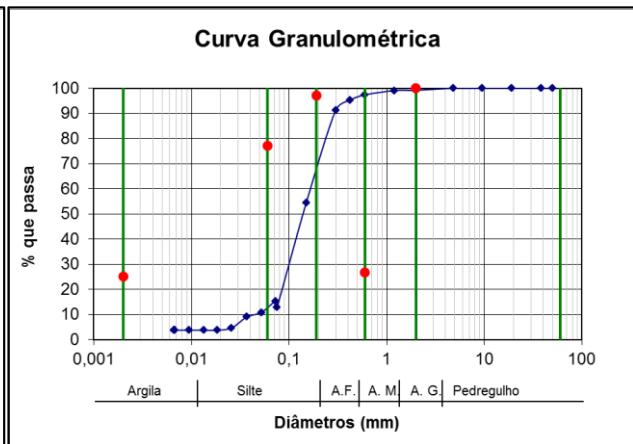
PCH Brecha. Já na ponte de Jurumirim, zona rural de Guaraciaba, houve predominância de silte (52%). A redução da fração areia nesse local pode ser explicada pela presença da barragem da PCH Brecha apenas a alguns quilômetros à montante. Na ponte da Rasa, em Ponte Nova, também houve predomínio da fração silte com 51%. As curvas granulométricas das amostras analisadas estão representadas no Gráfico 1.

Tabela 5 – Granulometria das Amostras de Carga de Leito

<b>Local</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia (%)</b>
Ponte do Bairro Cidade Nova (Piranga)	6	5	89
Ponte de Venda Nova (Presidente Bernardes)	25	52	23
Ponte do Centro (Porto Firme)	6	5	89
Confluência Piranga – Turvo (Guaraciaba)	5	6	89
Ponte de Jurumirim (Guaraciaba)	25	52	23
Ponte da Rasa (Ponte Nova)	25	51	24

Fonte: Laboratório de Geotecnia  
– Engenharia Civil (UFV).

Gráfico 1 – Curva Granulométrica dos Locais Monitorados

**Ponte do Bairro Cidade Nova****Ponte de Venda Nova****Ponte do Centro de Porto Firme****Confluência Rio Piranga – Rio Turvo****Ponte de Jurumirim****Ponte da Rasa**

Fonte: Laboratório de Geotecnia – Engenharia Civil (UFV).

Antes de iniciar a exposição dos resultados da concentração de sedimentos em suspensão é necessário frisar que a temporada chuvosa 2013/2014 foi atípica, com índice pluviométrico muito abaixo da média histórica para a região. As coletas do período chuvoso foram realizadas no final do mês de dezembro, quando ocorreram as chuvas mais significativas do período compreendido entre novembro/2013 e março/2014. Entretanto, esse fato poder ter alguma influência sobre os resultados, se comparados com anos mais chuvosos.

A concentração de sedimentos em suspensão na ponte do Bairro Cidade Nova no período seco foi 4,95 mg/L e no período chuvoso foi 51,8 mg/L, o que demonstra uma considerável variação, que pode ser atribuída ao carreamento de partículas de solo provenientes das vertentes que sofrem processos erosivos lineares e laminares. Na ponte de arame de Venda Nova, a carga de sedimentos em suspensão no período seco foi consideravelmente superior aos demais pontos de coleta, representando o valor de 18,3 mg/L. Isso pode ser explicado pelo fato do local da coleta estar situado acerca de 500 metros à jusante da confluência do ribeirão Oliveira com o rio Piranga, sendo também recorrente, o histórico de processos erosivos acelerados que ocorrem na sub-bacia do ribeirão Oliveira em decorrência da retirada de mata nativa para fabricação de carvão vegetal e do intenso uso pela pecuária. Na ponte do centro de Porto Firme a concentração de sedimentos em suspensão no período de estiagem representou 5,65 mg/L e no período chuvoso 138,7 mg/L. Essa grande variação pode ser explicada pela contribuição da carga suspensa do rio Xopotó, que é o maior e mais importante afluente do rio Piranga. A sub-bacia do rio Xopotó, a exemplo de muitas outras sub-bacias de afluentes do Piranga, apresenta problemas decorrentes da erosão proporcionada pela pecuária e cafeicultura praticadas sem manejo. Por isso, as águas avermelhadas do Xopotó sugerem elevada concentração de sedimentos em suspensão. A maior concentração de sedimentos em suspensão dentre todos os pontos amostrados foi encontrada na confluência do rio Turvo com o rio Piranga, em Guaraciaba, no período chuvoso (246,25 mg/L). Esse resultado pode ser relacionado à grande contribuição de sedimentos em suspensão do rio Turvo, que a exemplo do ribeirão Oliveira, também apresenta sérios problemas com processos erosivos em sua bacia. Além da contribuição do rio Turvo, esse local recebe também, a carga suspensa proveniente do rio Xopotó. Na ponte de Jurumirim, a carga em suspensão no período seco apresentou concentração de 6,6 mg/L e no chuvoso de 189 mg/L. Essa brusca redução no período chuvoso, entre o resultado obtido na confluência do Piranga-Turvo à montante e a ponte de Jurumirim à jusante, pode ter relação com a barragem da PCH Brecha, cujo reservatório poderia atuar como bacia de decantação dos sedimentos em suspensão. Na ponte da Rasa a concentração de sedimentos em suspensão no período de estiagem foi 5,55 mg/L e no chuvoso foi 201,35 mg/L, sendo o aumento da concentração, no período chuvoso em relação à ponte de Jurumirim, relativo à reposição de

sedimentos em suspensão pelos afluentes situados à jusante da barragem da Brecha, onde dentre eles se destaca o ribeirão Vau-Açu. Os resultados podem ser vistos na Figura 29.

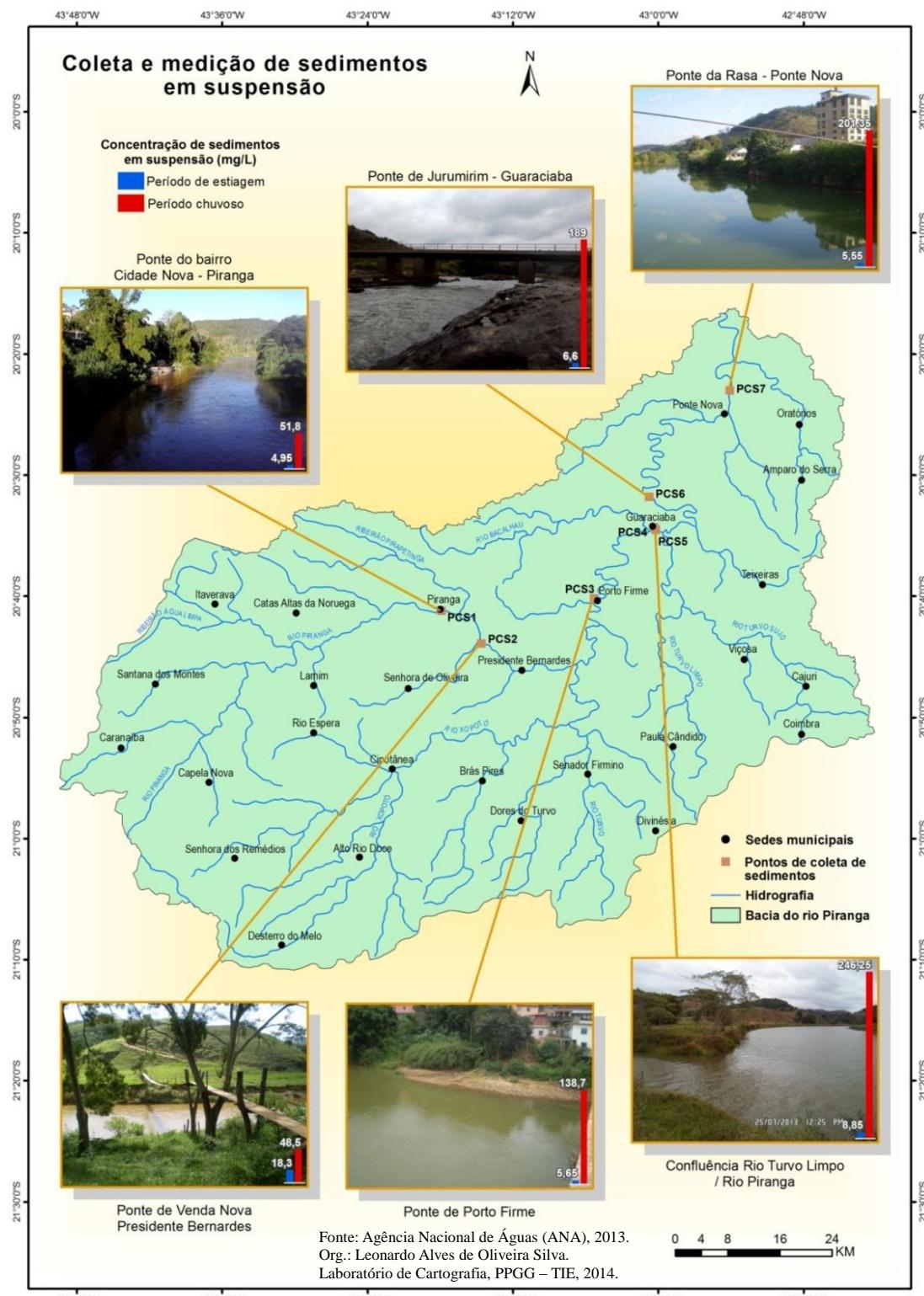
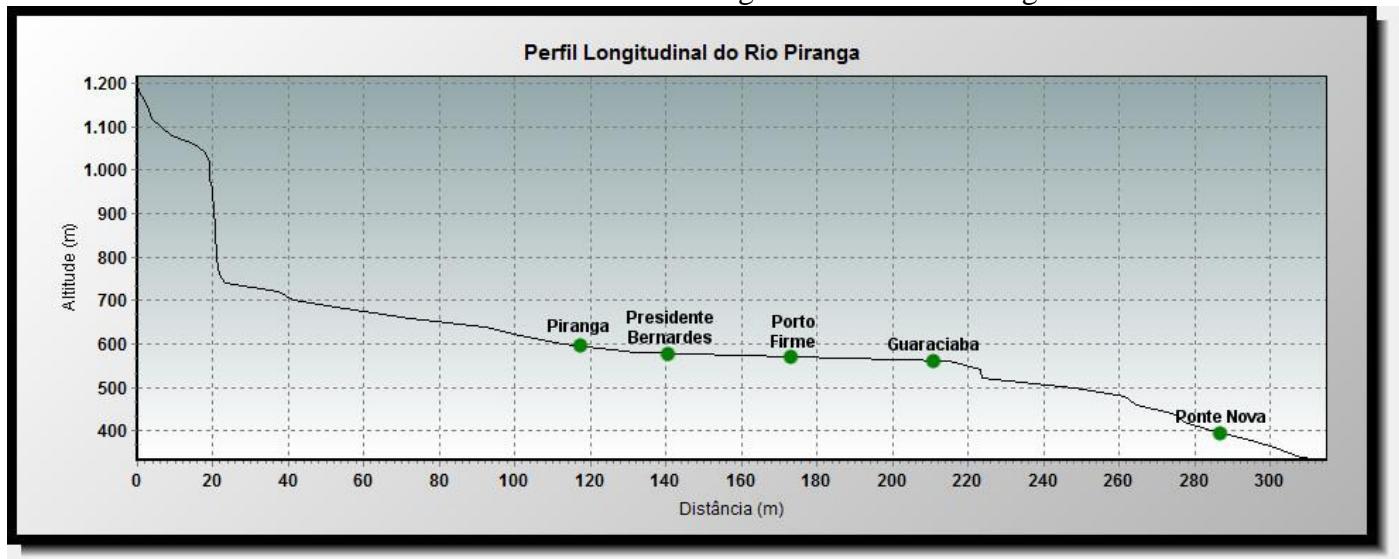


Figura 29 - Mapa com os Resultados da Concentração de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio Piranga.

O perfil ideal para um rio é côncavo para o céu, o que indica um perfil de equilíbrio segundo Christofoletti (1980, 1981), Cunha (2011) e Leopold et al (1964). O perfil longitudinal do rio Piranga representa desequilíbrio, porque o curso do rio apresenta uma acentuada declividade desde a sua nascente localizada na Serra da Trapizonga a 1250 metros de altitude até a divisa dos municípios de Carandaí, Caranaíba e Capela Nova a 750 metros de altitude (Gráfico 2). Da divisa dos três municípios até a sede municipal de Piranga há um desnível de 150 metros, sendo que nesse trecho há várias soleiras (cachoeiras e corredeiras) responsáveis pelo controle da erosão à montante e pelo entalhe do leito à jusante. Dois exemplos de soleiras localizadas no médio curso do rio Piranga são as corredeiras do Beira Rio (município de Piranga) e a de Cachoeira Torta (município de Porto Firme) apresentadas na Figura 30. Essas soleiras estão inseridas no Grupo Barbacena e no Complexo Mantiqueira, que apresentam predominância de substrato rochoso homogêneo constituído por rochas granito-gnáissicas.

Gráfico 2 – Perfil Longitudinal do Rio Piranga



Fonte: IBGE, 1976.



Figura 30 – Rupturas de declive localizadas no Médio Curso do Rio Piranga; **A** – Corredeira localizada no Beira Rio, zona rural de Piranga; **B** – Corredeira localizada em Cachoeira Torta, zona rural de Porto Firme;

Fonte: Acervo de Maurício Romualdo da Silva, 2013 e Alexandre Vidigal, 2013.

Após a sede municipal de Presidente Bernardes até a sede municipal de Guaraciaba, o rio Piranga passa a apresentar um padrão meandrante, com a presença de meandros encaixados (Figura 31) que provavelmente se desenvolveram em decorrência da existência de rochas heterogêneas como filitos, xistos, migmatitos, quartzitos e conglomerados. Outro fator que favorece o meandramento nesse trecho é a diminuição do diâmetro das partículas de sedimentos, bem como da competência do rio para transportá-las em decorrência da redução da declividade. O trecho compreendido entre a cidade de Guaraciaba e a confluência do rio Piranga com o rio do Carmo é também, caracterizado por considerável declive que pode ser percebido pelo grande número de soleiras observadas. Há indícios de que essas soleiras são estruturais, provocadas provavelmente por falhamentos. Dois exemplos de soleiras situadas no baixo rio Piranga são a corredeira de Jurumirim em Guaraciaba e a corredeira do Brito em Ponte Nova, sendo essa última utilizada para aproveitamento hidrelétrico (Figura 32).



Figura 31 – Meandros entre os municípios de Porto Firme e Guaraciaba;  
Fonte: Google Earth, 2012.

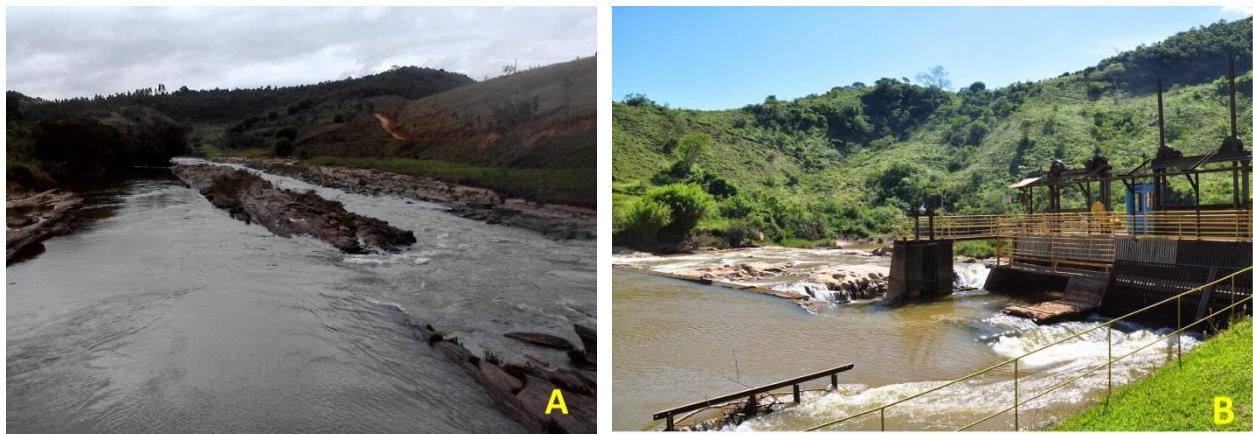


Figura 32 – Rupturas de declive localizadas no Baixo Curso do Rio Piranga; **A** – Corredeira localizada em Jurumirim, zona rural de Guaraciaba; **B** - Corredeira localizada no Brito onde pode-se ver a PCH Brito, zona rural de Ponte Nova;

Fonte: Acervo de Edson Soares Fialho, 2013 e do autor, 2013.

#### **4.3. Impactos Ambientais no Médio e Baixo Rio Piranga**

Por se tratar de uma área de ocupação antiga, o médio e baixo curso do rio Piranga apresenta diversos impactos ambientais decorrentes da pressão antrópica que originou o desmatamento, a erosão e o assoreamento do rio principal e de seus tributários.

Nos municípios de Piranga e Presidente Bernardes, localizados no médio curso, os problemas relacionados ao desmatamento e à perturbação dos leitos e margens do rio Piranga e de seus tributários começaram a surgir no início do século XVIII, quando a região atraiu muitos fãscadores à procura de ouro. Os municípios de Porto Firme, também localizado no médio curso, e de Guaraciaba e Ponte Nova, situados no baixo curso, também começaram a ter problemas com desmatamento e processos erosivos a partir desse período, denominado Ciclo do Ouro.

No século XIX, com o declínio da atividade aurífera, o Vale do rio Piranga ganha uma nova conotação com o advento da agropecuária. Surgem grandes fazendas, que promovem grandes derrubadas de mata nativa para a implantação de pastagens e culturas de café e cana-de-açúcar. As árvores derrubadas serviam de lenha para os engenhos e sedes das fazendas, e a partir do século XX, com a instalação de siderúrgicas em Minas Gerais, passaram a ser transformadas em carvão vegetal para abastecer tais indústrias (Figura 33). Os impactos decorrentes da queima de mata nativa para a formação de pastagens e para a fabricação do carvão fizeram-se sentir principalmente nos municípios de Guaraciaba, Porto Firme, Piranga e Presidente Bernardes, onde grandes voçorocas como a da (Figura 34) podem ser vistas.



Figura 33 – Carvoaria próxima à comunidade de Casa Nova,  
zona rural de Guaraciaba;  
Fonte: Acervo do autor, 29/12/2013.



Figura 34 – Voçoroca na localidade de Salto, Presidente Bernardes; **A** e **B** – Voçoroca localizada próximo ao ribeirão Oliveira, afluente pela margem direita do rio Piranga;

Fonte: Acervo do autor, 21/04/2013.

Através de observações de campo foi possível perceber que as voçorocas ocorrem principalmente em Latossolos formados sobre rochas mais frágeis como o filito (Figura 35). Nas áreas de Latossolos e Argissolos oriundos de rochas granito-gnáissicas, notam-se poucas ocorrências de voçorocas, predominando a perda de solo por erosão laminar. A pecuária extensiva é realizada tanto nas áreas de Latossolos sobre filito, quanto nas áreas de Latossolos sobre rochas granito-gnáissicas e apresenta-se como um importante fator agravante no avanço dos processos erosivos na região.

Outra atividade de grande impacto é a retirada de areia do leito do rio por meio de dragas nos municípios de Piranga, Presidente Bernardes, Porto Firme e Guaraciaba, sendo que a extração ocorre de maneira mais intensa nesses dois últimos municípios (Figura 36). Neles é grande o número de areais, que ao promoverem o esgotamento da área dragada precisam mudar de local, já que o rio não consegue carrear areia para ser depositada. Isso ocorre principalmente em períodos de vazão baixa, que reduz a competência do rio para transportar sedimentos. Foi apurado, por meio de conversa informal com caminhoneiros e donos de depósitos de materiais de construção, que durante o segundo semestre de 2013 houve uma queda brusca na oferta de areia na região em decorrência da ausência de chuvas que são necessárias para repor as quantidades de areia. Foi também levantada a informação de que um caminhão transporta 10 m<sup>3</sup> de areia e que a média de retirada de areia do rio é de 20 caminhões por dia. O contínuo aprofundamento do leito do rio causa desequilíbrio na dinâmica fluvial, porque ativa a erosão das margens no ponto de aprofundamento e a centenas de quilômetros dele, promovendo o alargamento do canal.



