

MÁRCIA CRISTINA DA CUNHA

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS CAIXAS DE CONTENÇÃO DE
SEDIMENTO EM ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS NA
BACIA DO RIO DAS PEDRAS, GUARAPUAVA-PR**

Guarapuava, 2011

MÁRCIA CRISTINA DA CUNHA

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS CAIXAS DE CONTENÇÃO DE
SEDIMENTO EM ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS NA
BACIA DO RIO DAS PEDRAS, GUARAPUAVA-PR**

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Geografia (Área de Concentração: Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos).

Orientador: Prof. Dr. Edivaldo Lopes Thomaz

Guarapuava, 2011

PARECER

Dedico este trabalho aos meus pais: Gercindo Alves da Cunha e Maria D. de Barros da Cunha:

*Obrigada pela compreensão e apoio em todos os momentos de
minha trajetória...*

A vocês só tenho a agradecer.

AGRADECIMENTOS

- A Deus, pela sabedoria e generosidade na sua criação;
- Ao meu professor orientador Dr. Edivaldo Lopes Thomaz, um agradecimento especial por aceitar-me como orientanda, pela amizade, apoio, orientação, compreensão, e por todo ensinamento transmitido no decorrer da pesquisa;
- Ao professor Dr. Leandro Redin Vestena por todo apoio, pela amizade, orientação e ensinamentos transmitidos;
- A UNICENTRO/ Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Curso de Pós-Graduação em Geografia, por me acolher como aluna do mestrado;
- A professora Dr. Márcia da Silva coordenadora do programa de Pós-graduação em Geografia pelo apoio e incentivo durante o trabalho e principalmente pela amizade dedicada;
- Agradeço ao amigo Éderson Dias de Oliveira pela força durante os trabalhos de campo e por sempre estar presente quando precisei;
- Aos meus pais Gercindo e Maria Cunha por tudo que fizeram por mim, que sempre me apoiaram em minhas decisões;
- A Companhia de Saneamento do Estado do Paraná (SANEPAR), por ceder material de fundamental importância na pesquisa, e aos funcionários Elizeu Grzeszezyzen e Naor Lima de Souza pela disponibilidade que tiveram para me ajudar;
- A Agência Nacional de Águas (ANA), especialmente ao Edson Sakae Nagashima por me encaminhar os dados de precipitação e vazão, essenciais à pesquisa;
- Ao Mauro Battistelli pela entrevista cedida para pesquisa, e a Prefeitura Municipal de Guarapuava pela disponibilidade de material cartográfico;
- A todos os moradores da bacia hidrográfica do Rio das Pedras pela compreensão e contribuição com a pesquisa;
- A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante todo o trabalho proporcionando aquisição de livros e participação em eventos;
- Aos professores Dr. Oscar Quinonez Fernandez, Aparecido Ribeiro de Andrade e Fabiano Antonio de Oliveira pelas suas contribuições e sugestões em relação à pesquisa;
- A todos meus amigos (a) pela sincera amizade, apoio, compreensão, contribuição nesta trajetória.

A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original

(Albert Einstein)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número de ordem e logarítmo do número de canais	39
Figura 2. Vale do Rio das Pedras	47
Figura 3. Características das estradas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras	67
Figura 4. Características das estradas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras	69
Figura 5. Características das estradas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras	70
Figura 6. Características das estradas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras	73
Figura 7. Atoleiros e pista escorregadia	75
Figura 8. Estradas rurais como fonte e transferência de sedimentos.....	78
Figura 9. Medidas de controle de sedimentos	81
Figura 10. A. Porcentagem de caixas ativas e inativas (2008).....	83
Figura 10. B. Porcentagem de caixas ativas e inativas (2010).....	83
Figura 11. Estradas com pedra irregular.....	88
Figura 12. Caixas destruídas.....	89
Figura 13. Correlação de precipitação, vazão e turbidez na primavera.....	90
Figura 14. Correlação de precipitação e vazão e turbidez no verão	91
Figura 15. Correlação de precipitação, vazão e turbidez no outono.....	92
Figura 16. Correlação de precipitação, vazão e turbidez no inverno	93
Figura 17. Análise da relação de precipitação, vazão e turbidez.....	94
Figura 18. Média móvel	95
Figura 19. Comparação de turbidez com as estações do ano	97

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio das Pedras em relação ao município.....	4
Mapa 2. Localização da bacia hidrográfica do Rio das Pedras	24
Mapa 3. Localização da bacia hidrográfica do Rio Guabiroba	34
Mapa 4. Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio das Pedras	40
Mapa 5. Declividade da bacia hidrográfica do Rio das Pedras	43
Mapa 6. Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	46
Mapa 7. Uso da Terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	51
Mapa 8. Unidades de uso da terra	52
Mapa 9. Mapa da rede viária da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	57
Mapa 10. Mapa da rede de drenagem e rede viária	59
Mapa 11. Cruzamento de estradas e cursos d'água	62
Mapa 12. Localização dos setores mensurados	65
Mapa 13. Ponto de captação de água (SANEPAR).....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índices morfométricos da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	39
Tabela 2. Classificação da declividade da bacia hidrográfica do Rio das Pedras	42
Tabela 3. Hipsometria da bacia hidrográfica do Rio das Pedras	45
Tabela 4. Uso da Terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras	49
Tabela 5. Classes de declividade do terreno.....	53
Tabela 6. Rede viária da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.	56
Tabela 7. Características das caixas de contenção (2008).....	82
Tabela 8. Área de contribuição média das caixas (2008)	82
Tabela 9. Área de contribuição média das caixas (2010).	84
Tabela 10. Soma anual de precipitação, vazão e turbidez	96
Tabela 11. Contribuição por estação do ano de precipitação, vazão e turbidez.....	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	66
Quadro 2. Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	68
Quadro 3. Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	68
Quadro 4. Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	69
Quadro 5. Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	70
Quadro 6. Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	72

LISTA DE SÍMBOLO

Símbolo	Descrição	Unidade
A	Área total da bacia Hidrográfica	km ²
P	Perímetro da bacia hidrográfica	km
L	Comprimento da bacia hidrográfica	km
L _t	Comprimento total dos cursos fluviais	km
D _d	Densidade de drenagem	km/km ²
N _r	Número total de segmentos	Adimensional
Ep _s	Extensão do percurso superficial	km
H _m	Amplitude topográfica	m
D _r	Densidade de rios	rio/km ²
R _b	Leis dos números de canais	Adimensional
(1)	Estrada primária	km
(2)	Estrada secundária	km
(3)	Estrada terciária ou caminhos	km
W	Ordem da bacia	Adimensional
N _w	Logaritmo do número de canais	Adimensional
>	Maior	Adimensional
<	Menor	Adimensional
(°)	Grau	Adimensional
(mm)	Milímetro	mm
(m ³ /s)	Metro cúbico por segundo	m ³ /s
(NTU)	Unidades Nefelométricas de Turbidez	ntu
(r)	Coefficiente de Pearson	Adimensional

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE MAPAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
SUMÁRIO.....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo geral	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1. Bacias hidrográficas como unidade de estudo.....	6
3.2. Estradas rurais não pavimentadas.....	10
3.2.1. Medidas para mitigar problemas na faixa de rolamento em estradas rurais.....	17
3.3. Controle de escoamento superficial e sedimentos em estradas rurais	19
3.4. Turbidez.....	22
3.5. Caracterização da área de estudo.....	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1. Procedimentos executados para a elaboração dos produtos cartográficos	28
4.2. Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do Rio das Pedras	30
4.3. Trabalhos realizados em campo	32
4.3.1. Caracterização das medidas de controle de sedimentos	33
4.3.2. Entrevistas	35
4.3.3. Análise dos dados precipitação, vazão e turbidez	35
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	38
5.1. Análise da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio das Pedras	38
5.2. Análise da declividade da bacia hidrográfica do Rio das Pedras	42
5.3. Análise do uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	48
5.4. Análise da rede viária da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.....	55

5.5. Identificação dos impactos provocados pela localização e manutenção das estradas	63
5.5.1. Características das estradas rurais	66
5.6. Medidas de controle de sedimentos	77
5.7. Entrevistas	86
5.8. Avaliação da eficácia das medidas de controle de sedimentos	90
6. CONCLUSÕES.....	100
7. REFERÊNCIAS	103
8. ANEXOS	109

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS CAIXAS DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTO EM ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS NA BACIA DO RIO DAS PEDRAS, GUARAPUAVA-PR

RESUMO

O traçado das estradas que cortam grande número de rios, somado a drenagem lateral faz com que as águas cheguem rapidamente à rede de drenagem aumentando a vazão. Disso resulta grande produção de sedimentos haja vista que algumas estradas e caminhos internos não possuem dissipadores de energia. Portanto o presente trabalho teve por objetivo analisar e discutir a avaliação da eficácia das caixas de contenção como medida de controle de sedimento em estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Guarapuava, Paraná, Brasil, bem como mensurar as características das estradas nesta área. No estudo empregou-se a manipulação dos dados disponível em meio digital, trabalhos realizados em campo com entrevistas, coleta de dados de precipitação, vazão e turbidez série 1996-2009 e mensuração das estradas rurais. Por meio da análise dos resultados constatou-se que grande parte da bacia do Rio das Pedras ainda possui cobertura significativa, ou seja, em torno de 90,1% da área ainda encontra-se com cobertura vegetal, no entanto o uso da terra envolve atividades diversificadas, como agricultura, indústria, pecuária entre outras. O sistema de drenagem da bacia é de 5ª ordem com densidade de drenagem de 1,37 km/km², caracterizando a mesma com drenagem baixa. O número de caminhos internos supera as estradas principais, que em grande parte não possui dissipadores de energia, potencializando a entrada de sedimentos nos cursos d'água. A bacia apresenta declives compreendidos entre 8 a 20% em 44% da área indicando relevo ondulado. Averiguo-se que em torno de 70% caixas mensuradas encontravam-se inativas, havendo uma deterioração em média de 10% do total de caixas mensuradas a cada dois anos. Na série analisada que compreende 14 anos (1996-2009), verificou-se que houve uma redução de turbidez de 21,5% depois da implantação das medidas de controle de sedimentos. A análise dos dados permitiu concluir que a turbidez diminuiu significativamente após a implantação das caixas, diminuindo também o custo de tratamento de água que abastece o município, no entanto como não houve manutenção, as caixas de contenção foram perdendo gradualmente sua eficácia.

Palavras- chave: Rio das Pedras, estradas rurais, sedimento, caixas de contenção, turbidez.

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF SEDIMENT CONTAINMENT BOXES IN NON PAVED ROADS IN THE STONES RIVER BASIN, GUARAPUAVA-PR

ABSTRACT

The layout of the roads that cross numerous rivers, added with lateral drainage causes the water to come quickly to the drainage network by increasing the flow. This results in high sediment yield considering that some internal roads and paths have no sinks of energy. Therefore this study aimed to examine and discuss the evaluation of containment boxes effectiveness as a measure sediment control on rural roads of Sones River basin, Guarapuava, Paraná, Brazil, as well as to measure the characteristics of the roads in this area. In this study we used the manipulation of available data in a digital middle, performed in the field with interviews, collection of precipitation data, flow and turbidity measurement and 1996-2009 series of country roads. By analyzing the results it was found that much of the Stones River basin still has significant coverage, i.e around 90.1% of the area is still covered with vegetation, however the use of land involves diversified activities such as agriculture, industry, livestock and others. The basin drainage system is the fifth order with drainage density of 1.37 km / km², characterizing it as of poor drainage. The number of internal paths overcomes the main roads, which largely lacks energy sink, increasing the input of sediment in rivers. The basin has slopes between 80-20% in 44% of the area indicating Plains. It was found that around 70% of measured boxes were inactive, with a deterioration in average 10% of cases measured every two years. In the studied series that includes 14 years (1996-2009), it was found that there was a turbidity reduction of 21.5% after the implementation of sediment control measures. Data analysis showed that the turbidity decreased significantly after the implementation of the boxes, also reducing the cost of water treatment that supplies the city, however as there was no maintenance, the containment boxes were gradually losing their effectiveness.

Keywords: River Stones, sediment, rural roads, containment boxes, turbidity.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, uma grande parcela dos geógrafos físicos tem se interessado cada vez mais por estudos em bacias hidrográficas e por processos ambientais neste recorte espacial, porém deve-se se atentar ao fato de que não basta apenas descrever ou quantificar morfométricamente as paisagens.

É necessário ir além desta simples constatação, e entender o padrão de organização dos processos operantes na paisagem. Assim, a ciência geomorfológica básica e aplicada evolui em conjunto, no sentido de explicar os processos e as formas geomorfológicas, ao mesmo tempo em que busca aplicar conhecimentos para solucionar problemas de diversas ordens decorrentes da ocupação da paisagem (THOMAZ, 2005a).

Os processos hidrológicos afetam a erosão do solo, o transporte de sedimentos erodidos, a deposição de sedimentos e as características físicas, químicas e biológicas que, coletivamente, determinam, em parte, a qualidade das águas, superficiais e subterrâneas (MACHADO e VETTORAZZI, 2003).