Figura 35 – Afloramento de Filito em Venda Nova, Presidente Bernardes;  
Fonte: Acervo do autor, 21/04/2013.

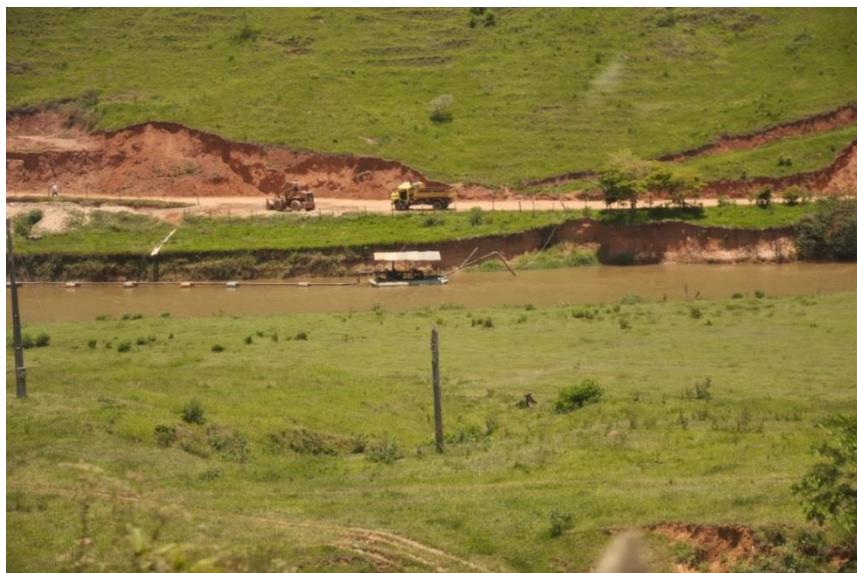


Figura 36 – Draga extraindo areia em Guaraciaba;  
Fonte: Foto de Edson Soares Fialho.

Os processos de erosão marginal são comuns ao longo do rio Piranga, e junto dos sedimentos transportados das vertentes são responsáveis pelo entulhamento do canal fluvial. Os bancos de solapamentos se situam nas margens côncavas, onde a velocidade das águas é maior, fato que contribui para a ocorrência de escorregamentos, principalmente durante o período chuvoso. Nos locais onde as margens são constituídas por materiais menos consistentes, como depósitos de areia e silte, a ocorrência de bancos de solapamento é maior. Isso pode ser observado próximo ao perímetro

urbano de Piranga e em Venda Nova, zona rural de Presidente Bernardes (Figura 37). É importante também frisar, que nesses locais as margens estão quase que completamente desprovidas de vegetação e que o seu uso pela pecuária é constante.



Figura 37 – Bancos de solapamento; **A** - Banco de solapamento em Piranga; **B** - Banco de solapamento em Venda Nova;

Fonte: Fotos do autor, 26/07/2013.

Entre as sedes municipais de Porto Firme e Ponte Nova, as margens são mais estáveis devido à presença de seixos cimentados por argila e silte, portanto não é muito comum observar bancos de solapamento nesse trecho à exceção das margens que estão imediatamente após a barragem da PCH Brecha no município de Guaraciaba, onde o entalhamento do leito após a construção da mesma reativou a erosão marginal. Essa questão será detalhada na seção destinada ao debate sobre a PCH Brecha e a dinâmica fluvial do rio Piranga.

Os processos de deposição de sedimentos no canal também são intensos no rio Piranga, principalmente no médio curso. No trecho entre as sedes municipais de Piranga e Presidente Bernardes ocorre deposição de sedimentos em forma de barra de pontal (*point bar*), que se acumula na margem convexa do rio e de barras centrais (Figura 38). Essas duas formas de deposição, ocorrem em virtude de uma baixa competência do rio em transportar sedimentos grosseiros (areia e seixos) que são depositados junto à margem ou no centro do canal.



Figura 38 – Formas de deposição de sedimentos no rio Piranga; **A** - Barras centrais ao lado da BR – 482 em Piranga; **B** - Barra de pontal (*point bar*) próximo à ponte de arame de Venda Nova em Presidente Bernardes.

Fonte: Acervo de Maurício Romualdo da Silva, set./2012 e do autor, 26/07/2013.

No baixo curso do rio Piranga também há formas de deposição, principalmente no reservatório da PCH Brecha e à montante do mesmo, com predominância de grandes barras centrais. Essa questão também será abordada na seção destinada às discussões sobre a PCH Brecha.

O rio Piranga apresenta muitos trechos assoreados, desse modo em períodos chuvosos, a calha fluvial não suporta o volume de água e acaba transbordando e inundando as várzeas, que se encontram bastante ocupadas para uso residencial e econômico. A próxima seção irá discutir os fatores que levam à ocorrência das enchentes e as repercussões que as mesmas têm causado no Vale do Piranga.

#### 4.4. Interpretação das Enchentes do Rio Piranga

As enchentes ocorrem devido à atuação e dinâmica dos sistemas naturais sobre a crosta terrestre. Dentre os principais fatores que favorecem a ocorrência das enchentes estão os movimentos atmosféricos e os processos geomorfológicos, que atingem especialmente áreas urbanas situadas às margens de rios. Com a expansão da urbanização, nota-se um aumento da frequência e da intensidade das enchentes em decorrência da remoção da vegetação original, do inadequado uso do solo, da ocupação de áreas de risco, como os fundos de vale, e da impermeabilização da superfície urbana. Todos estes fatores, associados ao acontecimento das chuvas intensas contribuem para o aumento do pico de vazão dos cursos de água.

No Vale do rio Piranga, as enchentes ocorrem tanto nas zonas rurais quanto nas sedes municipais, sendo que nessas últimas são computados os maiores prejuízos. Os relatos de jornais, revistas e livros apontam cinco grandes enchentes que afetaram todos os municípios do vale, sendo

elas referentes aos anos de 1951, 1979, 1997, 2008 e 2012. Sobre a enchente de 1951 existem poucos relatos escritos, sendo os mesmos referentes somente ao município de Ponte Nova, entretanto, por meio de relatos informais sabe-se que essa enchente também atingiu os demais municípios do vale.

Nascimento (2013) fez um estudo sobre a variabilidade da precipitação na unidade DO1 e seu impacto sobre a ocorrência de enchentes nos municípios de Piranga, Presidente Bernardes, Porto Firme, Guaraciaba e Ponte Nova com ênfase nas grandes enchentes de 1979, 1997, 2008 e 2012. De acordo com a análise do mapa de média histórica de precipitação, elaborado pela autora, as nascentes dos rios Piranga e Xopotó apresentaram os maiores índices pluviométricos (Figura 39).

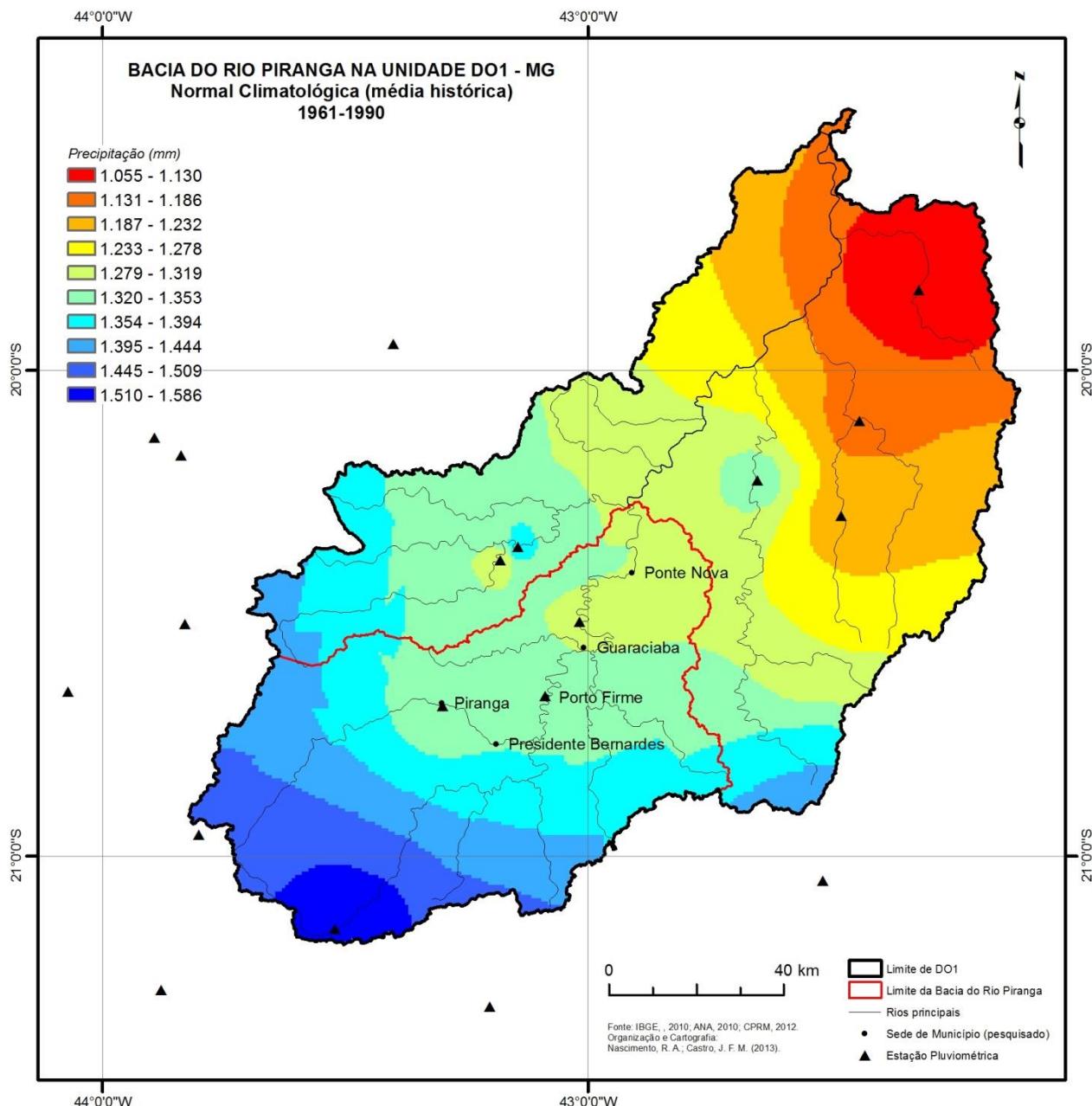


Figura 39 – Média histórica de precipitação na Bacia do Rio Piranga e Unidade DO1;

Fonte: Nascimento, 2013, p. 91.

Ainda segundo Nascimento (2013), as inundações de janeiro e fevereiro de 1979 foram provocadas por um volume de precipitação bastante elevado, que foi distribuído ao longo de vinte e quatro dias. Em janeiro de 1997 a precipitação concentrou-se em apenas oito dias, e a cota fluviométrica superou a de 1979. Já em dezembro de 2008, as chuvas concentraram-se em nove dias, com destaque para os dias 16 e 17 em que ocorreram as maiores precipitações. Em janeiro de 2012, as chuvas concentraram-se em apenas três dias.

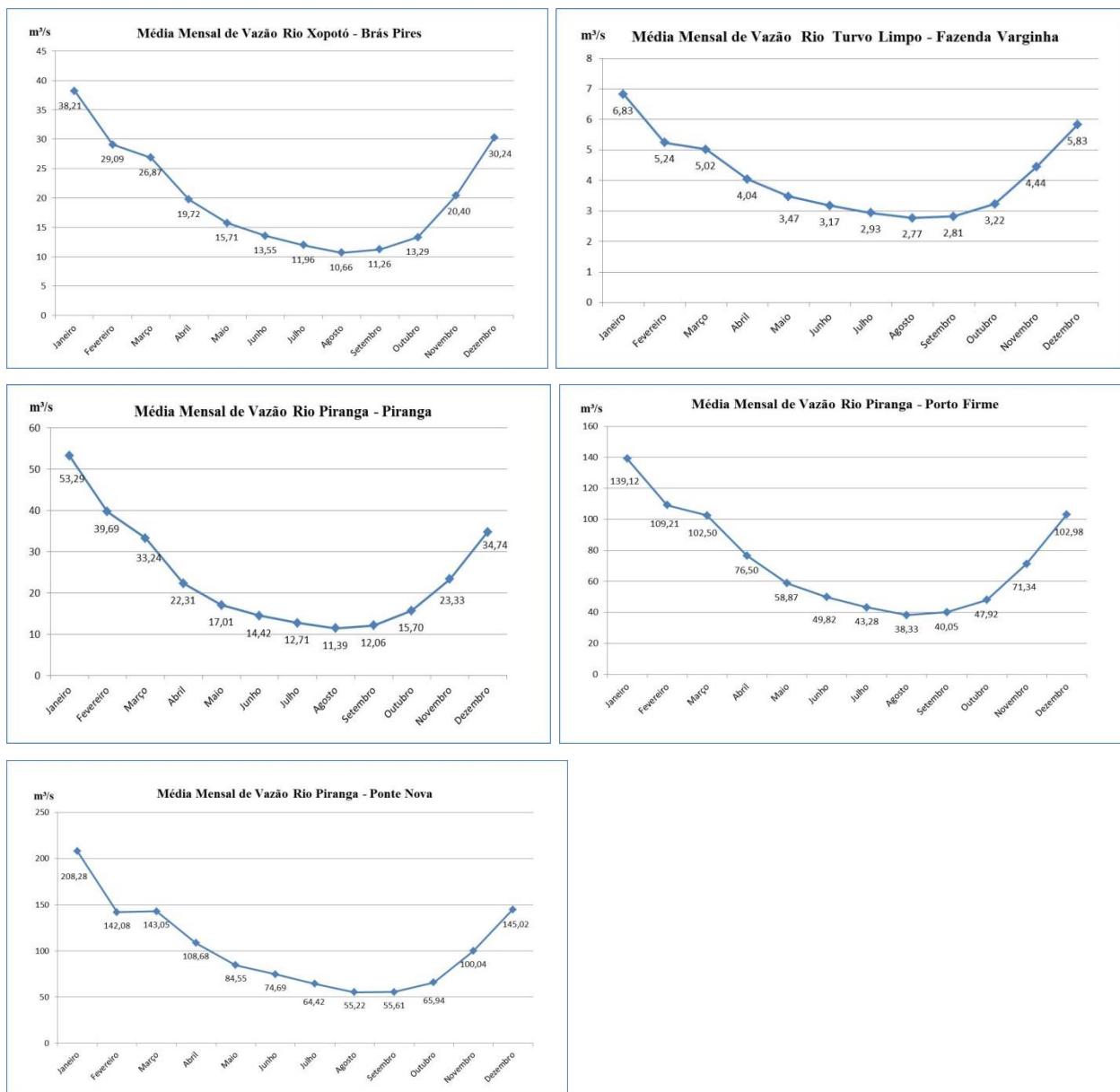
#### **4.4.1. Distribuição das Chuvas e Relação com as Vazões e Cotas Fluviométricas Durante os Eventos de Enchentes**

Os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março são os que apresentam as maiores médias mensais de vazões (Gráfico 3), enquanto junho, julho, agosto e setembro apresentam as menores. Estas médias de vazões fluviométricas correspondem aos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

As estações fluviométricas localizadas nos municípios de Ponte Nova e Porto Firme, ambas no rio Piranga, apresentam as maiores médias, sendo que em Ponte Nova a vazão média varia entre 55,22 e 208,28 m<sup>3</sup>/s e em Porto Firme entre 38,33 e 139,12 m<sup>3</sup>/s. Estas duas estações apresentam vazões consideráveis devido ao fato das mesmas estarem situadas num trecho à jusante da confluência do rio Piranga com importantes afluentes como o rio Pirapetinga, ribeirão Oliveira e o rio Xopotó, sendo esse último o mais caudaloso dos tributários do Piranga. Já a estação fluviométrica de Piranga, situada no médio curso do rio de mesmo nome, registra médias de vazão que variam entre 11,39 e 53,29 m<sup>3</sup>/s, sendo essas médias as mais baixas dentre as três estações fluviométricas do rio Piranga analisadas. A estação de Brás Pires, localizada no rio Xopotó, principal afluente do rio Piranga, apresenta médias de vazão entre 10,66 e 38,21 m<sup>3</sup>/s, enquanto a estação fluviométrica da Fazenda Varginha, situada no rio Turvo Limpo em Porto Firme, outro importante afluente do Piranga, registra médias de vazão que variam entre 2,77 e 6,83 m<sup>3</sup>/s.

As vazões, assim como as cotas fluviométricas, respondem rapidamente à intensidade das precipitações devido a uma série de fatores físico-naturais da bacia hidrográfica e de intervenções antrópicas na mesma. Desse modo, é importante se ter o conhecimento das médias de vazão para identificar os pontos mais caudalosos do rio Piranga e de seus principais afluentes, que em períodos de cheias, podem causar maiores repercussões. Entretanto, para o estudo dos eventos de enchentes, é melhor fazer a relação entre as precipitações e as cotas fluviométricas porque o aspecto visual é mais nítido do que a relação entre precipitações e vazões. Diante disso, será abordada ao longo dessa seção a relação precipitações x cotas fluviométricas para explicar a gênese das maiores enchentes que já atingiram o vale do Piranga.

Gráfico 3 – Média mensal de vazão



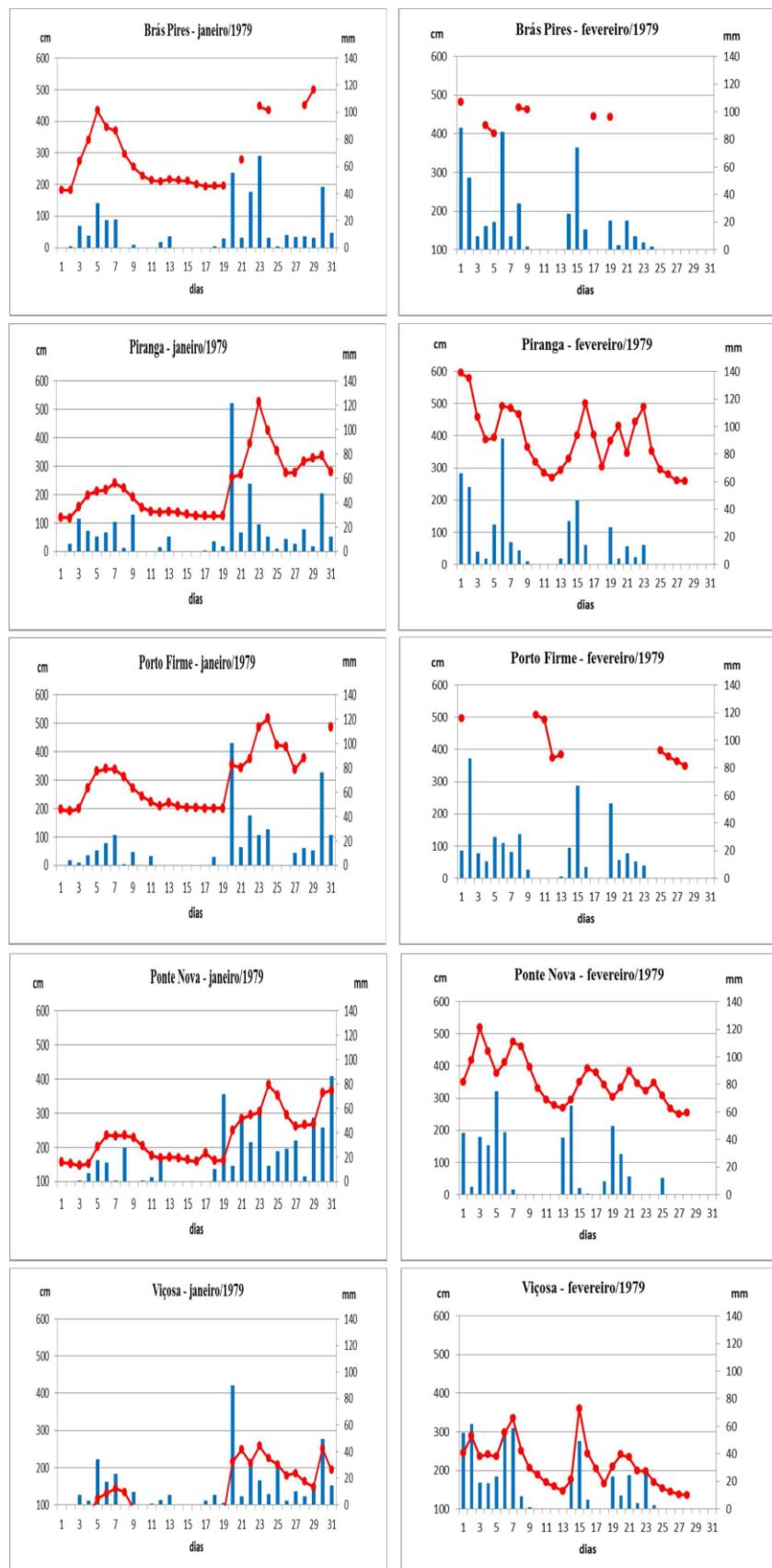
Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS /COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS, 2013.

Entre janeiro e fevereiro de 1979 (Gráfico 4) foram registrados 883,1 mm de chuva, o que equivale a 47,15% do total anual (1872,9 mm) em Brás Pires. O registro de cotas fluviométricas apresentou falhas nos dias 20, 22, 25, 26, 27, 30 e 31 de janeiro, e em fevereiro os dados foram obtidos apenas para sete dias, o que prejudicou a correlação entre a precipitação e a cota fluviométrica no período em questão.

Em Piranga, entre os meses de janeiro e fevereiro, choveu 935,8 mm, equivalentes a 49,85% do total anual (1876,9 mm). As maiores precipitações registradas foram 121,4 e 91,1 mm nos dias 20/01 e 06/02, respectivamente, já as máximas cotas fluviométricas do período foram 525, 596, 579 e 501 cm nos dias 23/01, 01/02, 02/02 e 16/02, respectivamente.

No município de Porto Firme o acumulado no período em questão foi de 899,9 mm o que equivale a 49,69% do total anual. Os picos de precipitação foram de 100,4 e 87 mm nos dias 20/01 e 02/02, e a cota fluviométrica máxima observada em janeiro foi 517 cm no dia 24, entretanto nos dias 29 e 30 não houve registro. O mês de fevereiro apresentou muitas falhas, sendo observados somente nove registros.

Gráfico 4 – Cota Fluviométrica e Precipitação em Janeiro e Fevereiro/1979



Fonte: Nascimento, 2013, p. 98.

Os meses de janeiro e fevereiro foram responsáveis por 49,66% do total anual de precipitação (2201,2 mm) em Ponte Nova. A estação de Ponte Nova registrou acumulados de precipitação de 86,6 e 74,8 mm nos dias 31/01 e 05/02, e as cotas de 383 cm no dia 24/01, 519, 475 e 445 cm nos dias 03, 07 e 04 de fevereiro, respectivamente.

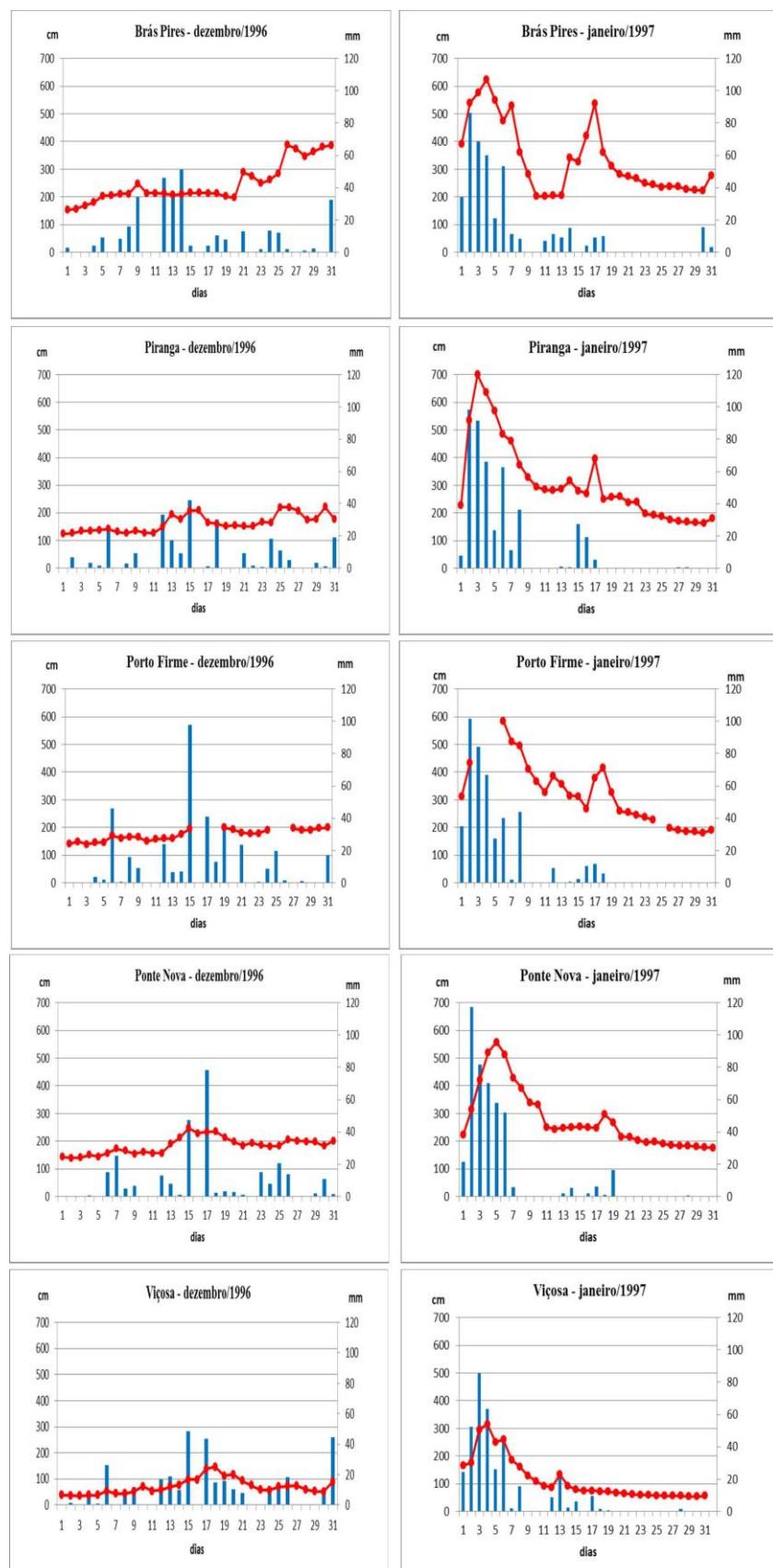
Em Viçosa, janeiro e fevereiro representaram 43,13% do total anual (2026,8 mm). As precipitações máximas observadas nestes dois meses foram de 90,0; 61,6 e 58,6mm nos dias 20/01, 02/02 e 07/02, respectivamente e as cotas 298, 335 e 360 cm nos dias 06, 07 e 15 de fevereiro.

Comparando os meses de dezembro de 1996 e de janeiro de 1997 (Gráfico 5) com os meses de janeiro e fevereiro de 1979, é possível observar que embora tenham sido chuvosos, foram registradas precipitações totais inferiores à precipitação de janeiro e fevereiro de 1979 nas cinco estações. Os registros de precipitação acumulada foram de 740,3; 699,1; 819,2; 722,9; 698,2 mm nas estações de Brás Pires, Piranga, Porto Firme, Ponte Nova e Viçosa.

Em dezembro de 1996, os picos de precipitação variaram entre 48,6 e 98,0 mm em Viçosa e Porto Firme, respectivamente. Entre o dia 31 de dezembro de 1996 e o dia 08 de janeiro de 1997, foram registrados altos acumulados de precipitação em Viçosa (85,4 mm); Brás Pires (86,3 mm); Piranga (98,3 mm), Porto Firme (101,6 mm) e Ponte Nova (117,5 mm), estes máximos foram observados no dia 02, com exceção de Viçosa, onde o registro ocorreu no dia 03.

As cotas fluviométricas apresentaram falhas entre os dias 03 e 05 na estação Porto Firme, o que indica que a cota nestes dias tenha sido superior a 585 cm, registrada no dia 06. As cotas de máxima elevação foram registradas em Viçosa (315 cm, 04/01), Ponte Nova (557 cm, 05/01), Brás Pires (624 cm, 04/01) e Piranga (700 cm, 03/01).

Gráfico 5 – Cota Fluviométrica e Precipitação em Dezembro/1996 e Janeiro/1997



Fonte: Nascimento, 2013, p. 100.

O mês de dezembro de 2008 se destacou como um dos meses mais chuvosos na Bacia do Rio Piranga, registrando 487,5 mm em Brás Pires; 528,7 mm em Piranga; 561 mm em Porto Firme; 428,4 mm em Ponte Nova; 547,9 mm em Viçosa. As chuvas concentraram-se entre os dias 12 a 20, variando de 55,57% a 68,79% do total mensal (Gráfico 6).

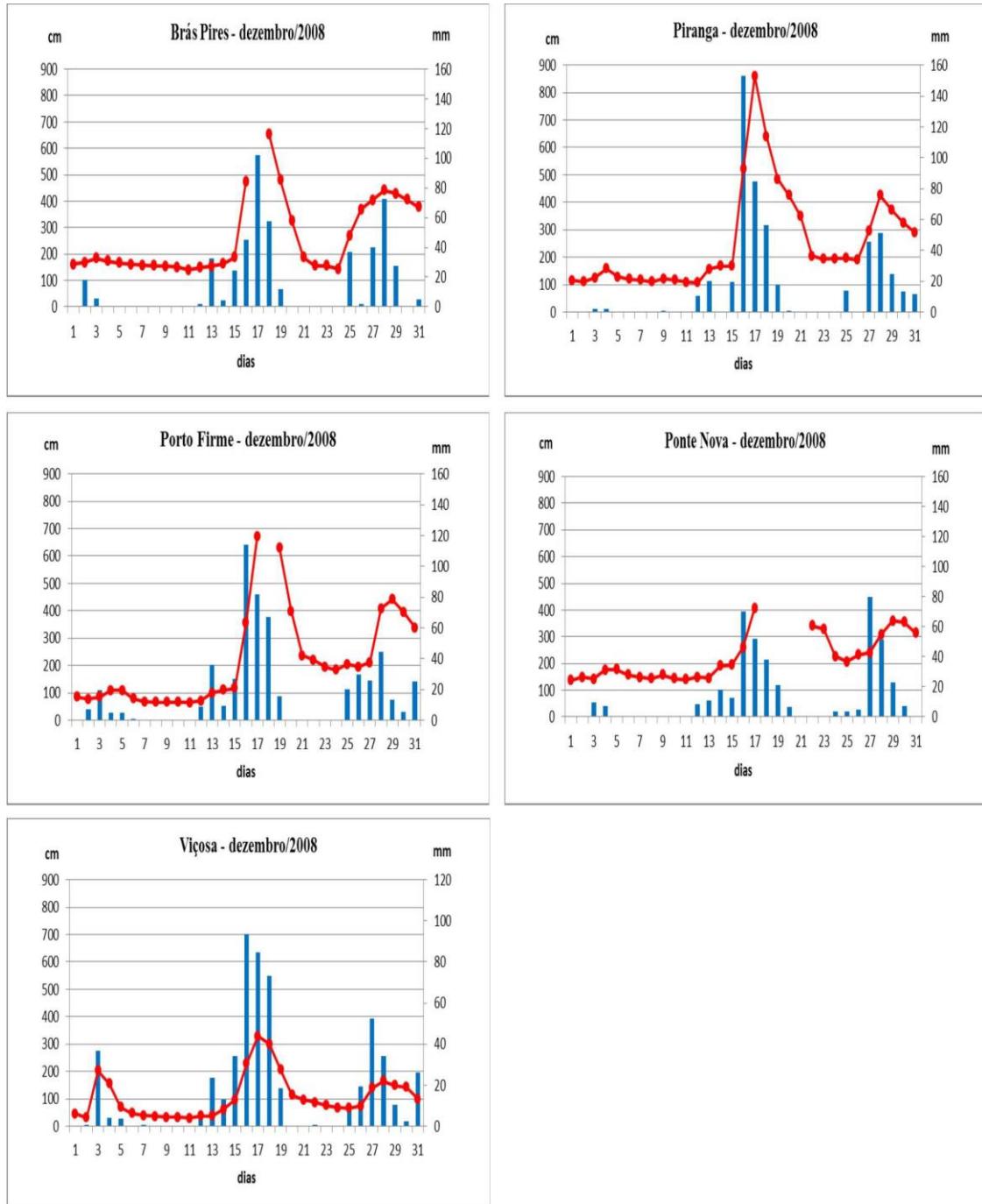
Os máximos de precipitação registrados foram: 70 mm em Ponte Nova; 93,4 mm em Viçosa; 102,0 mm em Brás Pires; 114,0 mm em Porto Firme e 152,8 mm em Piranga. Todos os registros ocorreram no dia 16, com exceção de Brás Pires, onde o registro ocorreu no dia 17.

Dentre todas as estações, somente as dos municípios de Piranga e Viçosa não apresentaram falhas nas cotas fluviométricas, nestas estações as cotas máximas foram 860 e 328 cm, respectivamente, no dia 17. Brás Pires (17/12), Porto Firme (18/12) e Ponte Nova (18 a 21/12) apresentaram falhas no período de maior precipitação, desse modo não foi possível obter com precisão a cota máxima nestas estações.

Os meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012 também se destacaram pelo elevado índice de pluviosidade, foram registrados 989,8 mm em Brás Pires; 904,3 mm em Piranga; 794,1 mm em Porto Firme; 662,0 mm em Ponte Nova e 825,0 mm em Viçosa. A chuva concentrou-se entre os dias de 27/12 a 12/01, sendo que os maiores acumulados pluviométricos ocorreram nos primeiros dias de janeiro.

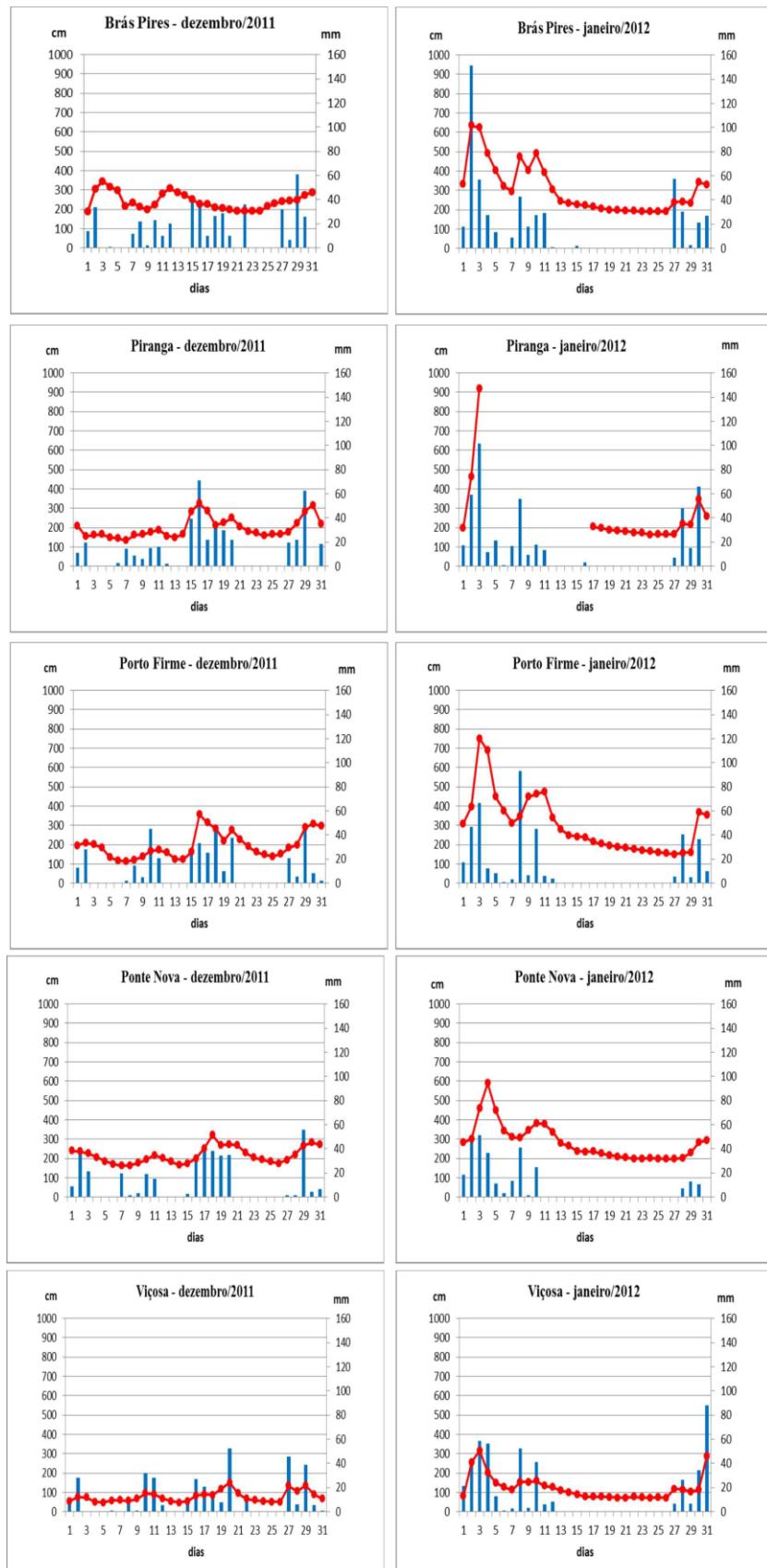
Nos doze primeiros dias de janeiro de 2012 foram registrados 394,9; 324,6; 310,0; 247,4 e 306,5 mm de chuva. A precipitação nas estações monitoradas registrou 151,4 mm em Brás Pires; 101,3 mm em Piranga; 93,3 mm em Porto Firme; 51,5 mm em Ponte Nova e 58,7 mm em Viçosa. Já as cotas fluviométricas registradas no período em questão foram: 635 cm em Brás Pires, 920 cm em Piranga, 750 cm em Porto Firme, 590 cm em Ponte Nova e 315 cm em Viçosa (Gráfico 7).

Gráfico 6 – Cota Fluviométrica e Precipitação em Dezembro/2008



Fonte: Nascimento, 2013, p. 101.

Gráfico 7 – Cota Fluviométrica e Precipitação em Dezembro/2011 e Janeiro/2012



Fonte: Nascimento, 2013, p. 103.

Nos três primeiros dias de janeiro choveram 42,30%, 38,35%, 32,02%, 41,54% e 26,35% do total mensal. A concentração das chuvas ocorreu em apenas três dias, e a resposta da cota fluviométrica foi imediata, com máximo registrado em 03/01, com exceção de Ponte Nova que foi no dia 04/01. Desse modo, comparando-se janeiro de 2012 com os demais anos, é possível perceber que a concentração pluvial neste ano foi superior aos anteriores.