Os ecossistemas naturais a princípio se mostravam em equilíbrio, no entanto, com o progresso da humanidade, houve uma intensa intervenção na apropriação dos recursos naturais. Neste contexto, o estudo da complexa dinâmica de uma bacia hidrográfica mostra-se fundamental para a tomada de decisões sobre o planejamento dos recursos naturais, porque representam a principal fonte de captação de água para o consumo. “O estudo de processos hidrológicos nas bacias hidrográficas também é relevante quando se analisa o uso da água e a possível falta da mesma para abastecer a demanda mundial” (PACHECHENIK, 2004, p. 14).

Cabe destacar a crescente ocorrência de interferências antrópicas no ciclo hidrológico natural, representadas principalmente por construção de represas, transposições de bacias, retirada excessiva de água de rios, desmatamento, com conseqüente aumento do escoamento superficial e da erosão/assoreamento de cursos d’água. Estas ações obviamente não modificam o volume total de água existente no planeta, mas provocam alterações nas quantidades disponíveis em cada compartimento (SPERLING, 2006).

Uma das principais ferramentas de subsídio nestes estudos é uso de mapas temáticos que tem como objetivo auxiliar na interpretação dos resultados. “Parte da Geografia Física Brasileira tem abordado o estudo do meio físico em sua totalidade, haja vista, temas como ecologia da paisagem, geossistema, estudos de ecodinâmica, serem recorrentes na Geografia” (THOMAZ, 2005a, p.1617). O autor destaca que a ampliação do uso de geoprocessamento

nos estudos voltados ao meio físico tomou ainda mais impulso nas últimas décadas, com isso é possível a sobreposição de mapas temáticos que ajudam na integração de dados (THOMAZ, 2005a).

No entanto, é imprescindível que os trabalhos em campo sejam realizados, com observações, mensurações, e monitoramento dos processos, para que a pesquisa não tenha prejuízos na análise dos resultados. Por isso as caracterizações dos parâmetros morfométricos com ajuda de geoprocessamento servem de base para a pesquisa, paralelamente aos trabalhos de campo, que auxiliam substancialmente na interpretação dos resultados.

O uso desta ferramenta se mostrou de fundamental importância na análise das estradas rurais não pavimentadas da bacia hidrográfica do Rio das Pedras (BHRP), a partir do banco de dados disponível em meio digital da rede de drenagem, rede viária, declividade, hipsometria e uso da terra. Estes auxiliaram na interpretação dos resultados da pesquisa.

Estradas não pavimentadas aqui são compreendidas como elementos presentes nas paisagens rurais que exercem forte controle sobre o escoamento superficial. Essas vias permitem o deslocamento de pessoas, veículos e animais, contribuindo assim com as necessidades básicas de uma sociedade. Os estudos sobre estradas rurais e seus processos podem fornecer amparo técnico para uma gestão mais eficiente e determinar até que ponto é possível explorar os recursos de uma bacia sem correr o risco de degradá-la.

O trabalho não pretende fornecer toda a base de conhecimento sobre o comportamento das estradas rurais não pavimentadas e de medidas de controle de escoamento de sedimentos (caixas de contenção), mas tem a intenção de lançar idéias e respostas sobre alguns aspectos essenciais da questão, como por exemplo, o impacto gerado pela implantação e manutenção de estradas.

As caixas de contenção são medidas de controle de escoamento implantadas na BHRP, com o objetivo de reter água e sedimentos produzidos, sobretudo em estradas rurais, diminuindo a entrada de sedimentos e material particulado nos corpos hídricos. As caixas implantadas fazem parte de uma das etapas de um projeto desenvolvido com o nome Proteção e Manejo da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras: relato de experiências.

Os sistemas de gerência de vias, que constituem de um elenco de atividades coordenadas, relacionadas com planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa, constituem a ferramenta que pode ajudar os organismos rodoviários na otimização do uso dos recursos (ODA *et al*, 2007). Incontestável sua implantação para a locomoção, as estradas carecem de investigações mais específicas voltadas para o planejamento do seu uso adequado. É neste contexto que se tornam necessárias as pesquisas referentes aos elementos

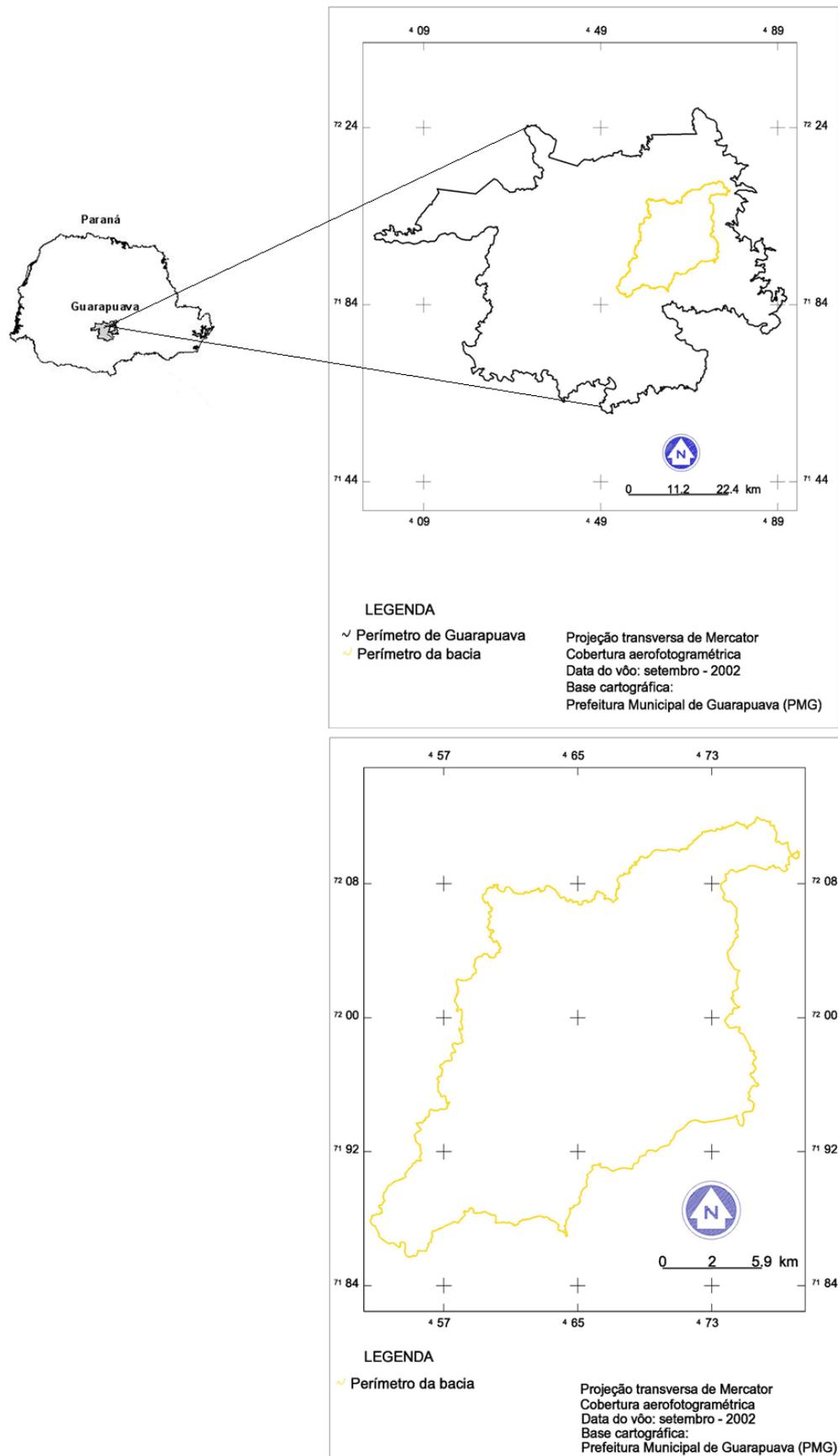
presentes nas paisagens (estradas não pavimentada), na tentativa de mitigar os problemas gerados pela sua implantação e manutenção.

Por sua vez, a BHRP está inserida numa região em que as principais nascentes que formam o Rio das Pedras estão na Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Esperança, instituída pela Portaria Federal N.º 507/02, de 17 de dezembro de 2002, sendo um manancial para a captação de água para o município de Guarapuava, Mapa 1.

O tratamento da água que abastece o município carece de estudos peculiares, pois este tratamento pode se tornar mais caro ou barato de acordo com a qualidade da água do manancial. Um dos problemas que pode estar ligado ao custo elevado do tratamento da água é a turbidez que, devido à entrada de sedimentos e material particulado no canal fluvial, pode causar alteração na qualidade da água, elevando o custo do tratamento, bem como pode prejudicar a vida aquática.

Por sua vez a bacia em questão é a área de captação de água que abastece o município. Portanto a turbidez no Rio das Pedras pode prejudicar a qualidade da água que é utilizada para o abastecimento, sendo que o estudo aqui apresentado pretende esclarecer questões sobre a implantação das medidas de controle de sedimentos em estradas rurais que vão interferir principalmente na qualidade da água fornecida.

Diante disso, esta pesquisa tem como finalidade avaliar a eficácia das medidas de controle de escoamento e sedimento (caixas de contenção) em estradas rurais não pavimentadas da BHRP, Guarapuava-PR.



Mapa 1- Localização da bacia hidrográfica do Rio das Pedras em relação ao município de Guarapuava
 Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficácia das caixas de contenção como medida de controle de sedimento implantadas em estradas rurais não pavimentadas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Guarapuava-PR.

2.2 Objetivos Específicos:

- Caracterizar os principais aspectos físicos e o uso da terra na bacia hidrográfica do Rio das Pedras;
- Extrair informações da rede viária da bacia hidrográfica do Rio das Pedras.
- Identificar impactos provocados pela localização e manutenção das estradas rurais;
- Entrevistar moradores da bacia hidrográfica do Rio das Pedras e os responsáveis pelo projeto de implantação das caixas de contenção em relação à construção e o papel das mesmas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Bacias hidrográficas como unidade de estudo

A Geografia é uma ciência que tem por objetivo o estudo da superfície terrestre e a distribuição espacial de fenômenos na paisagem. Também estuda a relação recíproca entre o homem e o meio ambiente.

A Geografia se expressa suportada por um conjunto de conceitos que, por vezes, são considerados como equivalentes, a exemplo do uso do conceito de espaço geográfico como equivalente ao de paisagem, entre outros. Percebe-se que os conceitos geográficos propagam níveis de abstração diferenciados e, por consequência, possibilidades operacionais também diferenciadas (SUERTEGARAY, 2001). A autora ainda enfatiza que “a Geografia como área de conhecimento sempre expressou (desde sua autonomia) sua preocupação com a busca da compreensão da relação do homem com o meio (entendido como entorno natural)” (SUERTEGARAY, 2001, p. 1).

O efeito da atividade humana sobre o ambiente terrestre tem sido evidente e cada vez maior. No entanto, até a década de 1950 ou 1960, o significado da atividade humana não despertava muito a atenção dos geógrafos físicos. As tendências da Geografia se combinaram para compor uma Geografia Física mais ambiental, o que pode ter ocorrido tarde, mas, felizmente, não demais (GREGORY, 1992). E neste contexto torna-se importante o estudo das inter-relações existentes entre o homem e o meio que habita, em particular neste caso, tendo como recorte espacial bacias hidrográficas e processos operantes nesta unidade de estudo.

O estudo de processos tornou-se preocupação de grande parcela dos geógrafos físicos nas últimas décadas. Não basta descrever as paisagens ou quantificar morfométricamente as formas. É necessário entender o padrão-organização, quantificar e modelar os processos geomórficos operantes na paisagem (THOMAZ, 2005b).

Sendo assim, é relevante o estudo de processos hidrológicos nas bacias hidrográficas quando se leva em análise o uso da água e sua demanda local e mundial, pois esta contém o conceito de integração na Ciência Ambiental. Seu uso e aplicação para estudos de problemas ambientais são fundamentais, por apresentarem inter-relações físicas, biológicas, socioeconômica e inclusive cultural das populações que ali se estabelecem.

“Bacia hidrográfica é a área de drenagem do escoamento superficial das águas que alimentam um curso de água, separando-se de outras bacias pelos divisores representados pelas partes mais altas do relevo” (FREITAS, 1999, p. 3). Em resumo, pode-se definir a bacia

hidrográfica como uma área que funciona como um funil, ou seja, a água que cai com a chuva e não é interceptada escorre para um lago ou rio. O estudo das bacias hidrográficas é importante porque elas constituem uma unidade fundamental para o estudo ambiental e representam a principal fonte de captação de água para o consumo (PACHECHENIK, 2004). A adoção do conceito de bacias hidrográficas para a conservação de recursos naturais está relacionada à possibilidade de avaliar, em uma determinada área geográfica, o seu potencial de desenvolvimento e sua produtividade biológica, determinando as melhores formas de aproveitamento dos mesmos, com o mínimo impacto ambiental (SCHIAVETTI e CAMARGO, 2002).