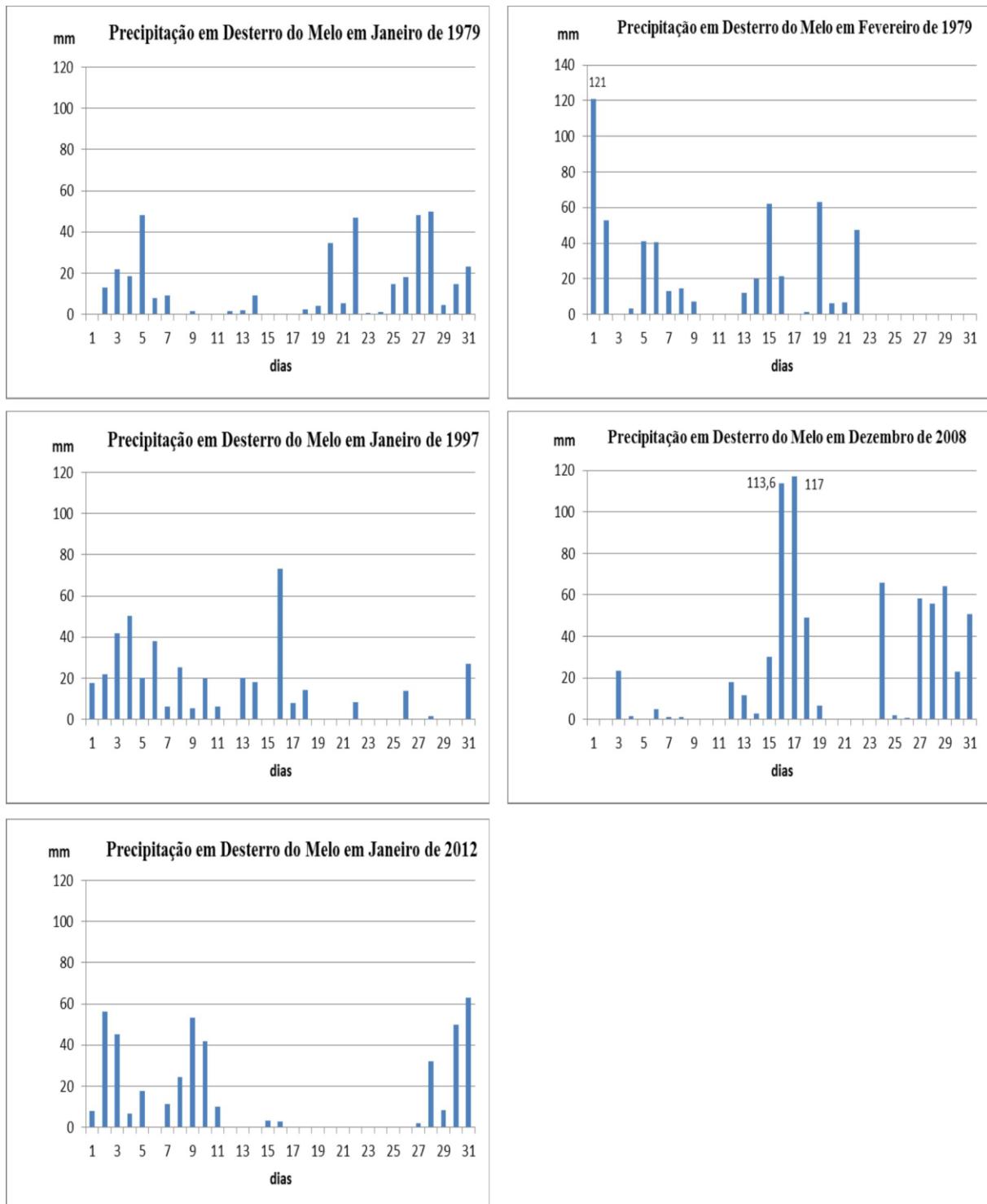
Nascimento (2013, p. 102) aponta que as maiores precipitações registradas no período das inundações foram: Brás Pires 102,0 e 151,4 mm em 17/12/2008 e 02/01/2012; Piranga 101,3; 121,4; 152,8 mm em 03/01/2012, 20/01/1979 e 16/12/2008; Porto Firme 100,4; 101,6 e 114,0 mm em 20/01/1979, 02/01/1997 e 16/12/2008; Ponte Nova 86,6 e 117,5 mm em 31/01/1979 e 02/01/1997; Viçosa 90,0 e 93,4 mm em 20/01/1979 e 16/12/2008. Com exceção da estação de Viçosa, as demais apresentaram valores superiores a 100 mm em 24 horas.

As cotas máximas registradas nas estações foram: 655 cm em 18/12/2008, 750 cm 03/01/2012 e 590 cm em 04/01/2012 em Brás Pires, Porto Firme e Ponte Nova, entretanto, as estações possuem falhas em 1979, 2008 e 2012, podendo as cotas fluviométricas terem sido superiores a estas. A estação de Piranga registrou as cotas máximas de 920 cm em 03/01/2012, 860 cm em 17/12/2008, 700 cm em 03/01/1997, o que revela que a elevação do rio Piranga é maior neste município que em Porto Firme e Ponte Nova, podendo estar relacionado à grande quantidade de sedimentos presentes na calha fluvial.

As cotas fluviométricas acima da média, observadas em todas as estações, demonstram que a elevação do nível do rio é ocasionada pela precipitação, sendo que essa resposta ocorre de forma muito rápida em todo o trecho estudado do rio Piranga.

Durante os meses de janeiro e fevereiro de 1979 choveu 934,2 mm, equivalente a 48,16% do total anual no município de Desterro do Melo (Gráfico 8), em vinte quatro dias choveu 560,8 mm, sendo que a precipitação registrada no dia 01/02 foi 121 mm. Nos primeiros oito dias de janeiro de 1997, choveu 275,1 mm o que corresponde a 62,98% do total mensal.

Gráfico 8 – Precipitação em Desterro do Melo



Fonte: Nascimento, 2013, p. 105.

Em dezembro de 2008 choveu 702,3 mm (31,56% do total anual), sendo que entre os dias 12 e 19 foram 348,7 mm (49,65% do total mensal). Nos dias 16 e 17 a precipitação registrada foi 113,6 e 117 mm, respectivamente. Já nos doze primeiros dias de janeiro de 2012, choveu 275,1 mm (62,98% do total mensal), nestes dias a precipitação máxima registrada foi 56,1 mm no dia 02.

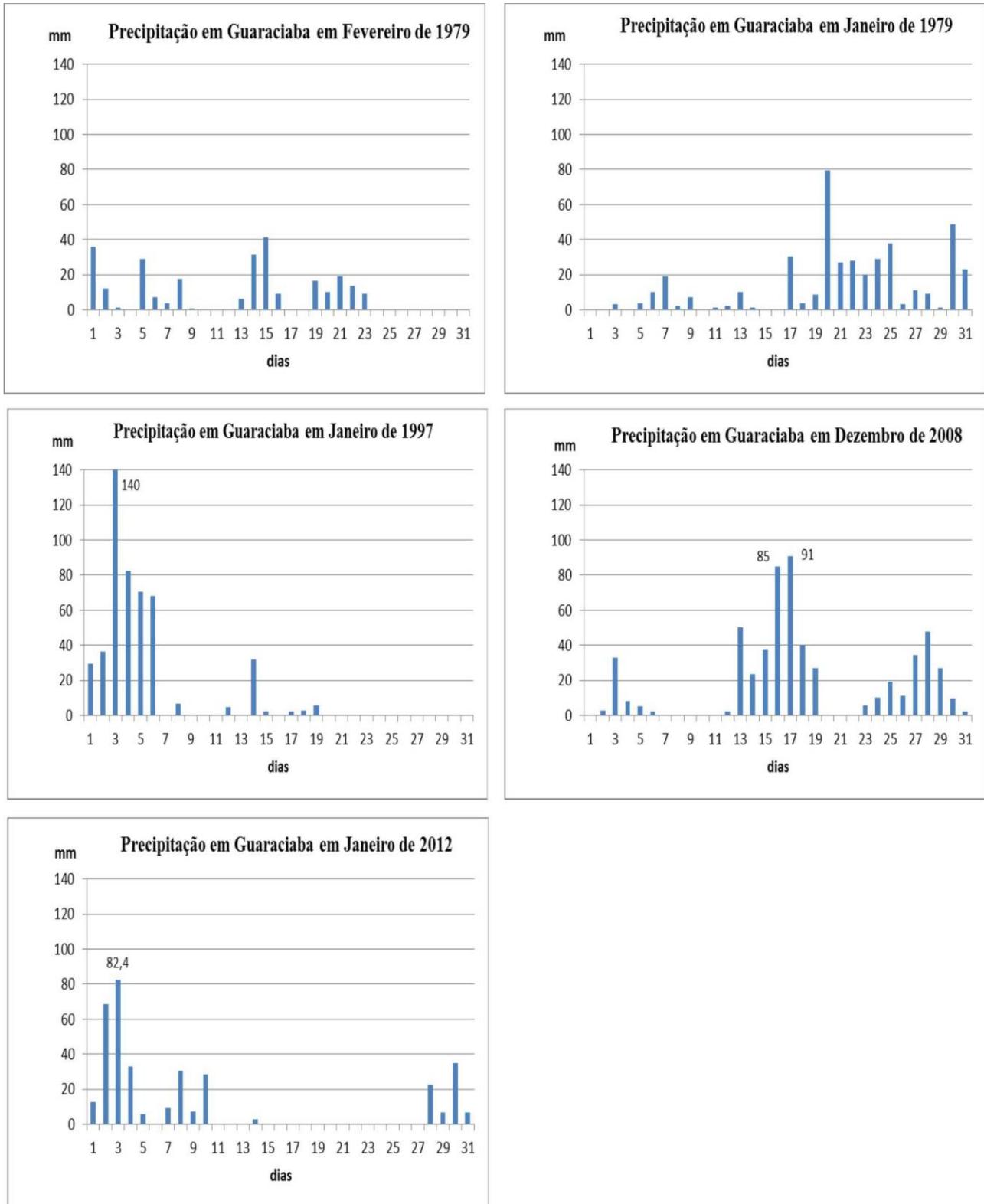
Analisando o período de inundações, é possível perceber que nos eventos de 1979 e 2008, a precipitação esteve muito concentrada, entretanto, em 1979, a precipitação se distribuiu por vinte e quatro dias, enquanto em 2008 a precipitação esteve concentrada em oito dias, sendo que nos dias 16/12/2008 e 17/12/2008 ocorreram os maiores acumulados, totalizando 230,6 mm. Desse modo, é possível deduzir que a precipitação de dezembro de 2008 foi maior e mais concentrada na cabeceira do rio Xopotó em comparação aos demais períodos considerados.

No município de Guaraciaba, nos vinte e quatro dias de chuvas consecutivas que ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro de 1979, foram registrados 469,7 mm, o que equivale a 68,18% do total do período em questão (688,9 mm). As maiores precipitações foram 79,4 e 41,4 mm, observadas nos dias 20/01 e 15/02. Durante os oito primeiros dias de janeiro de 1997, choveu 484,6 mm (89,66% total mensal), dos quais 140 mm caíram no dia 03.

No período que comprehende os dias 12 a 19 de dezembro de 2008 choveram 356,7 mm (61,94% do total mensal de 575,8 mm). Nestes dias a maior precipitação registrada foi 91 mm no dia 17. Nos primeiros cinco dias de janeiro de 2012, caíram 202,1 mm, equivalentes a 57,56% do total mensal, sendo a maior precipitação os 82,4 mm registrados no dia 03.

Analizando a estação Guaraciaba, é possível perceber que as chuvas de janeiro de 1997 foram mais concentradas e de elevado volume, pois em apenas oito dias choveu quase 90% do total previsto para o mês (Gráfico 9). Considerando-se a precipitação acumulada no mês e a normal climatológica para os meses de janeiro, fevereiro e dezembro (meses que ocorreram as inundações presentes no levantamento) percebeu-se que a precipitação acumulada foi superior à normal em todas as estações nos eventos de inundações (janeiro e fevereiro de 1979, janeiro de 1997, dezembro de 2008 e janeiro de 2012).

Gráfico 9 – Precipitação em Guaraciaba



Fonte: Nascimento, 2013, p. 107.

#### **4.4.2. Estimativa do Intervalo de Recorrência para as Máximas Enchentes no Vale do Rio Piranga**

Diante do exposto no subitem anterior, é possível perceber que o índice pluviométrico é historicamente elevado nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro na Bacia do Rio Piranga, o que provoca enchentes periódicas. Tais enchentes promovem, na maioria das vezes, grande destruição e prejuízos socioeconômicos, sobretudo nos municípios que tem suas sedes atravessadas pelo rio Piranga. Desse modo, o conhecimento de um intervalo de recorrência de uma grande enchente para outra se faz de suma importância, principalmente para o poder público, que pode através deste promover a execução de obras preventivas e de políticas voltadas ao controle de ocupação de áreas de risco.

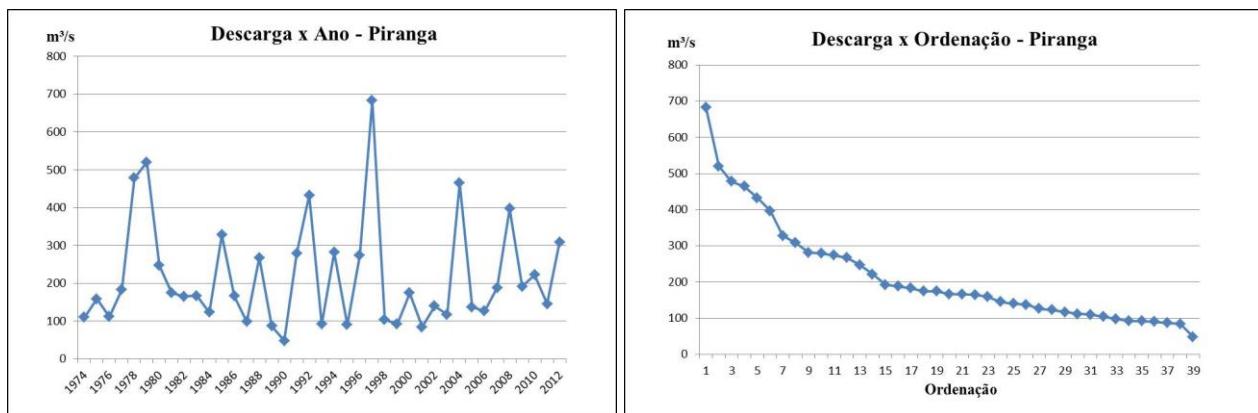
Na série de trinta e nove anos, considerada para o cálculo do intervalo de recorrência de enchentes utilizando dados de vazões para as estações de Piranga, Porto Firme e Ponte Nova é possível se ter uma noção de quando uma enchente de grande magnitude poderá voltar a atingir algum dos municípios em questão. Em Piranga, a máxima vazão registrada na série foi de 683 m<sup>3</sup>/s na enchente de 1997, sendo que o intervalo de recorrência para essa enchente é de 39 anos. No evento de 1979, foi registrada a segunda maior vazão da série com valor igual a 519,8 m<sup>3</sup>/s e intervalo de recorrência de 19,5 anos. Seguindo a ordem, em 3º lugar aparece a vazão máxima anual de 478,4 m<sup>3</sup>/s referente ao ano de 1978 e que apresenta recorrência de 13 anos. Em 4º lugar, no ano de 2004, foi observada vazão máxima de 464,8 m<sup>3</sup>/s com recorrência de 9,75 anos e em 5º verifica-se a vazão máxima anual de 432,9 m<sup>3</sup>/s registrada em 1992 com intervalo de recorrência de 7,8 anos. É interessante frisar, que essas vazões máximas registradas nos anos de 1978, 1992 e 2004 não provocaram enchentes de grande repercussão na mídia. As enchentes de 2008 e 2012, que promoveram muitos prejuízos em Piranga, aparecem em 6º e 8º lugares com vazão máxima de 396,8 m<sup>3</sup>/s e recorrência de 6,5 anos; e 308,6 m<sup>3</sup>/s e 4,87 anos, respectivamente. Os débitos máximos anuais e o intervalo de recorrência para a estação de Piranga estão discriminados na Tabela 6.

Tabela 6 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Piranga – MG (1974 – 2012)

<b>Ano</b>	<b>Descarga Máx.</b>	<b>Ordenação</b>	<b>Descarga</b>	<b>Intervalo Recorr.</b>
1974	110	1	683	39,00
1975	159	2	519,8	19,50
1976	111,6	3	478,4	13,00
1977	183	4	464,8	9,75
1978	478,4	5	432,9	7,80
1979	519,8	6	396,8	6,50
1980	247	7	328,2	5,57
1981	174	8	308,6	4,87
1982	165	9	281,2	4,33
1983	167	10	278,9	3,90
1984	122,8	11	273,6	3,54
1985	328,2	12	267,2	3,25
1986	166	13	247	3,00
1987	98,1	14	221,8	2,78
1988	267,2	15	192	2,60
1989	86,4	16	188,3	2,43
1990	48,3	17	183	2,29
1991	278,9	18	174	2,16
1992	432,9	19	174	2,05
1993	92	20	167	1,95
1994	281,2	21	166	1,85
1995	89,9	22	165	1,77
1996	273,6	23	159	1,69
1997	683	24	145	1,62
1998	104,1	25	139,8	1,56
1999	92	26	137	1,50
2000	174	27	126,2	1,44
2001	84,4	28	122,8	1,39
2002	139,8	29	117	1,34
2003	117	30	111,6	1,30
2004	464,8	31	110	1,25
2005	137	32	104,1	1,21
2006	126,2	33	98,1	1,18
2007	188,3	34	92	1,14
2008	396,8	35	92	1,11
2009	192	36	89,9	1,08
2010	221,8	37	86,4	1,05
2011	145	38	84,4	1,02
2012	308,6	39	48,3	1,00

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2013).

Gráfico 10 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Piranga – MG (1974 – 2012)



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2013).

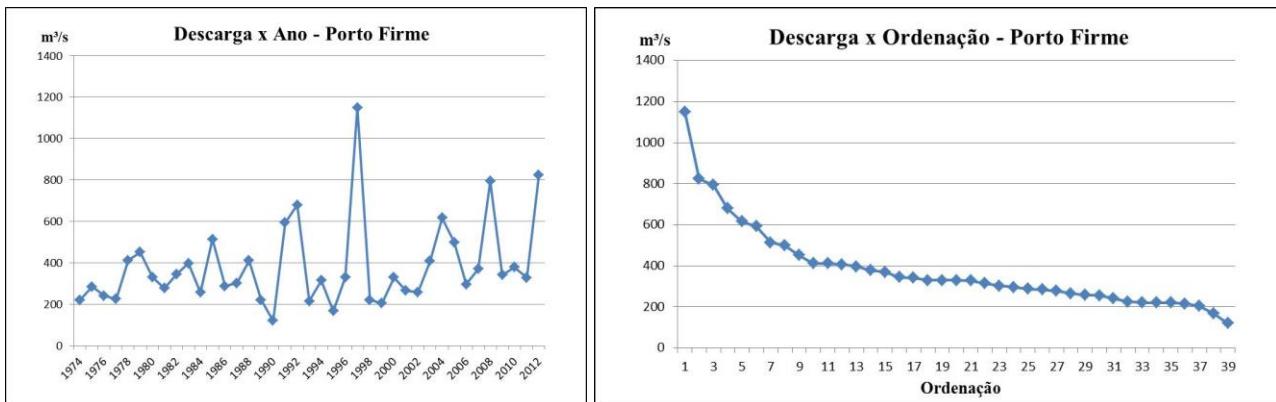
Na estação de Porto Firme, a vazão máxima registrada na série foi 1150 m<sup>3</sup>/s no ano de 1997, apresentando intervalo de recorrência de 39 anos. A enchente de 2012 registrou vazão máxima de 823,6 m<sup>3</sup>/s com intervalo de recorrência de 19,5 anos. O evento de 2008 registrou débito máximo de 793 m<sup>3</sup>/s com recorrência de 13 anos. Em 1992, a vazão máxima observada foi de 679 m<sup>3</sup>/s com intervalo de recorrência correspondente a 9,75 anos. A vazão máxima registrada em 2004 foi 616,1 m<sup>3</sup>/s, que aparece na 5<sup>a</sup> posição na ordenação e com recorrência de 7,8 anos. A enchente de 1979, que apresentou débito máximo de 451 m<sup>3</sup>/s aparece na 9<sup>a</sup> posição com intervalo de recorrência de 4,33 anos. As vazões máximas observadas nos anos de 1991 (593 m<sup>3</sup>/s), 1985 (513 m<sup>3</sup>/s) e 2005 (498,7 m<sup>3</sup>/s), assim como as registradas em 1992 e 2004, não foram mencionadas pelos veículos de comunicação locais como sendo causadoras de enchentes de grande poder de destruição. Os débitos máximos anuais e o intervalo de recorrência para a estação de Porto Firme podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Porto Firme – MG (1974 – 2012)

Ano	Descarga Máx.	Ordenação	Descarga	Intervalo Recorr.
1974	221	1	1150	39,00
1975	284	2	823,6	19,50
1976	240	3	793	13,00
1977	225	4	679	9,75
1978	412	5	616,1	7,80
1979	451	6	593	6,50
1980	330	7	513	5,57
1981	277	8	498,7	4,87
1982	344	9	451	4,33
1983	397	10	412	3,90
1984	256	11	411	3,54
1985	513	12	407,1	3,25
1986	287	13	397	3,00
1987	302	14	378,5	2,78
1988	411	15	369,4	2,60
1989	220	16	344	2,43
1990	120	17	341,4	2,29
1991	593	18	330	2,16
1992	679	19	330	2,05
1993	215	20	329,1	1,95
1994	314	21	327,8	1,85
1995	167	22	314	1,77
1996	330	23	302	1,69
1997	1150	24	296,3	1,62
1998	220	25	287	1,56
1999	204,3	26	284	1,50
2000	329,1	27	277	1,44
2001	265,2	28	265,2	1,39
2002	258	29	258	1,34
2003	407,1	30	256	1,30
2004	616,1	31	240	1,25
2005	498,7	32	225	1,21
2006	296,3	33	221	1,18
2007	369,4	34	220	1,14
2008	793	35	220	1,11
2009	341,4	36	215	1,08
2010	378,5	37	204,3	1,05
2011	327,8	38	167	1,02
2012	823,6	39	120	1,00

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2013).