Na Lei Federal 9.433, de 08/01/97 base da Política Nacional de Recursos Hídricos, a bacia hidrográfica passa a ter papel de instrumento de gestão. Assim o conhecimento dos mecanismos e das propriedades hidrogeomorfológicas das bacias hidrográficas são um requisito básico visando fundamentar os diagnósticos e análises nos planos de recursos hídricos (CANALI, *et al*, 1998).

A bacia hidrográfica deve ser entendida como sendo a unidade ecossistêmica e morfológica que permite a análise e entendimento dos problemas ambientais. Ela também é perfeitamente adequada para o planejamento e manejo, buscando aperfeiçoar a utilização dos recursos humanos e natural, para estabelecer um ambiente sadio e um desenvolvimento sustentável.

As bacias são importantes porque são uma das principais fontes de captação de água para o consumo humano. “A ocupação desordenada de uma bacia pode provocar alterações na qualidade da água, com a poluição gerada por atividades urbanas, ou atividades rurais, e grande volume de sedimentos erodidos ou dejetos de animais” (FREITAS, 1999, p. 4). Ainda, segundo o mesmo autor, as alterações na qualidade da água do manancial conflitam com sua destinação, estabelecendo a necessidade de serem definidos mecanismos reguladores para compatibilizar uso e ocupação da bacia de manancial com qualidade de recursos hídricos (FREITAS, 1999).

As bacias, seus recursos naturais (fauna, flora e solo) e os grupos sociais possuem diferentes características sociais, econômicas e culturais que permitem individualizar e ordenar seu manejo em função de suas particularidades e identidade. A hierarquia das variáveis que compõem uma bacia hidrográfica são elementos fundamentais para permitir ou não seu equilíbrio (na percepção humana).

A qualidade da água é um tema que tem merecido a atenção de governos e pesquisadores, principalmente quando se tornam evidentes a escassez desse recurso e o

impacto célebre das atividades humanas sobre as águas superficiais e subterrâneas (LIMA, 2004). Portanto, o conhecimento do funcionamento hidrológico e geomorfológico da bacia hidrográfica é importante para o planejamento e manejo dos recursos naturais renováveis, visando o uso auto-sustentável, em que há um equilíbrio na exploração desses recursos naturais (LIMA, 2004).

Assim, práticas de conservação do solo, informações obtidas por meio do mapeamento, classificação das classes de capacidade de uso, etc., são algumas das ferramentas empregadas no manejo de bacias hidrográficas. Segundo Freitas (1999), no caso de bacias hidrográficas extensas, a avaliação da cobertura vegetal em nível regional deve ser feita através da interpretação de imagens de satélite e confecção de um mapa fitogeográfico regional, para obter informações sobre características da vegetação, como grau de alteração, uso do solo e tipo de formações vegetais ocorrentes. O mapeamento de bacia hidrográfica permite uma avaliação de suas variáveis, fornecendo subsídio para planejamento de conservação da vegetação, hidrografia e rede viária, entre outros elementos, conciliando uso/ocupação e exploração dos recursos naturais.

Neste sentido, também são ferramentas de planejamento os sistemas agroflorestais, planejamento do sistema viário e mata ciliar, entre outros. Os impactos de maior ocorrência em bacias hidrográficas estão associados aos problemas de erosão dos solos, sedimentação de canais fluviais, enchentes, perda da qualidade da água e aumento do risco de extinção de elementos de fauna e flora (SCHIAVETTI e CAMARGO, 2002).

Uma das formas de proposta de manejo pode ser entendida como o Macrozoneamento Ambiental, Econômico e Social, que é uma configuração do cenário desejável para a bacia do manancial, desenvolvidos a partir das informações relacionadas à geomorfologia, ao clima e ao solo da área, sendo acrescentados também os dados relevantes aos recursos hídricos, aspectos bióticos e humanos. Após a interpretação integrada das informações, serão estabelecidos os indicadores de uso e ocupação para a unidade física definida, visando a proteção da bacia (FREITAS, 1999).

Dentre as áreas que têm se beneficiado da utilização de Sistema de Informação Geográfica (SIG), estão a ecologia e manejo de bacias hidrográficas, para as quais surgem perspectivas de inovação, tanto na busca de conhecimento sobre padrões e processos ecológicos quanto no apoio a ações de manejo e gestão (SCHIAVETTI e CAMARGO, 2002). Segundo esses autores, um SIG é próprio para análise de questões de natureza espacial, nas quais é de grande importância a localização de um determinado objeto de estudo ou fenômeno em relação a outros ou em relação às influências ambientais.

[...] Com a ampliação do uso do geoprocessamento esses estudos tomaram impulso nas últimas décadas. As unidades de paisagens são obtidas por meio do cruzamento de mapas temáticos que representam as características do meio físico (uso da terra, formas de relevo, declividade, solo etc.) (THOMAZ, 2005a). Uma questão que não pode ser deixada de lado são as mensurações e monitoramento de processos, para não haver prejuízo da análise de materiais obtidos em campo.

Há necessidade imediata de ampliação das pesquisas no domínio da análise ambiental, esta voltada para avaliação do potencial natural das bacias de drenagem, via diagnósticos integrados que forneçam informações concretas ao planejamento ambiental. O estudo socioambiental e, conseqüentemente, dos bens sociais disponibilizados à população, contribui para a formatação de programas a partir de uma nova ética, na qual os seres humanos são identificados como parte do ecossistema global e, enquanto coadjuvantes, capazes de desestabilizar funções inerentes à manutenção da qualidade ambiental (RODRIGUES e CARVALHO, 2005). Os autores afirmam também que a conservação da natureza por meio da manutenção da capacidade produtiva dos geossistemas e da qualidade ambiental, concebida na observância da bacia hidrográfica como referencial geográfico para a promoção do planejamento, centrado nos recursos hídricos, requer avaliação conforme os pareceres preconizados.

Não menos importantes são as atividades humanas que exercem forte controle no sistema geomorfológico, com a super exploração dos recursos naturais, e ocupação das terras por cidades e pela produção agropecuária. A fragilidade dos ambientes naturais diante das intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas, salvo algumas regiões do planeta, os ambientes naturais mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram a intervir cada vez mais na exploração dos recursos naturais (ROSS, 2006).

As atividades desenvolvidas pelo homem na terra e a utilização dos recursos naturais, quando realizadas de forma inadequada, sem considerar as potencialidades e fragilidades do meio ambiente, podem deflagrar processos que poderão afetar o equilíbrio do sistema ambiental (VESTENA, *et al*, 2004).

Dentre os recursos naturais utilizados na atividade desenvolvida pelo homem pode-se destacar a água. As águas têm grande importância econômica: irrigam terras agrícolas, abastecem reservatórios urbanos, fornecem alimentos e produzem energia através das hidrelétricas. As características topográficas, geológicas, pedológicas e térmicas da bacia

desempenham papel essencial no seu comportamento hidrológico, sendo importante medir numericamente algumas dessas influências.

A partir da caracterização dos processos e das variáveis que compõem uma bacia hidrográfica, torna-se possível quantificar dados e correlacioná-los, fazendo-se uma análise. Dentre essas variáveis destacam-se as estradas rurais, que são elementos existentes em bacias hidrográficas e exercem forte controle no transporte de sedimentos, sendo estas responsáveis por boa parte de sedimentos conduzidos para os cursos fluviais. As estradas, assim como outras variáveis em bacias hidrográficas, merecem destaque e uma mensuração com avaliação mais precisa no sentido de mitigar os problemas provocados pelas mesmas.

3.2 Estradas rurais não pavimentadas

As estradas permitem o acesso de pessoas e mercadorias aos pontos mais remotos de uma nação. De utilidade indiscutível para indivíduos, sociedades e economias de qualquer período da história, o deslocamento por via terrestre transformou-se no principal meio de transporte de curtas, médias e longas distâncias do mundo contemporâneo.

De forma geral, estradas aqui são entendidas como elementos geográficos (de forma linear) presentes nas paisagens rurais. Estas, desde caminhos primitivos ou vias modernas com grande infra-estrutura, permitiram e permitem a interligação entre regiões, influenciando no aspecto social, econômico e cultural das nações. Estradas podem ser definidas como faixas de terreno com características adequadas para permitir o deslocamento de pessoas, veículos e animais.

Nem todas as pessoas se satisfazem em conhecer apenas a localização de um ponto da Terra, como Paris, São Paulo, a África ou o Ártico. Querem saber que tipo de ambiente a natureza oferece na região, e o que as pessoas já fizeram aí. Querem saber como os habitantes utilizaram a terra, que tipo de casas construíram, como e onde construíram estradas, como são, afinal, eles próprios. Querem saber em que aspectos a região se assemelha e difere de outros lugares, e o que significam essas semelhanças e diferenças (BERTHOMIER, 1961).

Os geógrafos sempre procuraram saber como os seres humanos se relacionam com a Terra. As condições naturais podem limitar as possibilidades de um homem, como no deserto, ou oferecer condições de vida, como num vale fértil. As variações de tempo, as erupções vulcânicas e outras mudanças na natureza podem afetar atividades diárias das pessoas. Além disso, as próprias pessoas são fator importante das mudanças geográficas. Elas constroem estradas, queimam florestas, escavam ou represam os leitos dos rios e provocam a erosão do

solo. Os esforços para compensar os danos resultantes dessas alterações são parte importante dos movimentos de conservação da natureza.

Durante a idade do bronze, a evolução das técnicas da agricultura e do comércio e a domesticação do cavalo marcaram o princípio da civilização. Para crescer, o comércio exigiu estradas melhores. Os habitantes da região da Mesopotâmia aperfeiçoaram a técnica de construção e criaram uma rota comercial, por volta do ano 700 a.C., que unia o império da Babilônia ao Egito. Estradas pavimentadas com pedras e ladrilhos unidos com argamassa betuminosa ligavam os templos e palácios das antigas cidades de Assur e Babilônia. Essas estradas, embora não servissem às necessidades normais do tráfego de caravanas comerciais, possivelmente inspiraram o sistema rodoviário romano (BERTHOMIER, 1961).

A história do rodoviarismo no Brasil está ligada ao processo de integração do território brasileiro, o qual se deu com as primeiras estradas abertas pelos colonizadores portugueses e por outros imigrantes que se estabeleceram nas diversas regiões brasileiras, e pelos habitantes das vilas que se formava em todo o país. Por essas primitivas estradas de rodagem fazia-se a ligação entre as regiões, em que se transportavam as mais diferentes mercadorias (GUIMARÃES, *et al*, 2004).

A determinação do traçado da estrada, isto é, do percurso que lhe será atribuído, acha-se subordinada a um conjunto de considerações de ordem econômica, técnica e mesmo estratégica, que fazem dessa operação uma das mais delicadas e das mais complexas. Tratando-se de uma estrada única ou de um conjunto de novas estradas, o estudo do traçado é feito em função de critérios variáveis, conforme a importância da estrada, podendo ela ser um modesto caminho rural ou auto-estrada de grande tráfego. Muitas delas, ao terem evoluído originalmente de pequenas trilhas e caminhos utilizados pelos primeiros grupos de pessoas que se estabeleceram nas mais diversas regiões, apresentam traçados atravessando locais cujos solos denotam grande fragilidade (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

No Estado do Paraná, os imigrantes trabalhavam tanto na abertura quanto na manutenção das estradas de rodagem, sendo essa atividade uma forma de quitação de suas dívidas com investimento realizado pelo Estado no processo migratório. Nota-se, assim, que foram os imigrantes, as pessoas já estabelecidas no Estado e seus descendentes, os responsáveis pelas obras de engenharia, sendo ao mesmo tempo empreiteiros e mão-de-obra nos trabalhos de construção (GUIMARÃES *et al*, 2004). “Construção manual. Pá, picareta, broca, marrão. Transporte de material escavado em galeotas-tombeiras, tracionadas por muares. Toda família trabalhava, dava duro enquanto a claridade permitia” (GUIMARÃES *et al*, 2004, p. 22).

Guimarães *et al.*, (2004), destacam que são importante, até o advento dos primeiros planos rodoviários do Estado do Paraná, as estradas carroçáveis e a estrada de ferro, que atuavam como meios de transporte complementares, e que a ferrovia se destacava como meio de transporte mais eficiente, tanto pela rapidez quanto pelo volume de carga transportada. Essas vias constituíam uma forma de atender à circulação de riquezas, já que o governo não apresentava condições de investir no prolongamento das vias férreas. As estradas de rodagem, ligando as zonas mais povoadas e as zonas produtoras às estradas ferroviárias, passavam por Guarapuava, Palmeira, Lapa, Bocaiúva do Sul, Jacarezinho, Colônia Mineira e Vila do Piraí.