Gráfico 11 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Porto Firme – MG (1974 – 2012)



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2013).

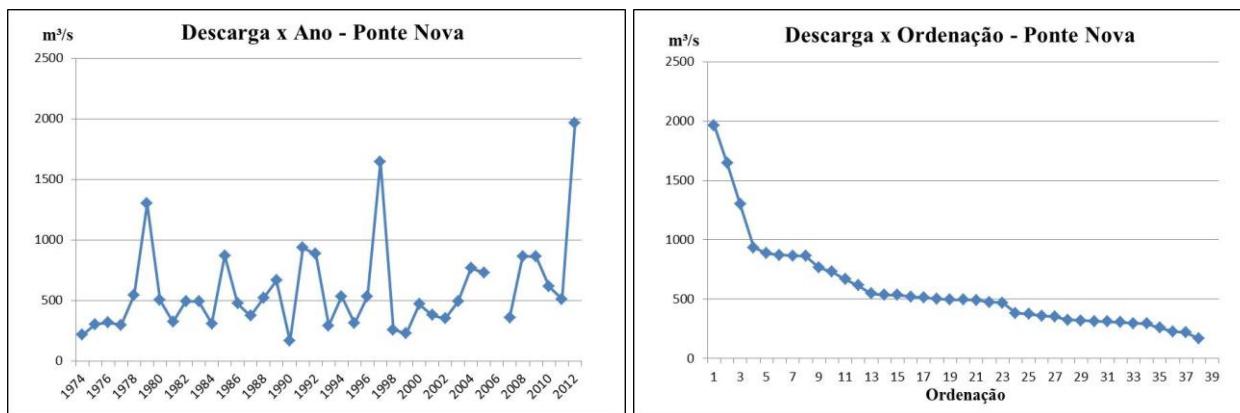
A máxima vazão registrada na série para a estação de Ponte Nova foi 1963,4 m<sup>3</sup>/s em 2012. O intervalo de recorrência para uma enchente desse porte é de 39 anos. A enchente de 1997 registrou vazão máxima de 1646,6 m<sup>3</sup>/s com intervalo de recorrência de 19,5 anos. A vazão máxima observada na enchente de 1979 foi de 1301,6 m<sup>3</sup>/s com recorrência de 13 anos. Em 4º lugar na ordem, aparece a vazão máxima registrada em 1991 (935,9 m<sup>3</sup>/s) com recorrência de 9,75 anos. Na 5<sup>a</sup> posição está a vazão máxima de 886,9 m<sup>3</sup>/s registrada em 1992, apresentando intervalo de recorrência de 7,8 anos. Na 6<sup>a</sup> colocação aparece o débito máximo de 872,8 m<sup>3</sup>/s observado em 1985 com recorrência de 7,8 anos. A enchente de 2008 ocupa o 7º lugar na ordenação, com vazão máxima registrada de 865,9 m<sup>3</sup>/s e intervalo de recorrência de 5,57 anos. Os anos de 1985, 1991 e 1992 não foram mencionados pela mídia local como sendo anos de ocorrência de grandes enchentes. Há falhas nas vazões máximas para o ano de 2006, como pode ser observado na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Ponte Nova – MG (1974 – 2012)

<b>Ano</b>	<b>Descarga Máx.</b>	<b>Ordenação</b>	<b>Descarga</b>	<b>Intervalo Recorr.</b>
1974	218	1	1963,4	39,00
1975	305	2	1646,6	19,50
1976	319,5	3	1301,6	13,00
1977	297,8	4	935,9	9,75
1978	546	5	886,9	7,80
1979	1301,6	6	872,8	6,50
1980	504,8	7	865,9	5,57
1981	324,5	8	863,6	4,87
1982	494,9	9	766,7	4,33
1983	493,5	10	732	3,90
1984	310	11	666,2	3,54
1985	872,8	12	615,2	3,25
1986	476	13	546	3,00
1987	374,4	14	536,2	2,78
1988	521,8	15	536,2	2,60
1989	666,2	16	521,8	2,43
1990	166	17	512,8	2,29
1991	935,9	18	504,8	2,16
1992	886,9	19	494,9	2,05
1993	293,4	20	493,5	1,95
1994	536,2	21	491,6	1,85
1995	312,8	22	476	1,77
1996	536,2	23	469,5	1,69
1997	1646,6	24	381,5	1,62
1998	258,5	25	374,4	1,56
1999	228,2	26	360,4	1,50
2000	469,5	27	352,4	1,44
2001	381,5	28	324,5	1,39
2002	352,4	29	319,5	1,34
2003	491,6	30	312,8	1,30
2004	766,7	31	310	1,25
2005	732	32	305	1,21
2006	-	33	297,8	1,18
2007	360,4	34	293,4	1,14
2008	865,9	35	258,5	1,11
2009	863,6	36	228,2	1,08
2010	615,2	37	218	1,05
2011	512,8	38	166	1,02
2012	1963,4	39	-	-

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2013).

Gráfico 12 - Débitos Máximos Anuais do Rio Piranga em Ponte Nova – MG (1974 – 2012)



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2013).

Nas três estações analisadas foi possível perceber que as quatro grandes enchentes, abordadas pela mídia local como geradoras de prejuízos, referentes aos anos de 1979, 1997, 2008 e 2012, estão inseridas entre as dez primeiras enchentes na ordenação. Nos anos de 2008 e 2012 há algumas falhas referentes às vazões no período das inundações, o que denota que os valores podem ser superiores aos demonstrados nos quadros para esses anos. A enchente de 1997 aparece no topo de vazões máximas anuais para as estações de Piranga ( $683 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e Porto Firme ( $1150 \text{ m}^3/\text{s}$ ); e figura na 2<sup>a</sup> posição para a estação de Ponte Nova ( $1646,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Nessa última estação, a 1<sup>a</sup> posição ficou com a enchente de 2012 com vazão máxima de  $1963,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . As repercussões causadas pelas grandes cheias de 1979, 1997, 2008 e 2012 em Piranga, Presidente Bernardes, Porto Firme, Guaraciaba e Ponte Nova serão apresentadas no subitem a seguir.

#### 4.4.3. Repercussões das Grandes Enchentes no Vale do Rio Piranga

A enchente de 1979 não causou grandes prejuízos em Piranga, pois a população presente no perímetro urbano era de cerca de 3000 habitantes, sendo que nas áreas mais baixas da cidade correspondentes à Rua Nova e José Dutra (antiga Rua da Barreira) havia um pequeno número de casas. A Rua Durval Moreira Marotta no Bairro Cidade Nova e a Avenida Marechal Floriano Peixoto Maciel não existiam na época. As estradas que davam acesso ao município eram todas de terra, o que deixou o mesmo incomunicável por vários dias.

Devido à inexistência de periódicos em Presidente Bernardes e Porto Firme na época, não foram obtidas informações detalhadas sobre esta enchente em Presidente Bernardes e Porto Firme, mas tudo leva a crer que a elevação das águas tenha causado alguns transtornos a esses municípios, principalmente em sua zona rural.

Em Guaraciaba, de acordo com Castro (2008, p. 108 e 113), a Rua General Dutra, na margem direita do rio Piranga, foi uma das mais afetadas, assim como, trechos das ruas Sete de Setembro, Direita e Coração de Jesus, na margem esquerda (Figura 40).

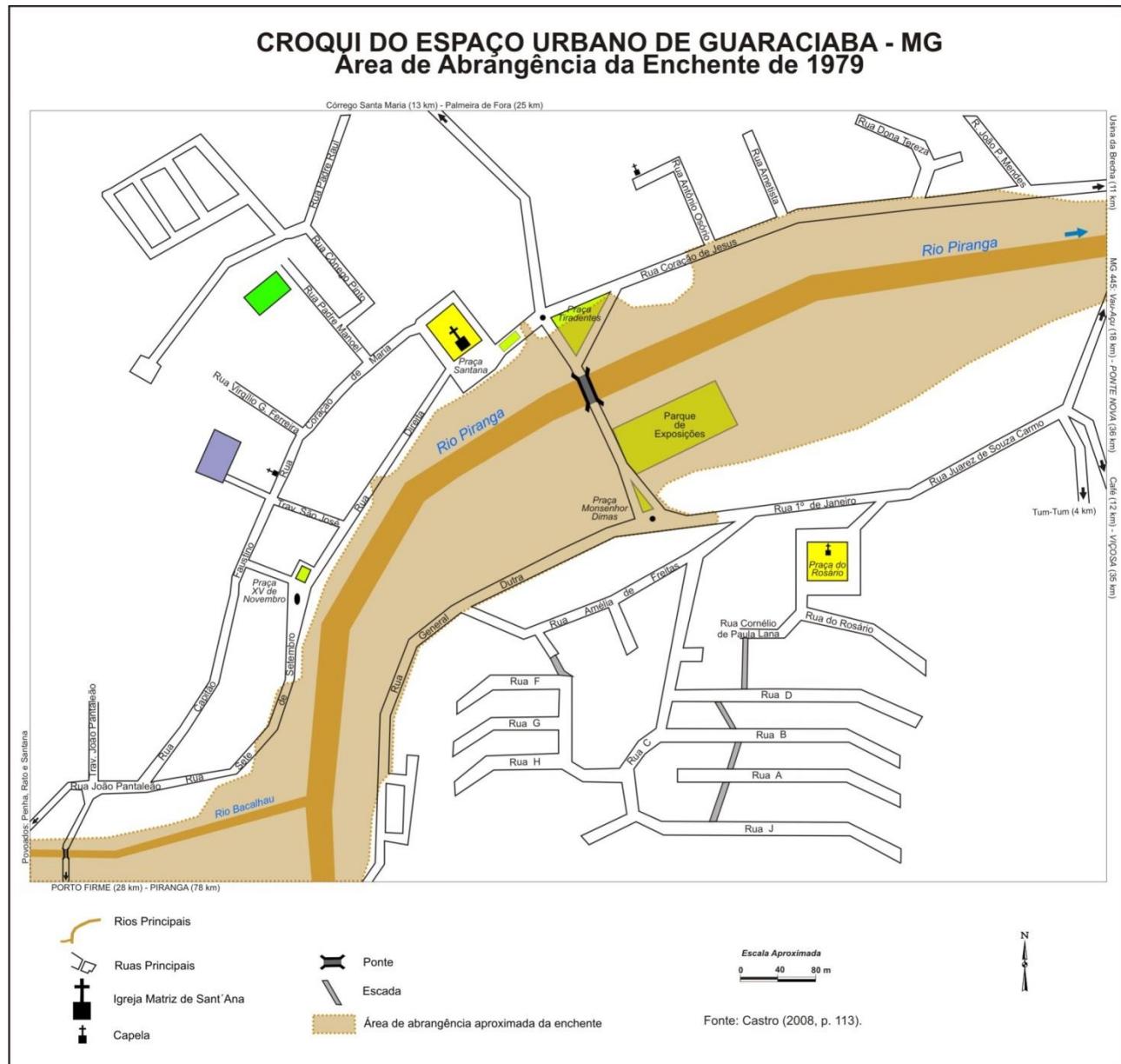


Figura 40 – Croqui da Área de Abrangência da Inundação de 1979 em Guaraciaba;  
Fonte: Castro, 2008, p. 113.

Em Ponte Nova, as águas do rio Piranga invadiram e destruíram avenidas e casas localizadas às margens. Todo o espaço entre as pontes Arthur Bernardes e Governador Bias Fortes foi tomado pelas águas, tanto a margem direita quanto a esquerda (Figura 41). O sistema de captação de água foi danificado, deixando toda a cidade sem água potável por vários dias. Muitas casas ficaram parcial ou totalmente destruídas nos seguintes bairros: Centro Histórico, Vila Alvarenga,

Copacabana, Palmeiras, Santo Antônio, Vila Centenário, Triângulo e Rasa. Em 15/02/1979 a Prefeitura Municipal contabilizava 2179 desabrigados, 212 casas parcialmente destruídas e 125 casas totalmente destruídas, segundo o Jornal Folha de Ponte Nova (1997, p. 1).



Figura 41 – Espaço Entre as Pontes Arthur Bernardes e Governador Bias Fortes, Tomado pelas Águas do Rio Piranga;  
Fonte: Ribeiro Filho, 2008, p. 64 e 65.

Em 1997, as margens do rio, em Piranga, já haviam sido completamente ocupadas em toda a extensão da Rua Nova e José Dutra. No Bairro Cidade Nova, onde o loteamento e urbanização ocorreram em meados da década de 1980, somente os quintais foram inundados. Neste evento, apenas duas casas foram inundadas na Rua José Dutra, obrigando seus moradores a abandonarem suas residências. Os quintais e um pequeno trecho de baixada da Rua Nova foram inundados. Esta inundação causou alguns prejuízos ao município no que se refere às pontes de cabo de aço, pinguelas e abalou a estrutura da Passarela recém-construída que liga a Rua do Mercado ao Bairro Cidade Nova (Figura 42).



Figura 42 – Áreas Inundadas em Piranga (1997); **A** – Passarela que liga a Rua do Mercado ao Bairro Cidade Nova; **B** – Bairro Cidade Nova tomado pelas águas; **C** – Rua Nova inundada; **D** – Ponte na Avenida São José no Centro da cidade;

Fonte: Acervo de José Brigolini, 1997 e Thaís Condé Oliveira, 1997.

Da mesma forma que a enchente de 1979, não foi possível obter maiores informações sobre a enchente de 1997 para os municípios de Presidente Bernardes, Porto Firme e Guaraciaba, no entanto, sabe-se que os problemas decorrentes dessa enchente foram maiores, deixando estes municípios isolados. O nível atingido pelas águas foi superior ao da enchente de 1979.

Em Ponte Nova, os bairros mais atingidos pela enchente de 1997 foram: Centro Histórico, Copacabana, Santo Antônio, Vila Oliveira, Vila Santa Tereza, Rasa, Vila Centenário, Vila Alvarenga, Palmeiras e Triângulo. Estes bairros foram inundados pelas águas do rio Piranga, que danificaram o pavimento nas avenidas Custódio Silva e Arthur Bernardes, e nas ruas Benedito Valadares e João Pinheiro, todas localizadas no Centro Histórico (Figura 43). No Bairro Triângulo, a Rua João Piranga ficou completamente inundada e muitas pessoas ficaram ilhadas em suas casas. O trânsito ficou muito precário na cidade e o transporte coletivo foi suspenso por quase três dias. Nas vilas Santa Tereza e Oliveira, o ribeirão Vau – Açu inundou ruas, casas e a rodovia BR-120 que liga Ponte Nova a Viçosa. O abastecimento de água potável da cidade foi suspenso por uma semana, devido aos danos causados à casa de máquinas do Departamento Municipal de Água, Esgoto e

Saneamento (DMAES). No ano de 1997, a cota fluviométrica máxima registrada na estação de Ponte Nova foi de 557 cm no dia 05 de janeiro, ao passo que no ano de 1979 foi de 519 cm no dia 03 de fevereiro. De acordo com o Jornal “Folha de Ponte Nova” (1997, p. 2) a Prefeitura Municipal decretou estado de calamidade pública em 3/1 e de acordo com a mesma, 2500 pessoas foram atingidas pela enchente, ficando 500 delas desabrigadas. Os prejuízos foram estimados em R\$ 10 milhões, englobando construção de moradias e reparos em vias urbanas, pontes e na casa de máquinas do DMAES. Após a enchente de janeiro de 1997, o então governador de Minas Gerais Eduardo Azeredo visitou Ponte Nova para verificar a extensão dos danos e prometeu ajudar o município com recursos estaduais.

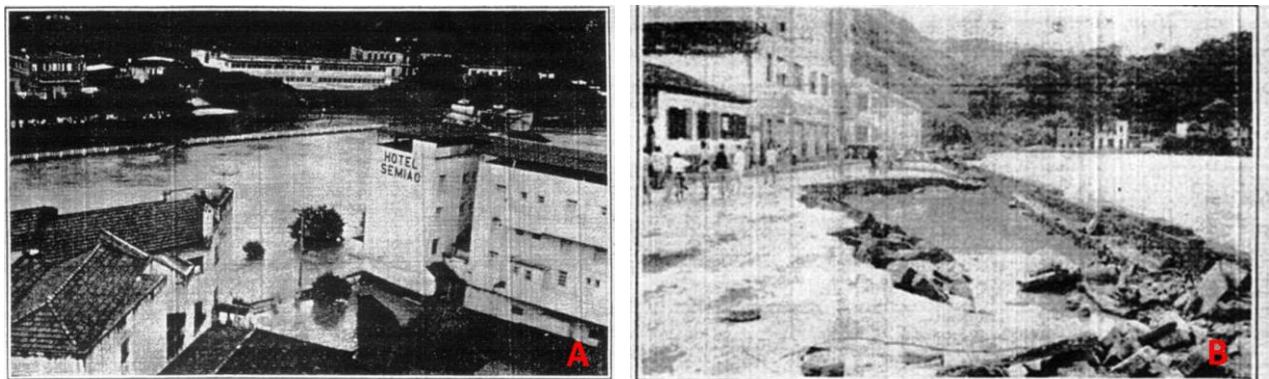


Figura 43 – Áreas Inundadas em Ponte Nova pela Enchente de 1997; **A** – Avenida Arthur Bernardes completamente inundada; **B** – Retirada do pavimento pela força das águas na Rua João Pinheiro;

Fonte: Jornal Folha de Ponte Nova, 1997, p. 2.

A enchente de 2008 em Piranga teve início no dia 16 de dezembro a partir das 22 horas, quando as comunidades ribeirinhas foram surpreendidas pela súbita elevação das águas do rio Piranga. O Bairro Cidade Nova e a Rua José Dutra, ambos localizados na margem direita do rio, ficaram isolados do restante da cidade, já que as águas ocuparam a ponte da Avenida São José que faz a ligação das áreas citadas com o centro da cidade, além da passarela e parte da Rua do Mercado (Figura 44). As ruas Durval Moreira Marota, Nestor de Paula Andrada e Cristovão Lana tiveram significativos trechos tomados pelas águas. Moradores da Avenida Floriano Peixoto Maciel (margem esquerda) também tiveram que deixar suas casas. A Rua Nova, também localizada na margem esquerda, foi interditada, assim como também vários trechos de estradas rurais. No dia 17 o rio Piranga registrou cota de 860 cm, 160 cm a mais que em 1997.

As Figuras 45 e 46 mostram a inundação nas cidades de Presidente Bernardes e Porto Firme, respectivamente. Muitas ruas e bairros ficaram isolados, até as águas do Piranga voltarem ao seu leito natural, as estradas vicinais e os acessos às cidades vizinhas foram fechados. Em Presidente

Bernardes as águas do rio passaram por sobre a ponte. Porto Firme foi a única cidade em que as águas do rio Piranga não envolveram a ponte. A cidade permaneceu isolada até à tarde do dia 19, quando a Praça Juquinha Moreira foi liberada.



Figura 44 – Áreas Atingidas pela Enchente de Dezembro de 2008 em Piranga; **A** – Passarelha que liga o Bairro Cidade Nova à Rua do Mercado; **B** – Ponte da Avenida São José (ligação do Bairro Cidade Nova e Rua José Dutra ao centro da cidade); **C** – Rua Nova tomada pelas águas; **D** – Ponte sobre o ribeirão Pirapetinga (afluente do rio Piranga);

Fonte: Acervo de Telma de Assis Bernardes, 17/12/2008 e Edson Teixeira Heleno, 17/12/2008.



Figura 45 – Enchente em Presidente Bernardes em Dezembro de 2008; **A** – Ponte que permite acesso ao Parque de Exposição e aos Bairros Pedro Sabino e Bela Vista; **B** – Parque de Exposição ao lado do rio Piranga, completamente tomado pelas águas;

Fonte: Foto de Telma de Assis Bernardes, 17/12/2008.



Figura 46 – Praça Juquinha Moreira em Porto Firme Tomada pelas Águas em Dezembro de 2008;

Fonte: Fialho, 2009.