As preocupações com a conservação das estradas existentes não deixaram de acompanhar as administrações do Estado. Se, em um primeiro momento, adotou-se a estratégia de complementar um meio de transporte com outro, estradas carroçáveis e ferrovias, em um segundo momento, a partir do início da década de 1920, a opção foi priorizar as estradas e a construção da barra no Porto de Paranaguá, buscando melhorar a qualidade nos transportes rodoviários e ampliando a capacidade de exportação no Porto (GUIMARÃES *et al.*, 2004).

Incontestável a importância de sua implantação para locomoção, estas estradas e caminhos foram se desenvolvendo de forma diferenciada nas mais diversas regiões do Estado do Paraná. Uma das principais obras aconteceu na década de 1930, com a Estrada do Cerne, atual PR-090, que na época foi considerada como “a maior rodovia que se construiu no Paraná em todos os tempos, servindo a uma das zonas mais ricas e de intensa produção do Paraná e do país”. A rodovia parte de Curitiba em sentido noroeste, atravessa os três planaltos e alcança o norte do Estado do Paraná, nas barrancas do rio Paranapanema, como ligação daquela região ao Porto de Paranaguá. O objetivo dessa estrada era proporcionar o fluxo da produção cafeeira, facilitando o acesso direto do norte do Estado ao Porto de Paranaguá. Passa pelas cidades de Curitiba, Campo Magro, Cerne, Morrinhos, Murquinho, com bifurcação para Jaguariaíva, Cachoeirinha e Cambará (GUIMARÃES *et al.*, 2004).

Em relação à classificação das estradas, estas podem ser classificadas de uma maneira geral em quatro critérios: quanto à sua administração, em estradas federais, estaduais, municipais e particulares; quanto à sua classificação funcional, em arteriais, coletoras e locais; quanto às suas características físicas, em estradas pavimentadas, não pavimentadas, com pistas simples ou duplas; e, por último, quanto ao seu padrão técnico, tomando como base os valores de rampa máxima, valores de raio de curva, largura da pista e escoamento, etc. (BAESSO e GONÇALVES, 2003). No trabalho em questão serão focadas principalmente as características físicas das estradas.

No Brasil há uma predominância de estradas não pavimentadas. Segundo o anuário estatístico dos transportes de 2000, do total de 1724,9 km de estradas existentes no país, cerca de 1559,9 km são de estradas não pavimentadas e somente cerca de 164,9 km são de estradas pavimentadas. Nota-se a importância destas estradas no Brasil, já que cerca de 90% do total de rodovias existentes são de vias não pavimentadas. Por outro lado, quando não são bem manejadas, as estradas não pavimentadas são importantes fontes de sedimentos (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

A rede rodoviária do Paraná, estruturada em três níveis distintos, federal, estadual e municipal, possuía, em 1994, uma extensão de aproximadamente 261.000 km. Desse total, 243.000 km se referem às rodovias municipais; 12.000 km, às rodovias estaduais e 3.000 km, às federais. A grande expansão do rodoviarismo do Paraná ocorreu até os anos 80, com pesados investimentos e programas na área de construção. O Estado ampliou sua malha pavimentada cerca de 3.000 km em 1986 (GUIMARÃES *et al*, 2004).

A Malha Rodoviária do Estado do Paraná conta com um total de 120.293 km de rodovias, sendo 99.126 km de vias não pavimentadas e apenas 21.167 km de vias pavimentadas (ANTT, 2005). As estradas não pavimentadas representam mais de 82% do total de rodovias existentes no Estado.

Se no passado era fundamental interligar as regiões do Estado com abertura de caminhos e estradas, atualmente é imprescindível garantir a conservação desse patrimônio, investindo na construção de estradas vicinais e ligações importantes entre núcleos urbanos, mantendo em bom estado as já existentes (DER, 2009).

“As estradas rurais são uma necessidade básica para promover uma determinada localidade de um fluxo regular de mercadorias e serviços. Permitindo o desenvolvimento das comunidades, garantindo a melhoria da qualidade de vida” (BAESSO e GONÇALVES, 2003 p. 3).

Idoraldo Júnior (2006) afirma que a estrada rural construída e mantida de forma inadequada sempre teve grande influência sobre o meio ambiente, determinando prejuízos consideráveis no leito e nas regiões lindeiras. O autor reforça também que até bem pouco tempo atrás, estrada rural era um componente da questão ambiental pouco lembrado e estudado. Com o passar dos anos percebeu-se que grande parte dos problemas ambientais no meio rural tinha contribuição de águas drenadas no leito de estradas inadequadas, sem práticas de conservação, tanto na região lindeira quanto nas erosões iniciadas nas laterais destas estradas ou nas enormes voçorocas formadas pela manutenção equivocada destes caminhos.

Estradas não pavimentadas, também chamadas de “estradas de terra” ou “estradas de chão”, são aquelas não revestidas por qualquer tipo de tratamento superficial, betuminoso ou de cimento Portland¹, tendo, geralmente, sua camada superficial constituída por solo local (ODA *et al*, 2007). No Brasil, grande extensão da rede viária é composta por estradas não pavimentadas. Elas são o principal meio de escoamento da produção agropecuária. “Apesar de sua extensão e da grande importância econômica e social, as estradas não pavimentadas é um tema pouco estudado, quase sempre relegado a segundo plano” (ODA *et al*, 2007, p. 2).

A manutenção adequada destas vias pode resolver grande parte dos problemas, porém muitos usuários destas estradas acreditam que a única forma de solucionar o problema é a pavimentação, sem considerar seu custo elevado e impacto ambiental. O estado de conservação da superfície das estradas não pavimentadas depende do material que a constitui, do tráfego, das intempéries e da manutenção. Com a preocupação de assegurar uma boa drenagem, o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) (1981) recomenda que as pistas não-pavimentadas devem ter declividade transversal de 3%, excepcionalmente de 4%, conforme o tipo de solo constituinte da via.

Durante a construção de estradas rurais, com a mobilização do solo, pode haver um aumento da produção de sedimentos na bacia hidrográfica, devido à limpeza do local para novas estradas, caminhos e carreadores internos, deixando o solo periodicamente exposto, aumentando a produção de sedimentos. Além dos impactos físicos, o transporte de sedimentos traz consigo a carga de poluentes agregados aos sedimentos (BATTISTELLI *et al*, 2004).

As estradas rurais não pavimentadas apresentam grande importância no Brasil, pois fazem a ligação entre áreas rurais, povoados e vilarejos e as áreas urbanas. A princípio muitas destas estradas foram implantadas para a própria retirada da madeira e servindo também como base para o escoamento da produção agrícola. Um dos principais problemas que afetam a trafegabilidade das estradas não-pavimentadas é a sua degradação devido aos processos erosivos, afetando também áreas marginais e provocando prejuízos aos mais variados setores da economia e da sociedade.

Constata-se que as estradas alteram os processos geomorfológicos e hidrológicos, por extensão, afetam o movimento de água e sedimento na da paisagem (LUCE e WEMPLE, 2001). Corroborando, Macdonald *et al*, (2001) constataram que as estradas *Virgin Islands* (Porto Rico), sem pavimentação, geraram escoamento em precipitação acima de 6 mm e a

¹ O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos complexos, que, ao serem misturados com a água, hidratam-se, formando uma massa gelatinosa, finamente cristalina, também conhecida como “gel”.

produção de sedimento variou entre 10 a 15 kg m² ano. Esses autores confirmaram, ainda, que as estradas podem influenciar a resposta hidrológica dos canais fluviais, bem como no aumento de entrada de sedimento nos corpos hídricos.

A adoção de medidas preventivas ou amenizadoras, tais como as caixas de contenção, são fundamentais para o controle do transporte de sedimentos para os cursos fluviais, uma vez que estas podem diminuir a turbidez e retardar o tempo de concentração e a vazão no canal fluvial. A turbidez é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma. As principais causas da turbidez da água são: presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, sílica, colóides), matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, organismos microscópicos e algas. Os sólidos em suspensão não prejudicam a captação de água bruta tanto quanto os sedimentos. A partir daí pode-se avaliar a importância e necessidade de medições de transporte de sedimentos e da possibilidade de colapso na captação, com particular dificuldade de remoção e disposição final dos sólidos em sedimentação (FREITAS, 1999).

Dependendo do material em suspensão na água, ocorrerá turbidez, podendo ser desde partículas de areia, restos de folhas em suspensão ou até mesmo seres vivos, como algas, protozoários e bactérias que, além de turbidez e cor, podem conferir à água gosto e odor. O transporte de sedimento pode causar, pelas partículas em suspensão, a degradação da qualidade de água para os usos humanos (consumo, atividade industrial e agrícola, além da recreação) (LOPES e KOBAYAMA, 2008). Outro problema causado pela turbidez é que pode impedir a passagem da luz e calor, prejudicando a atividade da fotossíntese necessária à salubridade dos corpos de água e alterando a vida aquática.

Apesar dos problemas elencados, existe um efeito benéfico em relação ao transporte de sedimentos: os mesmos podem carregar nutrientes que fertilizam a terra, obtenção de materiais ou minérios, aproveitamento de depósitos, ricos em nutrientes, para uso em plantações, veículo de matéria orgânica e microorganismos que equilibram a fauna fluvial, entre outros. A entrada de sedimentos grosseiros no rio é fundamental para a alteração do padrão do canal (geometria), uma vez que a carga de fundo é a principal responsável por essa dinâmica (KNIGHTON, 1998).

O transporte e a deposição de sedimentos também têm os seus aspectos positivos, enquanto processo natural, na medida em que atuam como agentes fertilizadores das várzeas ribeirinhas, contribuindo para o aumento da produção agrícola nessas áreas (SCAPIN *et al*, 2004). Todos os acontecimentos que ocorrem na bacia de drenagem repercutem nos rios. As condições climáticas, a cobertura vegetal e a litologia são fatores que controlam a

morfogênese das vertentes e, por sua vez, o tipo de carga detrítica a ser fornecida aos rios (CHRISTOFOLETTI, 1980).

É importante considerar o volume de sedimentos produzidos, sobretudo nas estradas, que acontece da associação de eventos naturais e, principalmente, antrópicos, envolvendo etapas (tais como a terraplanagem, por exemplo), ou que ficam retidos na bacia hidrográfica. Uma vez liberados para outras bacias hidrográficas, os sedimentos tendem a ser transportados, principalmente, pelos cursos d'água, redes de drenagem construídas pelo ser humano e depositados nos fundos de vales, especialmente nas margens de rios onde constituem a formação de depósito tecnogênico ou de assoreamento.

Os processos hidrológicos afetam a erosão do solo, o transporte de sedimentos erodidos, a deposição de sedimentos e as características físicas, químicas e biológicas que, coletivamente, determinam, em parte, a qualidade das águas, superficiais e subterrâneas (MACHADO e VETTORAZZI, 2003). Entretanto, quando se cultiva a terra, esse equilíbrio é rompido, florestas são derrubadas e queimadas, a camada superficial de solo é revolvida por arados e grades, o que constitui uma mudança no uso da terra.

Em um solo descoberto, os agentes erosivos (chuva e vento, por exemplo) não encontrando barreiras, podem arrastar uma quantidade de solo maior do que em condição natural. Essa é a chamada erosão acelerada. Quando esse preparo de solo é feito sem os devidos cuidados e sem orientação técnica, seja utilizando implementos inadequados, seja em áreas muito acidentadas, a erosão pode degradar o solo em poucos anos (MACHADO e VETTORAZZI, 2003).

O transporte de sedimentos nos canais fluviais tem uma íntima ligação com as estradas não pavimentadas, sendo que a localização, manejo e a intensidade de uso vão determinar o impacto que estas vão gerar. O que não pode ser desconsiderado é o aumento da quantidade de estradas e caminhos, sendo que este aumento conseqüentemente pode impulsionar a aceleração dos impactos gerados pelas estradas.

Lima (2004) reforça que a produção de sedimento é maior no início da abertura de uma estrada, em que há uma grande quantidade de material mobilizado, e esta produção diminui com o passar do tempo, embora não cesse. “Taludes de cortes e aterros não vegetados, distúrbios no leito pelo trânsito de veículos, além da conexão com encostas sem proteção vegetal adequada, são alguns dos responsáveis pela manutenção do fluxo de sedimentos” (LIMA, 2004, p. 61-62).

3.2.1 Medidas para mitigar problemas em estradas rurais não pavimentadas

Além do transporte de sedimentos que as estradas potencializam, Baesso e Gonçalves (2003), destacam que, em estudos realizados, estima-se que a má gestão quanto à manutenção de estradas na América Latina e no Caribe ocasiona um aumento desnecessário nos custos de operação de veículos, que pode equivaler entre 0,5 e 1% do Produto Interno Bruto (PIB).