Segundo informações divulgadas pelo jornal *on line*, Brasil de Fato, em 23/12/2008, 60% da área urbana de Guaraciaba ficaram submersas durante três dias, afetando cerca de 300 famílias, que tiveram de deixar suas casas. A cidade e parte da zona rural ficaram completamente isoladas (Figura 47). A magnitude dessa enchente em Guaraciaba e Ponte Nova foi bem maior que em Piranga, Presidente Bernardes e Porto Firme. Esse evento, ocorrido em dezembro de 2008, foi abordado pela reportagem do jornal Brasil de Fato, como sendo decorrente do assoreamento do rio, do desmatamento e da PCH Brecha. A Figura 48 mostra a área tomada pelas águas durante a enchente de dezembro de 2008 em Guaraciaba.



Figura 47 – Guaraciaba Durante a Enchente de Dezembro de 2008;  
Fonte: Fialho, 2009.

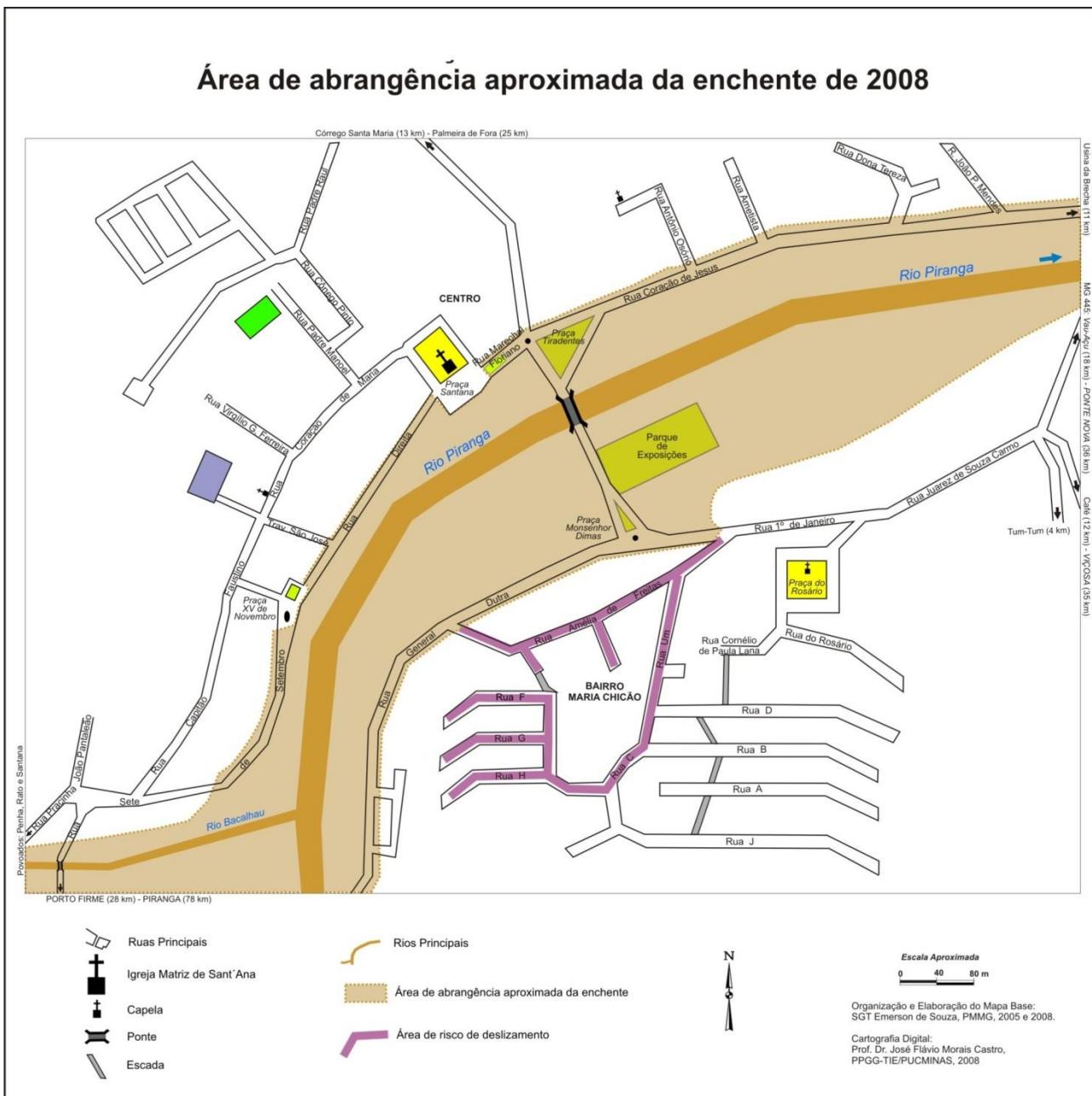


Figura 48 – Croqui da Área de Abrangência da Inundação de 2008 em Guaraciaba;

Fonte: Castro, 2008.

A enchente que atingiu Ponte Nova em 2008 teve início em 16/12, quando as águas começaram a deixar o leito do rio Piranga para baixarem somente no dia 19/12. Essa enchente causou muitos danos e prejuízos materiais, entretanto não deixou vítimas fatais. O Bairro Copacabana (Figura 49) foi um dos mais atingidos, tendo grande parte das residências e estabelecimentos comerciais inundados. No dia 17/12, as Ruas João Pinheiro e Marcos Giardini foram tomadas pelas águas que entraram na casa de máquinas do Departamento Municipal de Água, Esgoto e Saneamento (DMAES) atingindo as bombas que retiram água do rio e comprometendo o abastecimento de água da cidade por uma semana.



Figura 49 – Inundação do Bairro Copacabana em 17 de Dezembro de 2008;  
Fonte: Pontenet, 17/12/2008.

No Centro Histórico, a enchente também causou muitos danos às residências e estabelecimentos comerciais localizados à Rua Benedito Valadares e Avenida Arthur Bernardes, ambas situadas na margem direita do rio (Figura 50). No Bairro Vila Centenário a enchente causou muitos prejuízos e transtornos, sendo que parte do asfalto da Avenida Antônio Brant Ribeiro foi arrancada, afetando o tráfego de veículos. O pontilhão de ferro, localizado entre as Avenidas Custódio Silva e Antônio Brant Ribeiro ficou intransitável, devido à altura atingida pelas águas do rio Piranga e a Avenida Abdala Felício, onde existem vários estabelecimentos comerciais ficou completamente inundada (Figura 50). O ribeirão Vau – Açu, que é afluente do rio Piranga também atravessa Ponte Nova e costuma causar inundações que atingem o Centro Histórico e as Vilas Santa Tereza e Oliveira, por onde passa a BR – 120 que dá acesso à Viçosa – MG. No dia 17 de dezembro de 2008, este ribeirão transbordou e bloqueou esse acesso à cidade. Além dos bairros já citados foram também atingidos os bairros Triângulo, Palmeiras, Santo Antônio e Rasa. Entre os dias 18 e 21 não foi possível obter a cota fluviométrica oficial, mas calcula-se que o nível do rio tenha atingido 900 cm. De acordo com a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Ponte Nova (COMDEC), 30 casas foram destruídas, 544 pessoas ficaram desabrigadas e 4.070 ficaram desalojadas.



Figura 50 – Áreas Afetadas pela Enchente de Dezembro de 2008 em Ponte Nova; **A** – Confluência entre a Rua Benedito Valadares e a Avenida Arthur Bernardes; **B** – Pontilhão de Ferro entre as Avenidas Antônio Brant Ribeiro e Custódio Silva; **C** – Avenida Abdalla Felício; **D** – Avenida Getúlio Vargas no Bairro Triângulo;

Fonte: Pontenet, 17/12/2008.

Durante a madrugada do dia 2 para o dia 3 de janeiro de 2012, o rio Piranga voltou a transbordar, atingindo cota fluviométrica de 920 cm em Piranga. O Bairro Cidade Nova e a Rua José Dutra ficaram isolados, e uma extensão ainda maior da Rua Nova foi inundada, obrigando muitos moradores que não tinham sido afetados em 2008 a abandonarem suas residências. As ruas atingidas foram: Nestor de Paula Andrade, Durval Moreira Marota, Cristovão Lana, Geraldo Maciel de Paiva no Bairro Cidade Nova, e Rua do Mercado, José Euclides, Avenida Floriano Peixoto Maciel e Avenida São José no Centro (Figura 51). É importante salientar, que a Avenida Floriano Peixoto Maciel está situada na margem côncava do rio Piranga, portanto onde há bancos de solapamento, fato esse que ameaça as casas construídas na mesma. Para conter o desbarrancamento nessa margem, a Prefeitura Municipal construiu barreiras de contenção após a enchente de 2012

(Figura 52). Todos os acessos às cidades circunvizinhas, além das estradas vicinais foram interrompidos.



Figura 51 – Áreas Atingidas em Piranga – 2012; **A** – Passarela que liga a Rua do Mercado à Rua Cristóvão Lana; **B** – Rua Cristóvão Lana no Bairro Cidade Nova; **C** – Ponte na Avenida São José no Centro; **D** – Rua José Dutra; **E** – Entrada da Rua Nova;

Fonte: Acervo de Maurício Romualdo da Silva, 03/01/2012 e Fernanda Moreira, 03/01/2012.



Figura 52 – Banco de Solapamento Estabilizado por Barreira de Contenção;  
Fonte: Acervo do autor, 16/11/2012.

A enchente de janeiro de 2012 também foi considerada a de maior poder de destruição que já atingiu o município de Presidente Bernardes. A água passou sobre a ponte do Centro da cidade e a cota fluviométrica estimada pela Prefeitura foi de 700 cm, sendo 100 cm superior à inundação de dezembro de 2008. No Centro, a água ocupou as ruas São Vicente e São José, no Bairro Praia a Avenida Juca Quintão e no Bairro Pedro Sabino a Avenida Beira Rio. Estes locais também foram afetados nas inundações anteriores, porém, em 2012, com maior abrangência. Neste município foram afetadas 2.500 pessoas, sendo que 66 ficaram desalojadas e 5 desabrigadas, segundo o Departamento Municipal de Agropecuária, Abastecimento e Meio Ambiente (2012).

Em Porto Firme (Figura 53) foram inundadas as mesmas áreas de 2008. Em Guaraciaba (Figura 54) a inundação teve início na manhã do dia 3/01, sendo que a cidade ficou isolada com as águas passando por cima da ponte até o fim da noite do dia 4. Não há dados fluviométricos oficiais de Guaraciaba, mas segundo o jornal Folha de Ponte Nova (06/01/2012, p. 15), o rio subiu cerca de 600 cm (Figura 55).



Figura 53 – Áreas Atingidas pela Enchente de 2012 em Porto Firme; **A** – Praça Juquinha Moreira; **B** – Praça de Esportes; **C** – Ponte no Centro da cidade; **D** – Escadaria Dona Isabel Passos;

Fonte: FM Opção, 03/01/2012.



Figura 54 – Nível Atingido pela Água na Rua General Dutra em Guaraciaba;  
Fonte: Nascimento, 2013, p. 126.

## **Temporais e inundações afetam várias cidades no início do ano**

A intensa chuva após 1<sup>o</sup>/1 em nossa região causou muitos - e intensos - danos em diversas cidades. Em Guaracaba, primeira cidade acima de PN banhada pelo rio Piranga, a enchente começou na manhã de 3/1 com alagamento da

parte baixa da cidade e isolamento do perímetro urbano, com a cheia tomado a ponte sobre o rio até o fim da noite de 4/1. Avaliava-se que pelo menos 100 pessoas ficaram desalojadas. O rio Piranga subiu 6m, e na madrugada de 2/

1 choveu 105mm - 1/3 do previsto para o mês.

Dona da Pequena Central Hidrelétrica da Brecha (em Guaraciaba, pouco acima da divisa com PN), a empresa Novelis divulgou nota garantindo que sua PCH "não tem qualquer efeito sobre as cheias que ocorrem em Ponte Nova, Guaraciaba e região. Essa PCH não tem capacidade de reservatório suficiente para modificar o regime natural das vazões e, portanto, das cheias", assimilada à Assessoria do empreendimento.

Segundo a nota, Brecha operava, em 4/1, "de acordo com procedimento de cheias, e a Defesa Civil e as 2 Prefeituras (PN e Guaraciaba)

lenturas (PN e Guaratuba) eram informadas constantemente sobre os índices de vazão do rio, suspendendo a geração de energia em função do grande volume de águas. Portanto "todo o volume de água está sendo vertido naturalmente pela barragem", con-

Rio Casca e  
Dom Silvério

Ontem, 5/1, Rio Casca se reabriu da cheia do rio de mesmo nome, que inundou em 3/1 a famosa rua do Sapo e trechos das estradas rurais. Com a cheia no Casca, afetando a conhecida ponte Preta, a cidade de São Antônio do Gramá só tem em 4/1 acesso à região de via BR-262 pela estrada (al) do Salgado).

merciais, afetando ainda vários pontos da região central.

Noutra região, o rio do Carmo seguia ameaçando Barra Longa (inundada parcialmente em 3/1) e Acaíaca, cidades que ainda se refaziam da cheia do curso d'água em fins de 2011.

Na madrugada de 14/1, temporal provocou cheia em córrego inundando a cidade de Matipó. Ficaram alagadas as ruas do Centro, com a inundação começando no bairro Boa Vista e no leitoamento do Celinho. A cidade teve nova inundação parcial, agora pelo rio Matipó, em 3/1.

## Rodovias da região

**Rodovias da Região**  
A Polícia Rodoviária Estadual/8<sup>a</sup> Pelotão de Ponte Nova, informou em 3/1 a interdição de dois trechos de rodovias de acesso a Ponte Nova. Trecho com aproximadamente 100m de inundação na MG-120 obrigou o fechamento da rodovia Ponte Nova/Rio Doce. Nas horas seguintes e ainda em 4/1, motoristas - que trafegam tanto para as cidades de Rio Doce, Dom Silvério, Alvinópolis, Rio Pimicabá e João Monlevade ou que vêm destas cidades para Ponte Nova - tinham obrigatoriamente que passar por Santa Cruz do Escalvado, via distrito de Nova Serrinha.

Outro trecho foi interditado ainda na manhã de ontem, 5/1, na rua Felisberto Leopoldo/Santa Tereza, ligada à BR-120. Formou-se longa fila de caminhões, enquanto motoristas de veículos menores tinham a única opção de passagem pela rua Ildamo Iacomini (Ranca-Rabo), passando pelo bairro Primeiro de Maio para chegar ao Centro.

O acesso a PN pela MG-262 também ficou prejudicado até a manhã de ontem, 5/1, porque no Anel Rodoviário de PN era precária a passagem na ponte sobre o Rio Piranga, no bairro Rasa. Em 2/2, queda de barreira em Itabirito, onde o rio local inundou ruas e avenidas, deixou o trânsito literalmente interrompido na rodovia por mais de 24 horas, havendo alternativa, em direção à Ponte Nova, com a passagem por João Monlevade. Para quem ia para BH, a alternativa era passar pela Estrada Real, em trecho de acesso a Ouro Branco.



*Nas paredes a marca da água em rua guaraciabense*



*Vista parcial da inundação em Guaraciaba, nesse dia*



*Praca de Guaraciaba; parcialmente tomada pelas águas*



Cheia em 3/1 asfeteou área urbana de Abre Campo



*Inundação em rua de Rio Casca*

Figura 55 – Matéria que Trata da Inundação da Cidade de Guaraciaba;  
Fonte: Folha de Ponte Nova, 06/01/2012, p.15.

O Jornal “Folha de Ponte Nova” em sua edição do dia 06 de janeiro de 2012 trouxe na sua primeira página a manchete: “Destrução em 48 horas”. No fechamento desta edição, a Prefeitura Municipal calculava os prejuízos e a população afetada, que poderia chegar a 8 mil pessoas (Figura 56). Segundo este jornal, a inundação do rio Piranga em Ponte Nova teve início no dia 3/01 após as 11 horas. Os problemas decorrentes dessa enchente foram os mesmos das anteriores: acessos às cidades vizinhas comprometidos, trânsito caótico; e casas e estabelecimentos comerciais inundados. De acordo com jornal, os danos foram bem menores que em 2008. A cota máxima registrada foi 590 cm no dia 4/01. Novamente os bairros atingidos foram: Centro Histórico, Vila Alvarenga, Copacabana, Palmeiras, Santo Antônio, Vila Centenário, Triângulo e Rasa. O Bairro Copacabana

está localizado num trecho onde o rio Piranga descreve uma curva de quase 90°, como a água chega de montante com velocidade e força durante as enchentes, a tendência é erodir a margem direita (margem côncava), destruindo o asfalto e as residências situadas à mesma. A Rua João Pinheiro e a Avenida Arthur Bernardes tiveram o seu calçamento arrancado pela força das águas em todas as enchentes consideradas (1979, 1997, 2008 e 2012) como se pode verificar na Figura 57.



Figura 56 – Capa do Jornal Folha de Ponte Nova;  
Fonte: Folha de Ponte Nova, 2012, p.1.



Figura 57 – Margem Direita do Rio Piranga Entre os Bairros Copacabana e Centro Histórico; **A** – Confluência da Rua Marcos Giardini com a Avenida Arthur Bernardes em 1979; **B** - Confluência da Rua Marcos Giardini com a Avenida Arthur Bernardes em 1997; **C** - Confluência da Rua Marcos Giardini com a Avenida Arthur Bernardes em 2008; **D** - Confluência da Rua Marcos Giardini com a Avenida Arthur Bernardes em 2012;

Fonte: Folha de Ponte Nova, 1997, p.2; Énio Gomes, 2008; Alex Araújo, 2012.

As enchentes que atingem o Vale do rio Piranga periodicamente não são apenas consequência das fortes chuvas de verão que atingem a região. O desmatamento, assoreamento e processos erosivos acelerados também contribuem para a ocorrência de enchentes, que se tornam cada vez mais perigosas em virtude da ocupação de áreas de risco pela população. Em Piranga, por exemplo, após a enchente de 1997 houve a expansão do Bairro Cidade Nova na margem direita do rio, com o loteamento nas proximidades da passarela e abertura da Rua Nestor de Paula Andrade. Também ocorreu a abertura e loteamento da Avenida Floriano Peixoto Maciel saída para Porto Firme, localizada na margem esquerda. Estas áreas foram atingidas em 2008, entretanto, depois desse evento, novas construções surgiram nessas áreas, e aterros foram realizados às margens do rio Piranga, como o verificado na Rua Cristóvão Lana, próximo à Passarela no Bairro Cidade Nova (Figura 58). Neste local, o proprietário aterrou uma área ocupada naturalmente pelo rio em períodos

de cheia, inundada parcialmente em 1997 e completamente em 2008, com o propósito de evitar uma nova inundação da área. Em 2012, foi nítida a influência deste aterro sobre a magnitude da inundação para os moradores deste bairro, pois antes do rio tomar a passarela, várias casas do bairro que não foram afetadas em 2008, já haviam sido invadidas pelas águas. Outro fator que influencia as enchentes que afetam o município de Piranga é a presença de bancos de solapamento (Figura 59) decorrentes da fragilidade do material que compõe as margens (depósitos silto-arenosos) e a inexistência de mata ciliar. Diante disso, o canal fluvial se torna largo e assoreado, apresentando brusca redução do volume de água durante o período de estiagem e rápidos picos de vazão durante o período chuvoso, o que favorece o rápido transbordamento.



Figura 58 – Aterro na Margem Direita do Rio Piranga no Bairro Cidade Nova; **A** – Área sendo aterrada em 29/08/2009; **B** – Área completamente aterrada em 21/01/2012;

Fonte: Acervo de Edson Soares Fialho, 2009 e do autor, 2012.



Figura 59 – Alargamento do Leito do Rio Piranga na Entrada da Rua Nova; A seta amarela mostra o banco de solapamento e as setas vermelhas mostram as barras centrais de sedimentos;

Fonte: Acervo do autor, 26/02/2014.