Segundo Baesso e Gonçalves (2003, p. 55-56), “existem alguns exemplos de medidas preventivas e/ou remediadoras para mitigar problemas oriundos na faixa de rolamento de estradas rurais” (resumo):

Drenagem superficial: consiste em um conjunto de dispositivos construídos junto à plataforma, com a finalidade de propiciar o escoamento das águas pluviais que caem sobre a pista de rolamento e áreas adjacentes. Exemplo:

- Sarjetas: são dispositivos executados na borda da plataforma, junto ao pé de cortes e objetivam a coleta das águas de escoamento superficial da pista e dos taludes, conduzindo-as para um talvegue natural, bueiro ou sangradouro;
- Bigodes: são pequenos dispositivos cujo objetivo é o de conduzir as águas das sarjetas e leiras, diretamente para um talvegue natural, caixa de retenção ou outro dispositivo de drenagem;
- Leiras: são dispositivos destinados à condução das águas superficiais para fora da plataforma das estradas, estando presentes somente nos trechos constituídos pelos aterros;
- Dissipadores de energia: constituem-se de pequenas barreiras, construídas ao longo das sarjetas, em espaçamento de acordo com a declividade do greide, com a utilização de pedras de mão, seixo rolado, elevação do solo com proteção vegetal, etc. O objetivo é a continuidade do regime de escoamento das águas, diminuindo sua velocidade;
- Valetas de proteção: são canais abertos próximos à crista dos taludes de corte ou próximos ao pé dos aterros, apresentando seção² trapezoidal, retangular ou triangular, dispostos paralelamente ao eixo da estrada, cuja finalidade é a de proteger a estrada contra o efeito erosivo das águas que contribuem à faixa de rolamento;
- Caixas coletoras: são elementos construídos junto aos bueiros de greide e destinados à captação das águas superficiais que contribuem à plataforma;
- Lombadas ou murundum: são elevações construídas transversalmente ao longo de toda largura da plataforma da estrada, objetivando conduzir adequadamente as águas superficiais oriundas das sarjetas, direcionando-as às caixas de retenção, terraços ou bigodes;

² Na BHRP as valas de drenagem têm seção transversal no formato trapezoidal, sendo o lado maior (superior) com 1,20 m, o lado menor (fundo) com 0,60 m e a altura com 0,30 m (BATTISTELLI *et al.*, 2004).

- Caixas de retenção: têm como objetivo o aproveitamento racional das águas das chuvas, reduzindo ao mínimo suas perdas nesses períodos, facilitando sua infiltração no solo;
- Bueiros: são dispositivos destinados a conduzir as águas de um talvegue natural ou artificial, de um lado para o outro da estrada, ou permitir a passagem das águas coletoras pelas sarjetas ou outros dispositivos de drenagem.

Drenagem profunda: o objetivo da drenagem profunda é a de obtenção de uma fundação seca para as estradas. Ao construí-las, modifica-se o sistema natural de drenagem, sendo o fluxo das águas interrompido pelos cortes e represado pelos aterros.

- Materiais de enchimento: podem ser filtrantes e/ou drenantes. Os materiais filtrantes têm a função de permitir o escoamento de água sem carrear finos, enquanto que os materiais drenantes captam e conduzem as águas a serem drenadas;
- Constituição de drenagem profunda: recomenda-se a execução de drenagem profunda somente de estradas de maior fluxo de tráfego.

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), por mais eficazes e bem executadas que sejam as obras de drenagem superficial da estrada, nem sempre os problemas de trafegabilidade são solucionados. Alguns trechos, mesmo depois de trabalhados, com o tempo podem se tornar escorregadios nos períodos chuvosos ou apresentar problemas na capacidade de suporte. Neste sentido, a execução de uma camada de revestimento primário é a única alternativa capaz de garantir trafegabilidade sob qualquer condição climática.

De acordo com Demarchi *et al.*, (2003) a proteção vegetal também é de suma importância para o combate à erosão. As plantas indicadas a serem cultivadas são: touceiras de bambu, grama, capim e outras. A vegetação tem a capacidade de amortecer as gotas da chuva e proteger o solo dos efeitos do escoamento superficial. Entre as inúmeras vantagens das técnicas de proteção vegetal junto às obras rodoviárias estão os baixos custos, especialmente a longo prazo; a mão-de-obra barata é disponível em muitas regiões; há compatibilidade com o meio ambiente; em termos de conservação da biodiversidade, está a integridade e a beleza.

A redução dos problemas de erosão nas estradas de terra pode ser obtida pela adoção de medidas capazes de evitar que a água proveniente do escoamento superficial, tanto aquele gerado na própria estrada como o proveniente das áreas às suas margens, acumule-se na estrada e passe a utilizá-la para o seu escoamento (HERMENEGILDO JÚNIOR e FERREIRA, 2007). Uma dessas medidas é a caixa de contenção.

Verifica-se, portanto, que as estradas rurais são elementos importantes existentes na paisagem, ocasionando alterações que merecem investigações acerca de seus impactos.

Dessa forma, constata-se que as estradas rurais são imprescindíveis às necessidades básicas do ser humano, porém não se pode afirmar que estas por si só são capazes de romper as barreiras que levam ao empobrecimento das comunidades, podendo, por outro lado, ser agentes indutores de crescimento.

3.3 Controle de escoamento superficial e sedimento em estradas rurais

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários (afluentes). O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

Algumas medidas conservacionistas servem para diminuir os impactos em estradas rurais. Como exemplo, a implantação de medidas de controle de sedimentos (caixas de captação) na BHRP. “A bacia de drenagem é formada pelo conjunto contíguo de vertentes que formam divisores bem definidos, onde, a água, solutos, matéria orgânica e sedimentos são transferidos para uma saída comum, geralmente para um rio” (THOMAZ, 2009, p. 18).

A rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é formada pelo rio principal e pelos seus tributários, constituindo-se em um sistema de transporte de água e sedimentos, enquanto a sua área de drenagem é dada pela superfície da linha fechada dos divisores de água sobre um plano horizontal, sendo geralmente expressa em hectares (ha) ou quilômetros quadrados (km²). Segundo Paisani e Oliveira (1999), as cabeceiras de drenagem são setores nos fundos dos vales que possibilitam a conexão dinâmica entre a estruturação da rede de drenagem e a evolução do modelado.

A penetração da água no solo, na razão de sua capacidade de infiltração, verifica-se somente quando a intensidade da precipitação excede a capacidade do solo de absorver a água, isto é, quando a precipitação é excedente (PINTO *et al*, 1973). Os autores ainda enfatizam que em locais onde há tráfego constante de homens ou veículos ou em áreas de utilização intensa por animais, a superfície é submetida a uma compactação que a torna relativamente impermeável, facilitando assim o escoamento superficial.

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As superfícies desprovidas de cobertura vegetal e pavimentação, por sua vez, contribuem com uma carga elevada de material, que tende a se acumular ao longo do curso

d'água, sobretudo naqueles de baixo gradiente, gerando o processo denominado de assoreamento (CASSETI, 1995), ou seja, o assoreamento se dá quando o curso d'água não tem capacidade de transporte, o que acontece principalmente em cursos de baixo gradiente.

Este assoreamento se dá principalmente devido ao escoamento superficial que tem origem, fundamentalmente, nas precipitações. Ao chegar ao solo, parte da água é infiltrada, parte é retirada pelas depressões do terreno e parte se escoia pela superfície.

O controle de escoamento superficial e de sedimentos em estradas rurais depende, entre outros aspectos, da redução do impacto direto das gotas de chuva, da diminuição da desagregação mecânica das partículas do solo, aumento da infiltração da água e redução da velocidade de escoamento da água excedente (CASSETI, 1995).

O conhecimento da quantidade de sedimentos transportados pelos rios é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, uma vez que os danos causados pelos sedimentos dependem da quantidade e da natureza destes, as quais, por sua vez, dependem dos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos (SCAPIN *et al*, 2004). As trajetórias descritas pela água no seu movimento são determinadas pelas linhas de maior declive de terreno e são influenciadas pelos obstáculos existentes (PINTO *et al*, 1973).

Analisando a importância dos recursos hídricos, constata-se a completa dependência do homem em relação aos corpos d'água, seja como fontes de alimentos, de transporte ou na geração de energia. Dentro desta perspectiva, Ross (2006), afirma que é absolutamente necessário que as intervenções humanas sejam planejadas com objetivos claros de ordem territorial, tornando-se como premissa a potencialidade dos recursos naturais e humanos, de um lado, e as fragilidades dos ambientes naturais, de outro.

Alguns aspectos se destacam em relação ao estudo de rede de drenagem, como exemplo a extensão do percurso superficial. De acordo com Christofolletti (1980), a extensão do percurso superficial representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como o fisiográfico das bacias de drenagem.

É importante, para o estudo de bacias de drenagem, o estudo da área da bacia, o comprimento da bacia, densidade de rios, densidade de rede de drenagem, entre outras variáveis, pois isto vai refletir no escoamento superficial. A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com área da bacia hidrográfica. Essa densidade foi inicialmente definida por R. E Horton (1945), podendo ser calculada pela

equação: $Dd=Lt/A$, na qual Dd significa a densidade de drenagem; L é o comprimento total de canais e A é a área da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 115).

A pluviosidade também é outro aspecto importante nos estudos voltados para bacias hidrográficas. Thomaz e Vestena (2003), analisando uma série histórica (1976-2000) no município de Guarapuava, destacam que a variação entre o ano mais chuvoso, 1998, e o menos chuvoso, 1985, resultou em uma amplitude de 1.906 mm, o que se aproxima da média de um ano todo de chuva.

Há uma série de processos que permitem a circulação da água na Terra: evaporação, transpiração, precipitação (chuva, neve ou granizo), escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo (ALVES, 2007). O meio de circulação da água que será utilizado neste trabalho é o escoamento superficial.

O escoamento superficial é um dos meios que proporciona a circulação da água no ciclo hidrológico, podendo ocorrer pelo escoamento do excedente hídrico gerado durante as chuvas nas vertentes e pelo escoamento nos canais (ALVES, 2007).

A erosividade representa a capacidade potencial das chuvas em provocar erosão do solo. A erosão hídrica do solo é um processo físico de desagregação, transporte e deposição de partículas do solo provocado pela ação da água das chuvas e do escoamento superficial e pode ou não ser potencializada pela ação antrópica (CASSOL *et al*, 1998).

Os autores destacam ainda que, caso a energia do agente erosivo se transforme em trabalho com a ocorrência de perdas de solo por erosão, há a necessidade da ação combinada de vários fatores, além da chuva e do escoamento superficial. Condições de solo, do relevo, da cobertura e do manejo vegetal e das práticas conservacionistas também afetam o processo de erosão hídrica (CASSOL *et al*, 1998).

A erosão é um processo geológico exógeno e contínuo, responsável pela remoção e pelo transporte de partículas do solo, principalmente pela ação da água das chuvas. É um importante agente na modelagem da paisagem terrestre e na redistribuição de energia no interior da bacia hidrográfica (CARVALHO e DIAS, 2009).

A erosão dos solos é considerada normal quando ocorre um equilíbrio entre os processos de formação do solo e seu desgaste natural (CUNHA, 1997). Quando o processo erosivo é mais intenso, é conhecido como erosão acelerada, ou seja, ocorre mais rápido que a própria formação do solo e pode ser chamada de erosão antrópica, caso tenha sido provocada pela ação humana.

Um dos tipos de erosão que mais se destaca no Brasil é a erosão hídrica. Os principais tipos de processos erosivos que ocorrem nas encostas são a erosão por impacto da gota de

chuva (*splash*), erosão laminar ou em lençol, erosão linear ou por fluxo concentrado. Cada forma de erosão pode ou não ser intensificada devido a alguns fatores como, por exemplo, o clima, tipo de solo, rocha, cobertura vegetal, relevo, uso do solo e ação antrópica.

De acordo com Guerra (1999), no momento em que as gotas de chuva atingem o solo, começa o *splash*, também conhecido como erosão por salpicamento, o qual se trata do estágio inicial do processo erosivo, em que as partículas que compõem o solo são preparadas para serem transportadas pelo escoamento superficial.

A erosividade em barrancos íngremes e desprotegidos de vegetação aumenta a carga sedimentar na drenagem lateral das estradas, aumentando também a entrada de sedimentos nos corpos hídricos.

A erosividade é um importante agente na modelagem da paisagem e, ao mesmo tempo, define algumas características da própria bacia hidrográfica. Como consequência deste processo, há alterações em algumas unidades que compõe uma bacia hidrográfica, solo, vegetação, rede de drenagem, rede viária, por exemplo.

O estudo destas variáveis e do controle do escoamento superficial, bem como o transporte de sedimento, é que vão permitir o diagnóstico e o planejamento integrado da bacia hidrográfica, bem como o equilíbrio entre o homem e o meio em que habita.

3.4 Turbidez

Conforme Costa (1977), a turbidez é atribuída principalmente às partículas sólidas em suspensão, que diminuem a claridade da água e reduzem a transmitância da luz no meio líquido; cada manancial representa uma situação específica, pois tamanho, forma e refletividade das partículas em suspensão são propriedades ópticas importantes que influenciam nas leituras turbidimétricas.

A carga sólida em suspensão compreende as partículas de granulometria reduzida (silte e argila) que, por serem pequenas, se conservam em suspensão pelo fluxo turbulento. Além de alterar o canal de drenagem fisicamente, os sedimentos nos cursos fluviais alteram também as características físicas e químicas das águas. Um dos principais problemas relacionados à deterioração da qualidade da água dos rios vincula-se ao desequilíbrio no aporte de sedimentos finos nos canais, produzindo turbidez (VESTENA *et al*, 2009).

Segundo Corrêa (2005), o volume de água de chuva que percorre uma estrada de 100 metros de comprimento por 6 metros de largura pode chegar a 300.000 litros por ano, considerando-se uma precipitação anual de 1.000 mm e 50% de perda por escoamento superficial. O autor esclarece que o aumento da turbidez da água nos rios representa um

indicativo de erosão laminar, apontando ainda que sedimentos oriundos de estradas vicinais representem as maiores contribuições na avaliação dos processos erosivos, prejudicando a qualidade da água devido à excessiva sedimentação.

Via de regra, após uma chuva forte, as águas dos mananciais de superfície ficam turvas, graças ao carregamento de sedimentos das margens e das estradas, pela enxurrada. Assim os solos, e as águas em movimentação ocasionam turbidez. Como consequência da turbidez, ocorre a redução da penetração da luz, prejudicando a fotossíntese. Se for grande, pode causar danos à respiração dos peixes (BRANCO, 1977).

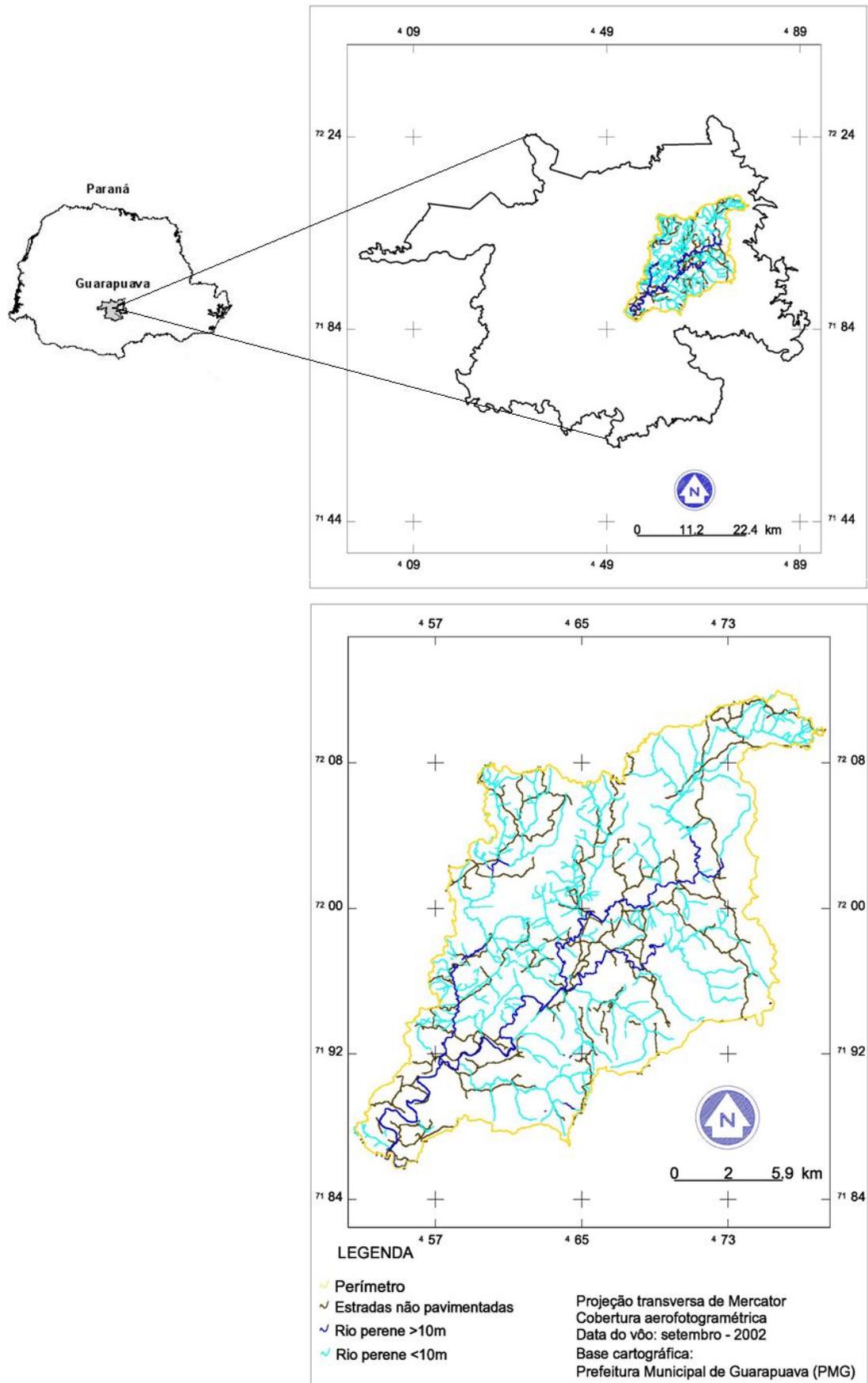
Com relação ao ponto de vista sanitário, Derísio (2000), afirma que a turbidez pode afetar esteticamente os corpos receptores ou encarecer os processos de tratamento para fins de abastecimento.

3.5 Caracterização da área de estudo

As características físicas de uma bacia hidrográfica são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico, pois existe uma estreita correspondência entre o regime hidrológico e estes elementos, sendo de grande utilidade prática o seu conhecimento. Estas relações podem determinar indiretamente os valores hidrológicos em seção ou locais de interesse, nos quais faltem dados ou em regiões onde, devido a fatores de ordem física ou econômica, não seja possível a instalação de estações hidrométricas (VILLELA e MATTOS, 1975)

A ocupação da Região Centro Sul do Estado do Paraná teve uma ligação muito forte com a exploração dos recursos naturais, haja vista "os ciclos econômicos" como: tropeirismo, erva-mate, madeira, exploração/sistema faxinal e agricultura comercial. Portanto, a organização do espaço regional e, por conseguinte, a área em estudo, BHRP, esteve intimamente ligada ao processo de apropriação dos recursos naturais, representados na forma dos "ciclos econômicos" (THOMAZ, 2005b). Como as práticas de manejo agropecuárias foram inadequadas, ocorreu a compactação do solo e, conseqüentemente, a diminuição da infiltração e da capacidade de armazenamento de água no solo (PACHECHENIK, 2004). Estes processos foram responsáveis pela transformação da paisagem regional, influenciando na morfodinâmica superficial.

“A BHRP, com aproximadamente 330 km² de área, localiza-se no município de Guarapuava, no Estado do Paraná, entre as latitudes 25°13’10’’ S e 25°26’24’’ S e longitudes 51°13’10’’ W e 51°28’40’’ W” (VESTENA e THOMAZ, 2006, p.75) (Mapa 2).



Mapa 2 – Localização da bacia hidrográfica do Rio das Pedras
 Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

O município de Guarapuava Localiza-se na região centro-sul do Estado do Paraná. O Rio das Pedras é um dos principais formadores do Rio Jordão, que por sua vez é um dos maiores afluentes da margem direita do Rio Iguaçu. O Rio das Pedras está instalado na unidade de rochas básicas da Formação Serra Geral. Na Bacia Sedimentar do Paraná essa unidade é a que possui maior extensão superficial, constituindo substrato de significativa porção da paisagem geomorfológica (LIMA, 2009).

O autor afirma também que a oeste da baixa bacia, no divisor e no sítio urbano de Guarapuava, afloram rochas da sequência ácida (riodacitos porfiríticos – Membro Chapecó), sobrepondo-se à unidade básica.

A bacia do Rio das Pedras situa-se no Terceiro Planalto Paranaense, desenvolvendo-se no reverso da escarpa arenito-basáltica, localmente denominada de Serra da Esperança. A face inferior da escarpa é constituída pelos arenitos da Formação Botucatu, enquanto que a face superior é composta pelas vulcânicas da Formação Serra Geral. Essa escarpa é parte da unidade geomorfológica regionalmente conhecida como Serra Geral. A escarpa constitui o limite oriental da Formação Serra Geral no Estado do Paraná (LIMA, 2009, p. 45).

O Rio das Pedras tem como principais afluentes os seguintes rios e arroios: margem esquerda: Rio Faxinal, Rio das Pombas, Rio Arroio Lajeado e Rio Guabiroba; margem direita: Rio das Mortes, Rio Arroio da Fraqueza, Rio do Cachorro, Rio Arroio Matão e Rio Campo de Dentro (LIMA, 1999).

É importante ressaltar também que as principais nascentes que formam o Rio das Pedras encontram-se na Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Esperança, instituída pela Portaria Federal n. 507/02, de 17 de dezembro de 2002.

Em relação ao clima de Guarapuava, está sob o domínio da zona extratropical, o que resulta em temperaturas com caráter mesotérmico, temperaturas anuais médias entre 16° e 20°C, inverno frio e verão amenizado pelas altitudes (THOMAZ e VESTENA, 2003). A classificação climática do município, segundo Köppen, classifica-se como Cfb, o que significa que o clima é pluvial, sempre úmido, com verões chuvosos e frescos (MAACK, 1981). É classificado como subtropical mesotérmico – úmido - sem estação seca, com verões frescos e invernos moderados.

A pluviosidade mostra-se bem distribuída ao longo do ano, com precipitações médias anuais em torno de 1.961 mm, apresentando variações extremas consideráveis; a temperatura média anual fica em torno de 16 a 17,5° C. A erosividade obtida para Guarapuava foi de

523.879 (t/mm/ha/ano). Em relação ao balanço hídrico da BHRP, obtiveram-se os seguintes dados: evapotranspiração: 1.006 mm (52%), precipitação: 1.961 mm (100%), escoamento superficial: 9,5 m³/s (48%) (THOMAZ e VESTENA, 2003).

O relevo da bacia influencia os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação, a evaporação e outros são funções da altitude da bacia. O relevo da BHRP é de plano a montanhoso, superfície de topografia pouco movimentada, formada por conjunto de colinas e outeiros, apresentando declives compreendidos entre 8 e 20% em quase 44% da área da bacia em estudo (BATTISTELLI *et al*, 2004).

Ocorrem na bacia pelo menos quatro situações acerca da cobertura superficial: Latossolo, Cambissolo, Neossolo (litólico) e Gleissolo (hidromórfico). Em algumas unidades, ocorrem inclusões de afloramento de rocha, pedregosidade e rochiosidade em grau variado (VESTENA e THOMAZ, 2006). Em relação à vegetação natural na bacia hidrográfica do Rio das Pedras, esta é representativa da Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 1992), conhecidas como Floresta de Araucária, porém atualmente bastante modificada de seus padrões originais, em termos de composição e distribuição espacial.

A água que é utilizada pela população de Guarapuava é captada na BHRP e possui limitações naturais, sendo utilizada por muitos anos e nem sempre de forma adequada. A forma adequada do uso da terra é fundamental para diminuir os problemas gerados pela má utilização da terra.

Quanto ao tipo de uso da terra, de modo geral, na BHRP é diversificado, “envolvendo atividades relacionadas à agricultura, a pecuária, a indústria, ao florestamento/reflorestamento, mata, campo, capoeira entre outras” (VESTENA *et al*, 2004, p.101). Os autores afirmam também que chama a atenção de que mais de 7% da área total de reflorestamento/florestamento, principalmente de pinus e da erva mate, são destinados a fornecer matérias-primas para indústria madeireira e do mate, respectivamente.

Na BHRP foram identificados também locais destinados ao descarte de resíduos sólidos, fato que vem a preocupar, uma vez que está é a bacia de abastecimento da cidade de Guarapuava.

De modo geral, estas são as principais características físicas da BHRP, e os parâmetros morfométricos da mesma serão discutidos na metodologia, com o intuito de melhor compreender a área em estudo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atingir os objetivos propostos na pesquisa e auxiliar na obtenção dos dados, bem como na interpretação dos resultados, os seguintes procedimentos metodológicos foram utilizados: revisão bibliográfica, trabalho de gabinete, trabalho de laboratório e trabalho de campo.

- **Revisão bibliográfica:** refere-se à etapa da pesquisa onde se buscou a fundamentação teórica por meio da leitura e observações acerca dos sistemas hidrogeomorfológicos, para integrar e enriquecer a pesquisa, examinando conteúdos em diversas fontes como subsídio.

- **Trabalho de gabinete:** consistiu na reunião das informações necessárias à execução da pesquisa (banco de dados da BHRP), e a escolha das informações mais significativas para a pesquisa.

- **Trabalho de Laboratório:** após a reunião das referências bibliográficas e material cartográfico, procedeu-se à manipulação dos dados. Os mapas foram elaborados no Laboratório de Geoprocessamento (LABOGEO) do Departamento Geografia da UNICENTRO.