Dentre as inundações ocorridas em Piranga e levantadas nesse estudo, a de janeiro de 2012 foi a de maior magnitude em termos de área e de pessoas atingidas. Em Presidente Bernardes, a

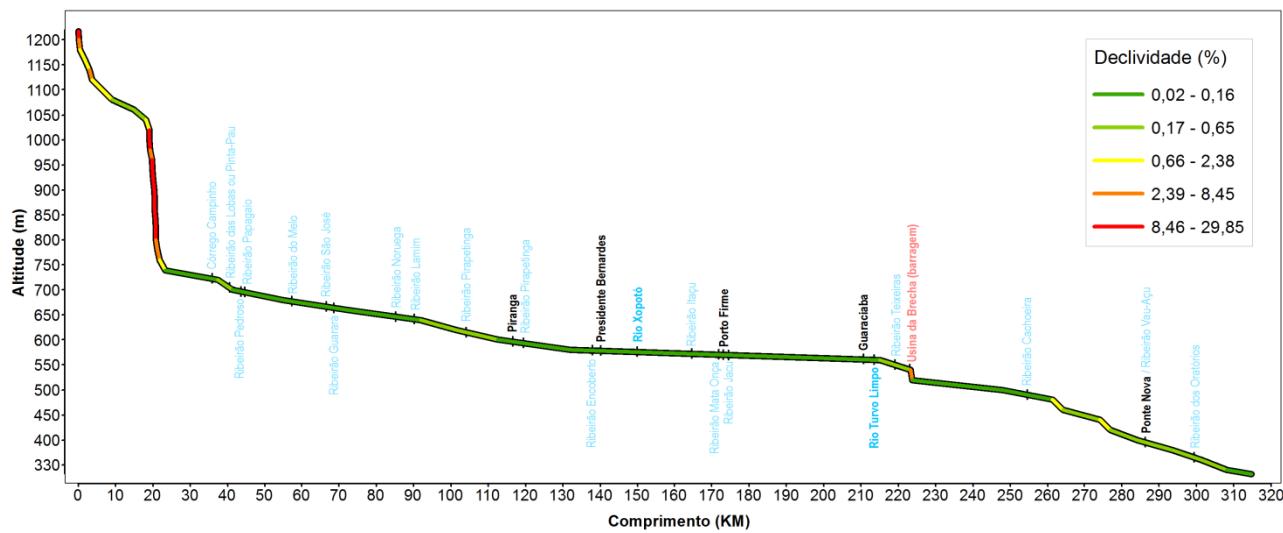
enchente de 2012 também foi considerada a de maior magnitude dentre todas as registradas desde 1979. Nos demais municípios, a enchente de 2008 foi a que apresentou maior poder de destruição, dado o volume e a velocidade que as águas atingiram nos mesmos.

Nascimento (2013, p. 134) observou que a magnitude da inundação de 2012, superior à de 2008 apenas em Piranga e Presidente Bernardes, pode ser explicada pela precipitação na nascente do rio Piranga e seus tributários. Segundo a autora, em 2008, Carandaí, estação mais próxima de Ressaquinha, onde fica a nascente do Piranga, a precipitação registrada foi 118,5 e 133,0 mm e em Desterro do Melo, na nascente do rio Xopotó, a precipitação observada foi 118,5 e 133,0 mm, ambas nos dias 16 e 17 de dezembro, respectivamente. Em 2012, a precipitação registrada em Desterro do Melo foi 7,9 e 56,1 mm nos dias 01 e 02 de janeiro. A estação de Carandaí apresentou falhas no mês de janeiro de 2012, entretanto, provavelmente, a precipitação nesta estação foi igual ou superior que em 2008, devido ao nível máximo que o rio Piranga atingiu na cidade homônima. De acordo com Nascimento (2013, p. 143), é possível concluir que em 2008 as chuvas foram intensas nas cabeceiras, tanto do rio Piranga quanto do rio Xopotó, gerando forte enchente que atingiu os cinco municípios, enquanto em 2012, as chuvas foram menos significativas na cabeceira do Xopotó, o que demonstra que a enchente de 2012 é atribuída somente ao rio Piranga. Segundo a autora, esta explicação pode ser comprovada pelo fato da confluência do rio Piranga com o rio Xopotó ocorrer na zona rural de Presidente Bernardes, à jusante da sede municipal, desse modo, com exceção de Piranga e Presidente Bernardes, os demais municípios registraram, em 2008, a enchente de maior magnitude. Mas analisando as vazões máximas do período de enchentes, descobriu-se que durante o evento de 2012 a vazão máxima em Ponte Nova foi de 1963,4 m<sup>3</sup>/s, superando a vazão de 865,9 m<sup>3</sup>/s registrada no evento de 2008. Em Porto Firme, a vazão máxima da enchente de 2012 (823,6 m<sup>3</sup>/s) também foi superior à registrada na enchente de 2008 (793 m<sup>3</sup>/s). Esses dados contradizem a conclusão de Nascimento (2013) sobre a não contribuição do rio Xopotó para a enchente de 2012 nas cidades de Porto Firme e Ponte Nova, localizadas à jusante da confluência do referido rio com o Piranga.

A ocorrência de enchentes na área estudada, também pode ser atribuída ao perfil longitudinal do rio principal e de seus tributários, porque os fortes gradientes do rio Piranga (900 m), do rio Xopotó (630 m) e do rio Pirapetinga (460 m) contribuem para o rápido escoamento das águas diante da ocorrência das fortes chuvas que atingem suas nascentes no verão, e que estão situadas na serra da Mantiqueira (Piranga e Xopotó) e na serra do Espinhaço (Pirapetinga). Da nascente do rio Piranga até a sede municipal de Piranga, a declividade do rio varia entre 0,02 e 29,85% e o desnível altimétrico é de 650 metros (Gráfico 13). Já Presidente Bernardes apresenta um desnível altimétrico de 680 metros em relação à nascente. O fato dessas duas sedes municipais,

estarem localizadas num trecho de forte declividade, faz com que o nível do rio se eleve e abaje rapidamente, promovendo a inundação da planície fluvial que entre Piranga e Presidente Bernardes é relativamente extensa. Nessas duas cidades, as inundações duram menos de 24 horas, diferentemente do que ocorre nos demais municípios, principalmente Guaraciaba e Ponte Nova. As sedes municipais de Porto Firme, Guaraciaba e Ponte Nova apresentam respectivamente 600, 550 e 400 metros de altitude, e declividade que varia entre 0,02 e 2,38%, com exceção para a barragem da Brecha, onde a declividade está entre 2,39 e 8,45%. A fraca declividade entre as cidades de Porto Firme e Guaraciaba, juntamente da presença de meandros, favorece a inundação da planície fluvial com um período de retenção maior, já que os meandros tornam o escoamento das águas mais lento. Entre a barragem da Brecha e a cidade de Ponte Nova, a declividade é um pouco maior, o que faz com que a velocidade das águas aumente e chegue mais rápido à cidade.

Gráfico 13 – Declividade do Rio Piranga



Fonte: IBGE, 1976.

A relação entre declividade e inundação foi observada nas estações fluviométricas de Piranga, Porto Firme e Ponte Nova, ao verificar-se as cotas do período de inundação em janeiro de 2012 têm-se as cotas máximas de 920, 750 e 590 cm, respectivamente, sendo que Piranga e Porto Firme registraram estas cotas no dia 03 e Ponte Nova no dia 04. Ao comparar estas cotas registradas no período de inundação com a média de cada uma dessas estações fluviométricas observa-se uma inversão, porque Porto Firme registra as maiores cotas e Piranga as menores. As cotas em Piranga durante períodos de inundação são maiores em decorrência da configuração estreita do leito maior e do assoreamento do leito menor, o que favorece o rápido transbordamento.

#### 4.5. PCH Brecha e a Dinâmica Fluvial do Rio Piranga

A PCH Brecha, construída no rio Piranga em 1958 e situada no município de Guaraciaba, alterou significativamente o perfil de equilíbrio do rio. A barragem elevou em 10 metros o canal de montante, o que contribuiu para a agradação do leito em decorrência da deposição de sedimentos no reservatório. Através da Figura 60, é também possível perceber que à jusante do reservatório houve entalhamento do leito junto à barragem com reativação de erosão nas margens (bancos de solapamento).



Figura 60 – Erosão Marginal à Jusante da Barragem da PCH Brecha;  
Fonte: Acervo do autor, 20/07/2012.

Carvalho (1994, p. 293) fez uma relação de alguns dos reservatórios mais assoreados do país e o reservatório da PCH Brecha figura entre eles (Tabela 9). O assoreamento desse reservatório é provocado pela grande produção de sedimentos na Bacia do Rio Piranga, proveniente dos processos erosivos lineares e laminares que ocorrem nas porções à montante do mesmo.

Tabela 9 – Relação de Alguns Reservatórios Assoreados no Brasil

<b>Reservatório</b>	<b>Curso D'Água</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Finalidade</b>
<b>Bacia do São Francisco</b>			
Rio de Pedras	Velhas	CEMIG	UHE – 10 MW
Paraúna	Paraúna	CEMIG	UHE – 30 MW
Pandeiros	Pandeiros	CEMIG	UHE – 4,2 MW
Acabamundo	Acabamundo	DNOS	Controle de cheias
Arrudas	Arrudas	DNOS	Controle de cheias
Pampulha	Pampulha	DNOS	Controle de cheias
<b>Bacia Atlântico/Leste</b>			
Funil	Contas	CHESF	UHE – 30 MW
Pedras	Contas	CHESF	UHE – 23 MW
Peti	Santa Bárbara	CEMIG	UHE – 9,4 MW
<b>Brecha</b>	<b>Piranga</b>	-	<b>UHE – 10,5 MW</b>
Piracicaba	Piracicaba	Belgo-Mineira	UHE - -
Sá Carvalho	Piracicaba	Acesita	UHE – 50 MW
Dona Rita	Tanque	-	UHE – 2,41 MW
Salto Grande	Santo Antônio	CEMIG	UHE – 104 MW
Tronqueiras	Tronqueiras	-	UHE – 7,87 MW
Bretas	Suaçuí - Pequeno	-	-
Mascarenhas	Rio Doce	ESCELSA	UHE – 120 MW
Paraitinga	Paraitinga	CESP	UHE – 85 MW
Jaguari	Jaguari	CESP	UHE – 27,6 MW
Una	Una	PM Taubaté	Abastec. d' água
<b>Bacia do Paraná</b>			
Caconde	Pardo	CESP	UHE – 80,4 MW
Euclides da Cunha	Pardo	CESP	UHE – 108,8 MW
Americana	Atibaia	CPFL	UHE – 34 MW
Jurumirim	Paranapanema	CESP	UHE – 22 MW
Piraju	Paranapanema	CPFL	UHE – 120 MW
Presidente Vargas	Tibaji	Klabin	UHE – 22,5 MW
Poxoréu	Poxoréu	CEMAT	UHE - -
São Gabriel	Coxim	ENERSUL	UHE – 7,5 MW
Ribeirão das Pedras	Descoberto	CAESB	Abastec. d' água
São João	São João	ENERSUL	UHE – 3,2 MW
<b>Bacia do Uruguai</b>			
Caveiras	Caveiras	CELESC	UHE – 4,3 MW
Silveira	Santa Cruz	CELESC	UHE - -
Celso Ramos	Chapecozinho	CELESC	UHE – 5,76 MW
Furnas do Segredo	Jaguari	CEEE	UHE -
<b>Bacia Atlântico/Sudeste</b>			
Santa Cruz	Tacanica	CCPRB	UHE – 1,4 MW
Piraí	Piraí	CELESC	UHE – 1,37 MW
Ernestina	Jacuí	CEEE	UHE – 1,0 MW
Passo Real	Jacuí	CEEE	UHE – 125 MW

Fonte: Carvalho, 1994, p. 293.

Para a construção de um reservatório é necessário que se faça o cálculo do período de vida útil, levando-se em consideração a taxa de produção de sedimentos na bacia, ou seja, esse cálculo permite saber por quanto tempo o aproveitamento irá operar sem ser prejudicado pelo assoreamento do reservatório. A PCH Brecha já se encontra há 56 anos em operação e está localizada numa bacia que é considerada uma das de maior produção de sedimentos no país, portanto é natural que o seu reservatório já esteja bastante assoreado. O problema é que esse quadro de intenso assoreamento se apresenta desde 5 anos após a sua construção e isso prejudica a plena operação da PCH, sobretudo nos períodos de vazões mais baixas. Os engenheiros que projetaram a barragem da PCH Brecha eram ingleses acostumados a projetar barragens num país de clima temperado, onde as taxas de produção de sedimentos são baixas. Quando projetaram a barragem, os engenheiros não levaram em consideração o clima tropical e a alta taxa de produção de sedimentos, até porque não existiam estudos hidrossedimentológicos sobre a Bacia do Rio Piranga na ocasião. A Figura 61 mostra os depósitos de leito e delta, que são responsáveis pelo entulhamento do reservatório, bem como os depósitos de remanso à montante, relacionados à ocorrência de enchentes e as erosões no leito à jusante, relacionadas ao aprofundamento do talvegue.

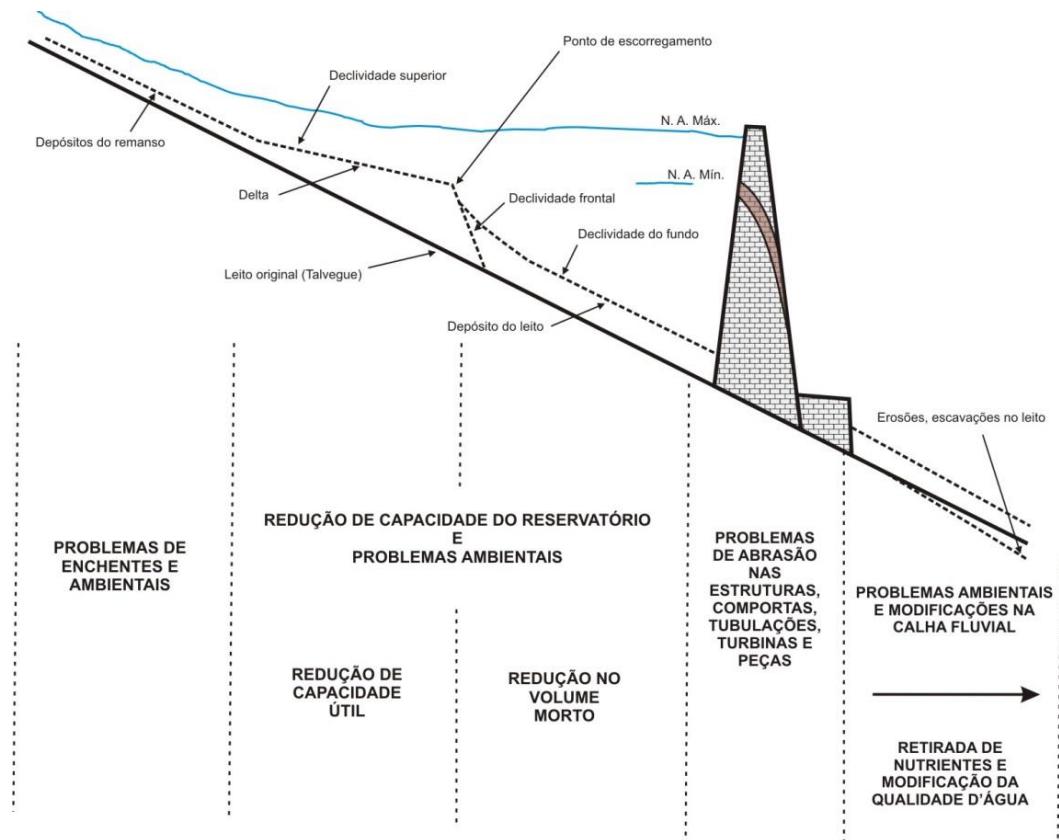


Figura 61 – Modificações na Dinâmica Fluvial Proporcionadas por Barragens;  
Fonte: Adaptado de Carvalho, 1994, p. 290.

Todos os problemas citados na figura anterior estão presentes na barragem da PCH Brecha (Figura 62). Como o aproveitamento é pequeno, os impactos são visíveis no reservatório e alguns quilômetros à montante e à jusante da barragem, que é alvo de uma controvérsia no que tange à questão da liberação dos sedimentos do reservatório. As barragens apresentam um dispositivo chamado comporta de sedimentos, pelo qual é liberada certa quantidade de sedimentos, ajudando a manter controlada a taxa de sedimentação no reservatório e prorrogando a sua vida útil. Entretanto, denúncias feitas pela população e por movimentos sociais dos municípios de Guaraciaba e Ponte Nova através de conversas informais, afirmam que a comporta de sedimentos da barragem da PCH Brecha nunca funcionou, e isso pode explicar o anormal assoreamento do reservatório verificado desde alguns anos após a sua construção.



Figura 62 – Barragem da PCH Brecha;  
Fonte: Acervo do autor, 23/10/2013.

A cidade de Guaraciaba, localizada a 11 km à montante da PCH Brecha apresenta graves problemas relacionados às enchentes que ocorrem periodicamente. Grande parte da população de Guaraciaba e o Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB) alegam que a barragem tem influência direta sobre as enchentes, afirmando que antes da instalação do aproveitamento as enchentes se dissipavam de forma mais rápida, diferentemente do que tem ocorrido nas enchentes pós 1958. A Novelis, empresa do setor de alumínio a qual a PCH pertence, alega que a mesma não interfere na questão das enchentes, afirmando que mesmo que não existisse o reservatório a cidade de Guaraciaba seria afetada pelas enchentes, já que se trata de um fenômeno natural. O MAB conta com a assessoria técnica e jurídica do NACAB (Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens) que pertence à Universidade Federal de Viçosa (UFV) e é composto por cientistas e

estudantes de diversas áreas da referida universidade.

Fazer relações diretas entre barragens e intensificação de enchentes é complicado, pois são necessários estudos detalhados e de longo prazo que contemplem batimetria com o uso de barco e aparelho espectral, análise sedimentológica de precisão e monitoramento intensivo. Um estudo dessa envergadura fica muito oneroso, e provavelmente não seria patrocinado pela empresa e nem por nenhum outro segmento do setor privado e estatal, porque poderia afetar diretamente os seus interesses. O MAB e o NACAB também não dispõem de grandes recursos financeiros para a realização de um estudo desses, o que deixa a questão sem uma explicação científica consistente. Desse modo, o presente trabalho buscou dar um pontapé inicial de cunho científico nessa questão, através da observação e comparação de casos semelhantes estudados por outros autores.

As enchentes que ocorrem em Guaraciaba, assim como as que afetam Piranga, Presidente Bernardes e Porto Firme podem ser atribuídas ao intenso assoreamento presente no rio Piranga. Esse assoreamento é decorrente das práticas inadequadas de manejo do solo que ocorrem desde que a região começou a ser povoada. A construção da barragem da PCH Brecha tornou essa situação mais crítica, porque bloqueou a livre passagem dos sedimentos, formando no reservatório os já citados depósitos de leito e delta; e na entrada do reservatório e a alguns quilômetros à montante os depósitos de remanso, que são responsáveis pelo rápido enchimento da calha fluvial em períodos chuvosos com o consequente transbordamento para as planícies de inundação. A cidade de Guaraciaba, que está a apenas 11 km da barragem é inundada e permanece assim de 2 a 3 dias como ocorreu nas enchentes de 1979, 1997, 2008 e 2012. Relatos de moradores antigos dão conta de que as enchentes que ocorriam antes de 1958 tinham a duração de algumas horas a até no máximo 1 dia, mas não há como fazer comparações mais reais, devido à ausência de dados de cotas fluviométricas anteriores à construção da barragem.

Outro impacto relevante observado à jusante da barragem da PCH Brecha refere-se às mudanças no nível de base dos tributários do rio Piranga. As mudanças nos perfis transversal e longitudinal do rio principal causaram o rebaixamento do nível de base de importantes afluentes como o ribeirão Vau-Açu e o ribeirão Oratórios. A degradação do leito do canal abaixou o nível do fluxo do rio Piranga, afetando toda a descarga, principalmente no período de estiagem, quando o controle do fluxo pela barragem é mais significativo, o que faz com que o pico da descarga do rio principal se realize sempre fora do ritmo de descargas dos tributários.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A morfometria da bacia hidrográfica do rio Piranga revelou que a forma da bacia não é um fator determinante para a ocorrência de grandes enchentes. A bacia do rio Piranga apresenta uma forma alongada, isso significa que o tempo de concentração de águas na bacia é maior, o que não favorece grandes picos de vazão no canal principal. A ocorrência de enchentes no médio e baixo rio Piranga está relacionada aos fortes gradientes dos rios Piranga (900 m), Xopotó (630 m) e Pirapetinga (460 m), e pela amplitude altimétrica da bacia (1100 m). Esses dois fatores relacionados ao relevo acidentado da bacia, revelam uma rápida concentração das águas no rio Piranga, culminando na ocorrência de enchentes.