- **Trabalho de campo:** esta etapa da pesquisa incidiu na obtenção de dados, interpretação e também na análise das informações obtidas. Com o auxílio do GPS (Sistema de Posicionamento Global) os dados obtidos foram conferidos em campo, obtendo a preparação dos materiais cartográficos, para a geração dos produtos necessários a pesquisa. Foi de extrema importância, porque permitiu definir e/ou sortear os locais a serem mensurados.

As ferramentas utilizadas nesta pesquisa foram:

- a) **SPRING - INPE© Versão 5.1.5 – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas** (Copyright – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens – DPI do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);
- b) **A planilha elaborada Calc do Software Broffice.** O Calc possui uma série de funções, incluindo um sistema de definição de series para gráficos baseada na disposição dos dados na planilha;

- c) O computador utilizado foi tipo notebook com processador Celeron M 430, 512 MB de memória, HD de 60 GB, para o processamento dos dados no formato digital.

As bases cartográficas utilizadas foram a Carta Topográfica de Guarapuava editada pelo Ministério do Exército, Departamento de Engenharia e Comunicações. Articulação das folhas SG22-V-D-III-3-NO/ MI 2838-3 e a Base Cartográfica da Prefeitura Municipal de Guarapuava (PMG); escala: 1:30.000; (equidistância das curvas de nível: 5 metros); Projeção Transversa de Mercator (UTM); Meridiano Central: 51° W. GR; Datum Vertical: Imbituba-SC, Datum Horizontal: SAD 69 – Chuá-MG; Cobertura aereofotogramétrica: Data do vôo: setembro/2002. Projeto número 647/02, autorização do MD nº 135/02. Convênio Secretaria do Meio Ambiente (SEMAFLOR), Agência Nacional de Águas (ANA), Prefeitura Municipal de Guarapuava, Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), executado por consórcio pela Empresa de Aerofotogrametria Engefoto.

4.1 Procedimentos executados para a elaboração dos produtos cartográficos

Segundo Ferreira (1997), o Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite realizar análises complexas; ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados, tornam possível automatizar a produção de documentos cartográficos. Isto facilita a compensação dos dados obtidos em campo.

Dessa forma, com um banco de dados extraído por meio de fotointerpretação das ortofotocartas disponível em formato digital (escala 1:30.000) e cedido pela Prefeitura Municipal de Guarapuava (PMG), foram introduzidas as informações vetoriais e matriciais. O banco de dados no software Spring corresponde a um diretório em que são gravadas todas as informações do projeto, categorias e classes. Os mapas elaborados foram: rede de drenagem, mapa de declividade e hipsométrico, uso da terra e rede viária.

- Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

O banco de dados da rede de drenagem permitiu obter informações referentes à hidrografia da bacia em estudo, como: alagado, canais canalizados, lagos, rios intermitentes, rios perenes > 10 m, rios perenes < 10 m e rio principal. Com a ferramenta de operações métricas e medidas de classes se obteve a extensão de cada curso fluvial, bem como sua hierarquização segundo Strahler (1957). A manipulação dos dados em meio digital permitiu

análises morfométricas, classificação da ordem dos canais fluviais e cálculos de áreas, entre outras análises no perímetro da bacia.

- Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

As classes hipsométricas foram separadas em sete intervalos de 55 m cada, sendo <1010 m, 1010-1065 m, 1065-1120 m, 1120-1175 m, 1175-1230 m, 1230-1285 m, >1285 m. As classes foram separadas desta forma para calcular a porcentagem que cada classe ocupa na bacia bem como sua localização.

- Mapa de uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

O mapa de declividade foi obtido a partir do modelo numérico do terreno no *software* Spring 5.1.5, e mostra discriminação do relevo segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (1979). As classes de declividade foram separadas em cinco intervalos distintos: 0 –| 3% (plano), 3 –| 8% (suave-ondulado), 8 –| 20% (ondulado), 20 –| 45% (forte-ondulado) >45% (montanhoso). O modelo numérico do terreno (MNT) ou modelo digital de elevação (MDE) é uma imagem onde cada *pixel* possui o valor *Z* de altitude correspondente às suas coordenadas *X* e *Y*.

- Mapa de uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

A identificação dos diferentes tipos de uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras deu-se por meio da fotointerpretação das ortofotocartas mosaicadas. A categorização dos tipos de uso da terra foi adaptada do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (1999) com base nos dados cartográficos. Foram classificadas no total 13 classes de uso da terra, mata, campo, área urbana, agricultura mecanizada, capoeira, áreas edificadas, água, mineração, banhado/áreas alagadas, agricultura tradicional, reflorestamento/florestamento, industrial, áreas de depósito de lixo. Para melhor apresentação dos resultados foram agrupadas em três grandes unidades da bacia. No curso superior predominando da bacia mata, no curso médio reflorestamento/florestamento e no baixo curso com predomínio da agricultura tradicional.

- Mapa da rede viária da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

O banco de dados da BHRP permitiu obter informações como: rodovia federal pavimentada, ferrovia, estradas vicinais não pavimentadas e pavimentadas, caminhos e perímetro da bacia, sendo essas informações contidas no plano de informação (PI). Através da

ferramenta “operações métricas” e “medidas de classe” foram realizados os cálculos referentes à extensão de cada unidade de estrada.

Para estimar a área das estradas todos os valores foram transformados em uma única unidade. O cálculo foi feito a partir da largura média X comprimento e posteriormente transformados em km² das estradas rurais não pavimentadas, bem como sua porcentagem (%) e área (ha) na bacia.

- Mapa de cruzamentos de estradas não pavimentadas e canais fluviais

Para este fim utilizou-se o *software Spring 5.1.5* como ferramenta de ajuda, uma vez que em campo os valores obtidos ficariam subestimados pela dificuldade de contagem. Com o banco de dados da rede viária e rede de drenagem, foi elaborado um mosaico contido no plano de informação.

Foram sorteados dez pontos de controle, aleatoriamente, ao longo do perímetro da bacia, para estimar o número de cruzamentos por cada km². Com este número multiplicado pela área da bacia (330 km²) obteve-se o número total de cruzamentos. Através da opção arquivo, registro de imagem, foi possível sortear as coordenadas geográficas (pontos de controle) para estimar este número. Cada ponto sorteado abrange uma área de 1 km². Os pontos sorteados tiveram como objetivo envolver toda a área da bacia, alto, médio e baixo curso.

4.2 Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

A caracterização morfométrica em termos quantitativo serve de base para mensurar, analisar e interpretar os processos decorrentes entre as variáveis da BHRP, tendo como objetivo auxiliar na explicação dos resultados obtidos. O estudo hidrogeomorfológico das características físicas de uma bacia hidrográfica tem aplicação em diferentes áreas, auxiliando no planejamento dos recursos naturais.

A caracterização dos aspectos morfométricos da BHRP foi o ponto de partida na interpretação dos resultados, auxiliando na resposta de alguns resultados que seria difícil ou até mesmo inviável de serem obtidos em campo. Portanto, aplicou-se os parâmetros morfométricos baseados nos índices propostos por Horton (1945), Strahler (1957), Christofolletti (1980) e Villela e Mattos (1975).

A posse do banco de dados configurada em ambiente SIG possibilitou obter diferentes informações em relação às características físicas, como: área da bacia, perímetro, comprimento, comprimento total dos cursos fluviais, densidade de drenagem, número total de

segmentos, amplitude topográfica e densidade de rios, extensão do percurso superficial, como segue:

- Área da bacia (A): é toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal;
- Perímetro da bacia hidrográfica (P): trata-se do polígono que delimita área da bacia sendo determinado por meio da opção operações métricas o seu perímetro (km);
- Comprimento da bacia (L): o método utilizado foi à medida de uma linha reta de forma linear da maior distância entre a foz e um determinado ponto situado ao longo do perímetro;
- Comprimento total dos cursos fluviais (Lt): esse índice refere-se à soma de todos os comprimentos dos rios (km) da bacia, sendo gerado por meio da ferramenta medidas de classes, aplicada no plano de informação da rede de drenagem;
- Densidade de drenagem (Dd): a densidade da drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A densidade de drenagem foi inicialmente definida por R. Horton (1945), e é calculada pela equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (\text{equação 1})$$

Sendo que *Dd* corresponde à densidade da drenagem, *Lt* é o comprimento total de canais e *A* é área da bacia.

- Número total de segmentos (Nr): é a soma de todos os segmentos de rio, de acordo com a hierarquização de Strahler (1957) e foi determinada pela ferramenta medidas de classes;
- Amplitude topográfica (Hm): outro índice determinado foi a Amplitude Topográfica. Segundo Christofletti (1980), esse índice indica a amplitude altimétrica máxima, sendo obtido pela diferença entre o ponto mais elevado da bacia e a desembocadura do canal principal;
- Densidade de rios (Dr): é a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão como, por exemplo, km², e é calculado da seguinte forma:

$$Dr = \frac{N}{A} \quad (\text{equação 2})$$

Sendo que Dr é a densidade de rios; N é o número total de rios ou cursos de água e A é a área da bacia considerada.

- Extensão do percurso superficial (Eps): representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente, sendo calculado da seguinte forma:

$$Eps = \frac{1}{2Dd} \quad (\text{equação 3})$$

Sendo Eps a extensão do percurso superficial e Dd a densidade de drenagem.

- Ordem: a ordem dos cursos d'água pode ser determinada seguindo os critérios introduzidos por Horton (1945) e Strahler (1957). Utilizou-se neste trabalho a classificação apresentada por Strahler (1957), em que os canais sem tributários são designados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem. Os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente. A junção de um canal de dada ordem a um canal de ordem superior não altera a ordem deste;
- Leis dos Números dos Canais, Taxa de bifurcação (Rb): é a relação entre o número de canais de cada ordem fluvial (1ª Lei) e seus respectivos comprimentos (2ª Lei).

Vale ressaltar que existem mais índices morfométricos que ajudam na interpretação dos resultados, no entanto, estes que foram apresentados são os mais essenciais à pesquisa, uma vez que permitem obter dados que em trabalhos de campo não seriam possíveis de serem coletados, lembrando que muitos parâmetros morfométricos variam conforme a escala.

4.3 Trabalhos realizados em campo

Após a manipulação dos dados em laboratório, iniciaram-se os trabalhos em campo. Os procedimentos em laboratórios continuaram paralelamente aos trabalhos de campo, visto que servem de subsídio na escolha e/ou sorteio dos locais a serem mensurados.

Primeiramente o trabalho de campo consistiu na identificação dos impactos provocados pela localização e manutenção das estradas rurais. Após a extração das informações obtidas nos mapas temáticos, procurou-se, por meio de registros fotográficos e inspeção em campo, verificar os tipos de degradação das estradas de acordo com as unidades geomorfopedológicas onde elas estão construídas (ex. setores declivosos, zonas de saturação). Foram sorteados seis locais de inspeção.

Estes locais de inspeção foram denominados de setor 1, 2, 3, 4, 5, e 6. Em vários trechos (seções) das estradas de cada setor ocorreu a verificação do estado de conservação, largura, declividade, altura do barranco, presença de ravinas e disponibilidade de material para ser transportado. As estradas foram classificadas em primárias (1), secundárias (2), e terciárias (caminhos internos) (3). A hierarquia desta classificação teve como principal embasamento a largura, comprimento e intensidade de uso (trafegabilidade). Os dados obtidos foram compilados em quadros, para melhor compreensão.

Os locais de inspeção teve como objetivo envolver as unidades da bacia hidrográfica, que satisfaçam ao objetivo proposto da pesquisa, sendo estes locais de alta, média e baixa vertente, representando toda a área. Para isso houve a utilização de alguns equipamentos, como: trena laser (DLE 50 Professional), trena métrica, suporte de madeira, clinômetro (CST), GPS de navegação, máquina fotográfica digital, prancheta e caderneta para anotação, foram de extrema importância. No *software Spring* os resultados encontrados em campo foram calibrados, ou seja, cada ponto de coordenada foi novamente analisado para comprovar os dados mensurados em campo.