A análise da geometria hidráulica do rio Piranga revelou as várias formas de canal que o rio apresenta ao longo de seu percurso. Essas formas de canal são produto da interação entre litologia, calibre das partículas de sedimentos e competência de transporte. A granulometria das partículas de sedimentos predominante é arenoso-siltosa, e a competência de transporte de sedimentos é razoável em virtude da sazonalidade das vazões ao longo do ano. Essa conjunção de fatores é responsável pela predominância do padrão geométrico sinuoso, alternado com trechos retilíneos e entrelaçados. A partir da confluência do rio Xopotó com o rio Piranga até a sede municipal de Guaraciaba, a granulometria de sedimentos que passa a predominar é a arenoso-siltosa. A competência de transporte é boa, devido à contribuição das águas do rio Xopotó que mantém uma vazão considerável ao longo do ano. Isso favorece o aparecimento de amplos meandros encaixados que dominam o trecho em questão. Após a sede municipal de Guaraciaba, a granulometria de sedimentos predominante é argiloso-siltosa e a competência de transporte dos sedimentos é boa em decorrência da vazão e da declividade.

Por se tratar de uma área de ocupação antiga, que remonta ao Ciclo do Ouro no século XVIII, a bacia do rio Piranga apresenta diversos problemas ambientais decorrentes da exploração desenfreada de recursos como o ouro, areia e matas nativas (madeira e carvão vegetal); e pelo uso inadequado do solo para a agricultura (café, cana-de-açúcar e silvicultura) e pecuária extensiva. Através das observações de campo foi possível perceber vários pontos com ocorrência de erosão laminar e erosão linear (ravinadas e voçorocas), além de muitos pontos de intenso assoreamento no rio Piranga, principalmente no seu médio curso. O intenso processo erosivo que ocorre na bacia, pode ser observado na concentração de sedimentos em suspensão para o período chuvoso em Porto Firme (138,7 mg/L), confluência entre os rios Turvo Limpo e Piranga em Guaraciaba (246,25 mg/L), ponte de Jurumirim em Guaraciaba (189 mg/L) e Rasa em Ponte Nova (201,35 mg/L). Esses valores poderiam ser mais altos, se a estação chuvosa tivesse sido mais pronunciada na bacia como normalmente é.

Os bancos de solapamento e as barras de canal são formas que ocorrem naturalmente em qualquer curso de água, mas que no caso do rio Piranga, foram intensificados através da retirada das matas ciliares e de vertentes para a implantação de atividades econômicas.

Além da influência dos gradientes dos rios, da amplitude altimétrica e das chuvas intensas e de longa duração, as enchentes que afetam o vale do rio Piranga são também resultado do intenso assoreamento do canal principal e de seus tributários. O cálculo do intervalo de recorrência de enchentes para a série 1974-2012 apresentou 39 anos de intervalo para a ocorrência de uma cheia de máxima magnitude para Piranga, Porto Firme e Ponte Nova. Em Piranga, o intervalo da maior cheia (1997) para a segunda maior (1979) foi 18 anos. Já em Porto Firme, esse intervalo foi de 15 anos, com a maior cheia ocorrida em 1997 e a segunda maior em 2012. Em Ponte Nova, o intervalo da maior cheia (2012) para a segunda maior (1997) também foi de 15 anos. As enchentes de 2008 e 2012 são consideradas as de maior poder de destruição no vale do Piranga, no entanto, com exceção de Ponte Nova e Porto Firme onde a encheente de 2012 figurou em 1º e 2º lugares, respectivamente, as que apresentaram as maiores vazões foram as de 1997 e 1979. A encheente de 2008 apresentou vazões bem menores que as observadas em outros eventos de enchentes, entretanto essa encheente provocou grandes prejuízos em todas as sedes municipais banhadas pelo rio Piranga. Desse modo, pode-se atribuir o assoreamento como causa do rápido transbordamento das águas do Piranga durante as enchentes de 2008 e 2012, além do crescimento da ocupação urbana das áreas de várzeas.

Nas sedes municipais de Piranga e Presidente Bernardes o nível do rio se eleva e abaixa rapidamente, o pico da inundação dura menos que vinte quatro horas, o que pode ser explicado pela forte declividade do canal. Nas cidades de Guaraciaba e Ponte Nova, as águas ficam retidas por um tempo maior. Em Guaraciaba, isso ocorre em virtude da declividade menos acentuada e da existência da PCH Brecha à jusante do perímetro urbano. No caso de Ponte Nova, as causas são a declividade, que é a menor da bacia do rio Piranga e a UHE Risoleta Neves situada à jusante da cidade.

A PCH Brecha, construída no rio Piranga em 1958 e situada no município de Guaraciaba, alterou significativamente o perfil de equilíbrio do rio. A barragem elevou em 10 metros o canal de montante, o que contribuiu para a agradação do leito em decorrência da deposição de sedimentos no reservatório que é um dos mais assoreados do Brasil. À jusante da barragem houve entalhamento do leito, o que promoveu a reativação de erosão nas margens (bancos de solapamento).

As enchentes que ocorrem em Guaraciaba vêm sendo intensificadas pelo assoreamento do rio Piranga, decorrente das práticas inadequadas de manejo do solo que ocorrem desde que a região

começou a ser povoada. A construção da barragem da PCH Brecha tornou essa situação mais crítica, porque bloqueou a livre passagem dos sedimentos, formando no reservatório os já citados depósitos de leito e delta; e na entrada do reservatório e a alguns quilômetros à montante os depósitos de remanso, que são responsáveis pelo rápido enchimento da calha fluvial em períodos chuvosos com o consequente transbordamento para as planícies de inundação. A cidade de Guaraciaba, que está a apenas 11 km da barragem, acaba sendo inundada e permanece assim de 2 a 3 dias como ocorreu nas enchentes de 1979, 1997, 2008 e 2012. Relatos de moradores antigos dão conta de que as enchentes que ocorriam antes de 1958 tinham a duração de 24 horas. Desse modo, a barragem da PCH Brecha através do efeito da curva de remanso, pode influenciar a magnitude das enchentes que atingem Guaraciaba por meio da redução da velocidade de propagação da onda de cheia.

Já Ponte Nova é inundada pela água que passa pela barragem da PCH Brecha e chega à cidade, que está numa área de declividade menos acentuada, após passar por um trecho de considerável declive, ganhando velocidade. No perímetro urbano, essa velocidade cai bruscamente, deixando a parte baixa submersa pelo período de 2 a 3 dias. Cabe lembrar também que a 34 km à jusante de Ponte Nova está a Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, situada no rio Doce (após confluência entre os rios do Carmo e Piranga). Semelhantemente ao caso da PCH Brecha, a UHE Risoleta Neves também pode ter influência sobre as enchentes que atingem Ponte Nova em decorrência do retardamento do tempo de escoamento das águas.

Durante a realização da pesquisa foram encontradas algumas dificuldades na captação de informações que deveriam ser de fácil acesso à população, mas que ficam ocultas por vontade do Poder Público, que quase sempre, não se importa com a execução de planejamento para o controle de enchentes, conservação de bacias hidrográficas e a redução de áreas de ocupação de risco. Diante do exposto, recomendam-se as seguintes medidas como forma de se diminuir a degradação da Bacia do Rio Piranga e a ocorrência de catástrofes:

- Ampliação dos projetos de recuperação de áreas degradadas, através do reflorestamento com espécies nativas, cercamento de nascentes, plantio direto e construção de cacimbas para promover a infiltração de água no solo;
- Criação de mais Unidades de Conservação;
- Construção de Estações de Tratamento de Esgoto para tratar o esgoto doméstico *in natura*;
- Comprometimento do setor agroindustrial para o tratamento de resíduos que são lançados no rio;

- Intensificação da fiscalização por parte dos órgãos competentes, e principalmente do Poder Público Local, para evitar a extração ilegal de areia e ouro, além de conter os aterros e as construções às margens dos rios;
- Expansão das estações pluviométricas e fluviométricas para outros municípios da bacia, principalmente para aqueles situados nas cabeceiras;
- Preservação e reflorestamento dos topos de morros e margens do rio Piranga e seus afluentes;
- Incluir os municípios à montante de Ponte Nova, no sistema de alerta, a fim de que a população seja avisada, e retirada das áreas de risco antes da inundação, como já acontece em Ponte Nova;
- Acessibilidade de informações, por parte dos Órgãos Ambientais e do Poder Público Local, a fim de que a burocracia não comprometa o desenvolvimento de pesquisas.

Tendo como base as considerações divulgadas nesta pesquisa, tem-se como perspectiva para trabalhos futuros:

- Efetivar estudos mais detalhados sobre a PCH Brecha e outros aproveitamentos hidrelétricos que estão em vias de surgir no rio Piranga, buscando relações que levem à sua influência sobre as enchentes no vale do Piranga;
- Analisar de forma mais contundente as variáveis: precipitação, cota fluviométrica, vazão, concentração de sedimentos em suspensão, granulometria da carga de leito, processos erosivos, assoreamento, dentre outras, a fim de entender o comportamento dos afluentes do Piranga, e sua influência nas enchentes que atingem a bacia, principalmente o rio Xopotó, rio Turvo Limpo, ribeirão Oliveira, rio Pirapetinga e rio Bacalhau.

## REFERÊNCIAS

- AB' SÁBER, Aziz Nacib. **Os Domínios de Natureza no Brasil:** Potencialidades Paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.
- ÁGUAS DO RIO DOCE. **Atlas Escolar da Bacia do Rio Doce.** Nossa território nossa gente. 1<sup>a</sup> ed. Volume I. Regiões Hidrográficas, 2007. 60p.
- AGUIAR, Alexandre Marques de. **Análises hidrogeomorfológicas e hidrossedimentológicas para comparação de duas bacias hidrográficas contribuintes do reservatório de Itaipu.** 158 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/.../ALEXANDRE\\_MARQUES\\_AGUIAR.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/.../ALEXANDRE_MARQUES_AGUIAR.pdf)>. Acesso em: 02 de fev. 2013.
- ALUMÍNIO DO BRASIL – ALCAN. **UHE da Brecha:** diagnóstico e recomendações para minimizar os efeitos de inundações na cidade de Guaraciaba – MG: relatório técnico. Belo Horizonte: HE Consultoria de Engenharia, 1997.
- ANTÔNIO, Delzirene de Vasconcelos. Estudo Hidrológico da Bacia do Rio Piranga em Ponte Nova, Estado de Minas Gerais. In: BARROS, Maria Cecília Viana de.; ANTÔNIO, Delzirene de Vasconcelos. **Estudo das Características Físicas e Hidrológicas da Bacia do Rio Piranga Até Ponte Nova, No Estado de Minas Gerais.** Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1967. pp. 39-64.
- ASSIS, Leonardo Campos de. **Simulação de Processos Hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Piranga.** 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa - MG, 2012. Disponível em: <[http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde\\_arquivos/43/TDE-2013-04-12T090636Z-4423/Publico/texto%20completo.pdf](http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/43/TDE-2013-04-12T090636Z-4423/Publico/texto%20completo.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.
- BARROS, Maria Cecília Viana de. Estudo Geral das Características Flúvio-Morfológicas da Bacia do Rio Piranga em Ponte Nova Estado de Minas Gerais. In: BARROS, Maria Cecília Viana de.; ANTÔNIO, Delzirene de Vasconcelos. **Estudo das Características Físicas e Hidrológicas da Bacia do Rio Piranga Até Ponte Nova, No Estado de Minas Gerais.** Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1967. pp. 9-37.
- BUENO, Guilherme Taitson; TRINDADE, Elaine de Sousa; MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira. Paleociclos Depositionais e a Moderna Dinâmica Fluvial do Ribeirão do Chiqueiro – Depressão de Gouveia/Espinhaço Meridional – MG. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, pp. 15-

19, 1997. Disponível em: <[www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/5\\_2\\_15\\_19\\_Bueno.pdf](http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/5_2_15_19_Bueno.pdf)>. Acesso em: 14 de fev. 2013.

CARDOSO, Christiany Araújo; DIAS, Herly Carlos Teixeira; SOARES, Carlos Pedro Boechat; MARTINS, Sebastião Venâncio. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 30, n. 2, pp. 241 – 248, 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622006000200011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622006000200011&script=sci_arttext)>. Acesso em: 10 jun. 2014.

CARVALHO, Celso Santos; MACEDO, Eduardo Soares de; OGURA, Agostinho Tadashi. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007. 176p. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/...riscos/.../livro-mapeamento-de-riscos-em-encostas-de-margens-e-rios>>. Acesso em: 13 de jun. 2009.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

CARVALHO, Newton de Oliveira; FILIZOLA JÚNIOR, Naziano Pantoja; SANTOS, Paulo Marcos Coutinho dos; LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000. 106p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/GuiaAsso.pdf>>. Acesso em: 28 de set. 2012.

CASTRO, José Flávio Moraes. **Aspectos Históricos, Culturais e Geográficos do Município de Guaraciaba - Minas Gerais**. Belo Horizonte: Ed. PUC-MG, 2008. 164p.

CHORLEY, Richard John. Modelos em Geomorfologia. In: CHORLEY, Richard John.; HAGGET, Paul. **Modelos Físicos e de Informação em Geografia**. Tradução de Arnaldo Viriato de Medeiros. Rio de Janeiro: Ed. da Universidade de São Paulo e Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1975. pp. 32-63

CHRISTOFOLETTI, Antônio. A Dinâmica do Escoamento Fluvial. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, Ano 34, n. 249, pp. 58-71, 1976.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188p.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313p

COELHO, André Luiz Nascentes. Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Rio Doce: uma atualização. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6, 2006. Goiás, **Anais...**, Goiânia: União da Geomorfologia Brasileira,

2006. Disponível em: <[www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/416.pdf](http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/416.pdf)>. Acesso em: 14 de jun. 2013.

COELHO, André Luiz Nascentes. **Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES.** 245f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007. Disponível em: <[http://www.ebookcult.com.br/produto/Alteracoes\\_hidrogeomorfologicas\\_no\\_medio\\_baixo\\_Rio\\_Doce\\_ES-54728](http://www.ebookcult.com.br/produto/Alteracoes_hidrogeomorfologicas_no_medio_baixo_Rio_Doce_ES-54728)>. Acesso em: 13 de fev. 2013.

CORREA, Geraldo Terceiro; SOUZA FILHO, Edvard Elias. Avaliação dos Processos de Erosão Marginal no Arquipélago Floresta Japonesa (Alto Rio Paraná). **Revista Geografia**, Londrina, PR, v. 18, n. 2, p. 1-20, 2009. Disponível em: <[www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/download/.../3309](http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/download/.../3309)>. Acesso em: 15 out. 2010.

CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antônio José Teixeira. Degradação Ambiental. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. pp. 337-379.

CUNHA, Sandra Baptista da. Bacias Hidrográficas. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. pp. 229-271.

CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. pp. 211-252.

CUPOLILLO, Fulvio. **Diagnóstico Hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce.** 153 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte - MG, 2008. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/.../final\\_em\\_pdf.pdf](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/.../final_em_pdf.pdf)>. Acesso em: 21 de jul. 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Avaliação ambiental integrada dos aproveitamentos hidrelétricos na bacia do Rio Doce.** 2005. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Documents/MeioAmbiente\\_7/TR%20AAI%20Rio%20Doce.pdf](http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Documents/MeioAmbiente_7/TR%20AAI%20Rio%20Doce.pdf)>. Acesso em: 12 jul. de 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Avaliação ambiental integrada dos aproveitamentos hidrelétricos na bacia do Rio Doce.** 2006. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Empreendimentos/20061219\\_9.pdf](http://www.epe.gov.br/Empreendimentos/20061219_9.pdf)>. Acesso em: 04 jul. de 2013.

**GOOGLE EARTH. CNES / SPOT IMAGE, 2013.** Disponível no software Google Earth. Acesso em: 25 jan. 2014

**GRISON, Fernando; KOBIYAMA, Masato.** Teoria e Aplicação da Geometria Hidráulica: revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 2, pp. 25 – 38, 2011.

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS - IGA. Carta do Município de Ponte Nova 1:50.000.** Belo Horizonte: IGA, 1982.

**LABORATÓRIO DE BIOGEOGRAFIA E CLIMATOLOGIA – UFV. Trabalho de Campo com a Turma GEO 423 – Geografia das Águas na Bacia do Rio Piranga entre as Cidades de Porto Firme e Ponte Nova.** Disponível em: <<http://bioclimaufv.blogspot.com.br/p/experiencias-em-atividades-de-campo.html>>. Acesso em: 25 jan. 2014.

**LEOPOLD, Luna B.; MADDOCK, T.** The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. **United States Geological Survey**, Prof. Paper. 252, 1953. 56p.

**LEOPOLD, Luna B.; WOLMAN, M. Gordon; MILLER, John P.** **Fluvial Processes in Geomorphology.** San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1964. 522p.

**MARCUZZO, Francisco F. N.; ROMERO, Vanessa; CARDOSO, Murilo R. D.; PINTO FILHO, Ricardo.** Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Doce. In: **XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Anais...,** Maceió: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2011. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/0a6234fae1fcf5a8f3aaeb6a8ea89635\\_19a98035f65b20b41ff28fd16ae5c1d5.pdf](http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/0a6234fae1fcf5a8f3aaeb6a8ea89635_19a98035f65b20b41ff28fd16ae5c1d5.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.

**MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F.** A Cartografia das Unidades de Paisagem: Questões Metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 14, pp. 39-46, 2001. Disponível em: <[http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG\\_14/RDG14\\_Martinelli.pdf](http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_14/RDG14_Martinelli.pdf)>. Acesso em: 15 de out. 2010.

**NASCIMENTO, Rosilene Aparecida do.** **Análise dos Impactos e Repercussões do Evento Pluvial Intenso no Município de Piranga – MG, em 17 de Dezembro de 2008.** 129f. Dissertação (Monografia em Geografia). Curso de Geografia. Departamento de Geografia, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa – MG, 2009.

**NASCIMENTO, Rosilene Aparecida do.** **Análise das Inundações de 1979, 1997, 2008 e 2012 na Bacia do Rio Piranga – MG.** 178f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-

graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC (MG), Belo Horizonte – MG, 2013. Disponível em: <[http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/TratInfEspacial\\_NascimentoRA\\_1.pdf](http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/TratInfEspacial_NascimentoRA_1.pdf)>.

NIMER, Edmond. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422p.

PETTS, Geoffrey E.; FOSTER, Ian D. L. **Rivers and Landscape**. London: Ed. Edward Arnold, 1985. 274p.

PFAFSTETTER, Otto. **Deflúvio Superficial**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1976. 144p.

PINHEIRO, Adilson. Enchente e Inundação. In: SANTOS, Rozely Ferreira dos (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. pp. 95-106. Disponível em:<[http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/livros/Vulnerabilidade\\_ambiental\\_desastres\\_naturais\\_ou\\_fenomenos\\_induzidos\\_MMA\\_2007.pdf](http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/livros/Vulnerabilidade_ambiental_desastres_naturais_ou_fenomenos_induzidos_MMA_2007.pdf)>. Acesso em: 13 de maio 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CATAS ALTAS DA NORUEGA. **História de Catas Altas da Noruega**. Disponível em: <[http://www.catasaltasdanoruega.mg.gov.br/mat\\_vis.aspx?cd=6495](http://www.catasaltasdanoruega.mg.gov.br/mat_vis.aspx?cd=6495)>. Acesso em: 14 de jan. 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO FIRME. **História do Município de Porto Firme**. Disponível em: <<http://www.portofirme.mg.gov.br/?pg=pagina&id=18>>. Acesso em: 20 de jan. 2014.

PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Ministério das Minas e Energia: Secretaria Geral. Rio de Janeiro, 1983. v. 32. 780p.

RIBEIRO FILHO, Antônio Brant. **O Canto do Piranga: Um rio, muitas histórias**. Ponte Nova: 2008. 148p.

SANTOS, Gisele Barbosa dos. **Geomorfologia Fluvial no Alto Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero – MG: Paleoníveis Depositionais e a Dinâmica Atual**. 131f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte - MG, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/MPBB-7FBFFV>>. Acesso em: 14 de jun. 2009.

SILVA, Leonardo Alves de Oliveira. **A Desorganização do Espaço Urbano em Ponte Nova (MG) Frente às Grandes Enchentes de 1951, 1979, 1997 e 2008**. 66f. Dissertação (Monografia em Geografia). Curso de Geografia. Departamento de Geografia, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa – MG, 2009.

STIPP, Nilza Aparecida Freres; CAMPOS, Ricardo Aparecido; CAVIGLIONE, João Henrique. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara – Uma Contribuição para o Estudo das Ciências Ambientais. **Portal da Cartografia.** Londrina (PR), v. 3, n. 1, pp. 105–124, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

SUGUIO, Kenitiro; BIGARELLA, João José. **Ambiente Fluvial.** Curitiba: Ed. Universidade Federal do Paraná, 1979. 183p.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 943p.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.