4.3.1 Caracterização das medidas de controle de sedimentos, caixas de contenção (CC) em estradas rurais

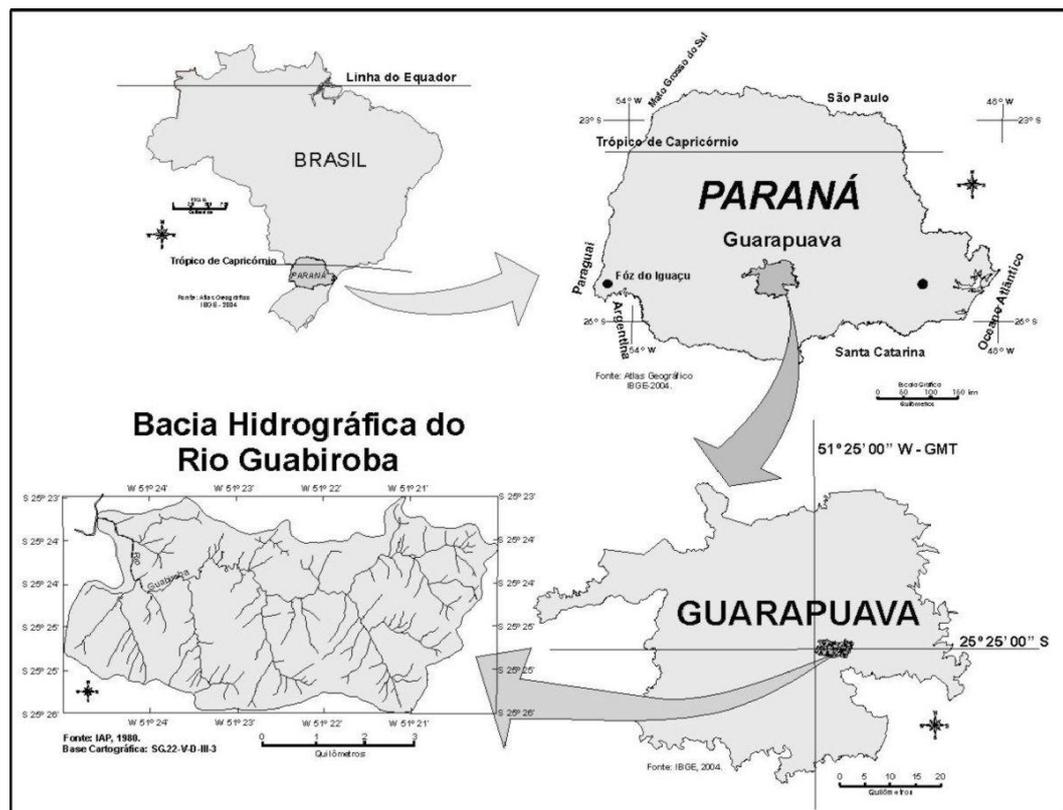
Além da inspeção do estado de conservação das estradas, também foram verificados o estado de conservação das CC. Essas medidas de controle de sedimentos fazem parte de uma das etapas desenvolvidas em um projeto intitulado como Proteção e Manejo da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras: relato de experiências, com o intuito de melhorar a qualidade da água na bacia em questão. Foram implantadas em 2003, e não se distribuem de forma uniforme na bacia, sendo construídas em locais em que os responsáveis pelo projeto de implantação julgaram mais necessários.

O trabalho para a verificação da eficácia (efeito) das CC teve início em 2008, em uma área piloto (área experimental do grupo de pesquisa de hidrogeomorfologia) na bacia hidrográfica do Rio Guabiroba.

A bacia hidrográfica do Rio Guabiroba (sub-bacia do Rio das Pedras) faz divisa ao Norte com a bacia do Rio das Pedras e ao Sul com a bacia dos Rios Iratim-Bananas (Mapa 3). A disposição predominante da bacia é de Leste para Oeste. A bacia possui área aproximada de 23,7 km² (2.370 ha) e a hierarquia fluvial, segundo a classificação de Strahler (1975) é de 4^a ordem (THOMAZ, 2005a). O rio principal é o Guabiroba, que é um afluente da margem

esquerda do rio das Pedras. O relevo da bacia é bastante dissecado, e apresenta vertentes côncavas, convexas e retilíneas, no topo observam-se pequenas mesetas (LUIZ, 2008).

Esta bacia foi fundamental para a realização da pesquisa, porque grande parte das CC está inserida nesta área, de acordo com os critérios elencados pelos responsáveis pelo projeto de implantação. O trabalho inicial sobre as CC se fundamentou principalmente na bacia hidrográfica do Rio Guabiroba e posteriormente se estendeu para a BHRP.



Mapa 3- Localização da bacia hidrográfica do Rio Guabiroba
 FONTE: DIAS e THOMAZ, (2011)

Após a delimitação da área estudada (4,2 km) na bacia hidrográfica do Rio Guabiroba, foi contado o número de caixas construídas ao longo deste trecho e a densidade de caixas/km. O critério utilizado para definir caixas ativas e caixas inativas foi visual. As caixas ativas são aquelas que armazenam água e sedimentos provenientes principalmente das estradas. As caixas inativas são aquelas deterioradas, incapazes de armazenar água ou sedimento trazido pela enxurrada.

Estimou-se, a partir da largura média da estrada e comprimento, a área de contribuição de cada caixa. Estabeleceu-se, ainda, o volume das caixas (área x profundidade). Foram realizados registros fotográficos para caracterizar as caixas e permitir uma melhor avaliação de suas condições. O volume de solo removido para a implantação das caixas foi calculado

com as dimensões mínimas de cada caixa (2,00 X 2,00 X 3,00 m) com remoção média de 12,00 m³ de solo por caixa.

Ao longo da BHRP, outras áreas com presença de CC também foram avaliadas, seguindo o mesmo procedimento utilizado na área piloto. No ano de 2010, houve uma nova avaliação da mesma área piloto analisada em 2008, para verificar o número de caixas que perderam sua função de armazenar água e sedimentos nesse período de dois anos.

4.3.2 Entrevistas

Nos trabalhos em campo também foram realizadas entrevistas. As entrevistas foram realizadas com o intuito de obter informações que não seriam possíveis somente através da pesquisa bibliográfica, observação e mensuração. A entrevista aplicada foi a semi-estruturada, sendo aquela que combina perguntas abertas, e que permite ao entrevistado discorrer sobre o tema sugerido sem que o entrevistador fixe determinadas respostas ou condições.

A entrevista é uma importante ferramenta como uma técnica de coleta de dados, utilizada para a captação de dados particulares. O objetivo do pesquisador é conseguir informações ou coletar dados que não seriam possíveis somente através da pesquisa bibliográfica e da observação e, em alguns casos, mensuração. Uma das formas que complementa estas coletas de dados é a entrevista, entendida como uma conversação entre duas ou mais pessoas (o entrevistador e o entrevistado) em que perguntas são feitas pelo entrevistador para obter informação do entrevistado.

As pessoas entrevistadas foram escolhidas aleatoriamente nos locais em que havia presença das CC na BHRP, uma vez que as perguntas estavam destinadas para este fim. No total foram entrevistados 30 moradores (modelo da entrevista em anexo). As entrevistas consistiram em obter informações sobre a construção das CC e de estradas rurais. Entrevistas também foram aplicadas aos responsáveis pelo projeto Proteção e Manejo da BHRP (implantação das CC) junto à Secretária de Meio Ambiente e Desenvolvimento Florestal. A técnica utilizada para anotação foi papel, caneta e prancheta.

4.3.3 Análise dos dados de precipitação, vazão e turbidez

Em visitas à Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), para obtenção dos dados, principalmente de turbidez, os responsáveis pela captação e tratamento de água informaram que houve uma redução na turbidez, especialmente um ano após as CC terem sido construídas em 2003, diminuindo consideravelmente os custos para o tratamento d'água que abastece o município de Guarapuava. Portanto, foram analisados dados que compreendem

precipitação e vazão, fornecidos pela SANEPAR (turbidez) e pela Agência Nacional de Águas (ANA). Os dados encontram-se em anexo.

Os dados analisados foram turbidez NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), precipitação (mm) e vazão (m³/s). Os dados disponíveis de turbidez foram obtidos na SANEPAR e compreendem uma série histórica de 1996 a 2009 (14 anos), ou seja, sete anos antes da construção das CC e sete anos após a construção das caixas. O objetivo da análise dos dados de turbidez é avaliar o efeito das caixas na redução ou não da turbidez, antes (1996-2002) e após (2003-2009) sua construção.

A técnica de análise utilizada para avaliação dos dados de precipitação, vazão e turbidez foi a estatística descritiva, que compreende a coleta, a organização e a simplificação de informações. Os resultados das análises foram apresentados por meio de gráficos e tabelas. Também foi utilizada técnica de análise de regressão simples. A regressão simples está baseada numa relação linear entre a variável dependente e a variável independente. Os valores permitiram determinar o coeficiente de Pearson (r) com a dispersão dos dados avaliados.

Os eventos foram separados por volume, intensidade, período de chuva contínuo e não contínuo, estações do ano, características do ano (chuvoso, normal e seco), calendário agrícola, turbidez antes e depois da implantação das caixas, entre outros critérios que foram estabelecidos e considerados para avaliar o efeito das medidas de controle de sedimentos.

Os dados de precipitação utilizados foram os da estação pluviométrica localizada a 25°27'00'' latitude sul e 51°27'00'' longitude oeste, a 950 m de altitude, identificada pelo Código da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) número 02551000, monitorada pela ANA, série entre janeiro de 1996 a dezembro de 2009.

Os dados de vazão utilizados foram os da estação fluviométrica localizada na Estação de Tratamento de Água (ETA) Guarapuava, localizada a 25°23'52'' latitude sul e 51°26'09'' longitude oeste, a 950 m de altitude, código ANEEL, número 65809000, monitorado pela ANA, série entre janeiro de 1996 a dezembro de 2009.

Os dados de chuva da referida estação tiveram algumas falhas no ano de 2009, motivo pelo qual foram utilizados os dados da estação mais próxima. Dessa maneira, em 2009 foram considerado os dados da Estação pluviométrica localizada a 25°21'00'' latitude sul e 51°30'00'' longitude oeste, a 1058 m de altitude, identificada pelo Código ANEEL com o número de 02551010, monitorada pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

Os dados de precipitação, vazão e turbidez foram correlacionados de acordo com as estações do ano. Os dados foram tabulados, comparados e analisados por meio de gráficos e tabelas com o auxílio da planilha eletrônica *Calc* do *software BrOffice®*.

A precipitação envolve o total mensal da série, a vazão compreende a média mensal do período avaliado, por fim os valores de turbidez analisados foram a média máxima mensal. A forma utilizada para obter a correlação e a dispersão foi por meio de linha de tendência tipo linear. Os dados foram organizados desta forma para melhor apresentação dos resultados.

Para avaliar a diferença de turbidez produzida antes e depois da implantação das caixas de contenção a ferramenta inicial utilizada foi a Média Móvel, que fornece subsídios de tendência que uma média simples de todos os elementos históricos não revela. Esta Média Móvel foi utilizada para disseminar as disparidades existentes na turbidez diária, mensal e anual da série (1996-2009). A diferença de turbidez da série analisada foi obtida por meio da soma anual dos sete anos anteriores (1996-2002) e posteriores à implantação das caixas (2003-2009). A soma de turbidez por estações do ano permitiu verificar as alterações de turbidez antes e depois da implantação das caixas.

Por último, os dados foram analisados com o calendário agrícola do município, para verificar se este exerce influência sobre a turbidez. O calendário agrícola foi obtido junto à Associação Paranaense de Planejamento Agropecuário. Os dados foram ponderados com relação à pluviosidade (chuvoso, normal ou seco), vazão e turbidez. A turbidez foi relacionada com o período de maior índice pluviométrico e a época de plantio do município, porque, devido ao revolvimento do solo para o cultivo, torna-se mais vulnerável à disponibilidade de sedimentos para o transporte.

Também foi gerada uma tabela com a contribuição por estações do ano de precipitação, vazão e turbidez, que permitiu analisar as diferenças de contribuições antes e após a implantação das CC.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Análise da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

A fim de entender as inter-relações existentes entre os fatores de forma e os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, é importante expressar as características da bacia em termos quantitativos. Vários parâmetros físicos foram desenvolvidos, alguns deles aplicáveis à bacia como um todo, enquanto que outros são relativos a apenas algumas características do sistema.

A análise dos dados obtidos teve como parâmetro alguns dos aspectos morfométricos utilizados por Horton (1945), Strahler (1957), Christofolletti (1980) e Villela e Mattos (1975).

Segundo Christofolletti (1980), os índices e parâmetros sugeridos para estudo analítico são abordados em quatro itens: hierarquia fluvial, análise linear, análise areal e análise hipsométrica.

O primeiro trata da ordenação ou hierarquização da rede de drenagem. O segundo item, a análise linear da rede de drenagem, compreende as medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento. A análise areal da bacia hidrográfica é o terceiro item, englobando vários índices que utilizam medições planimétricas, além das lineares. E, por fim, o quarto item, a análise hipsométrica, compreende a análise da distribuição altimétrica da bacia.

Os parâmetros foram analisados com a finalidade de determinar a forma da bacia e densidade de drenagem, bem como o número total de segmentos e o comprimento.

O sistema de drenagem da bacia em estudo, de acordo com a hierarquia de Strahler (1957), possui ramificação de 5ª ordem em escala de 1:30.000. Isso indica que o sistema de drenagem da bacia é bem ramificado em relação à sua área.

Na Figura 1 é observado que a Lei do Número de Canais (HORTON, 1975), é válida para BHRP, obtendo-se uma linha reta, com correlação negativa. Segundo Strahler (1957), o valor não pode ser inferior a 2. O valor encontrado para a bacia em estudo foi de $R_b=4,9$, estando dentro do valor estipulado por Horton (1975), normalmente entre 3 e 5.

No mapa da rede de drenagem (Tabela 1 e Mapa 4) observa-se a rede de drenagem da bacia do Rio das Pedras.

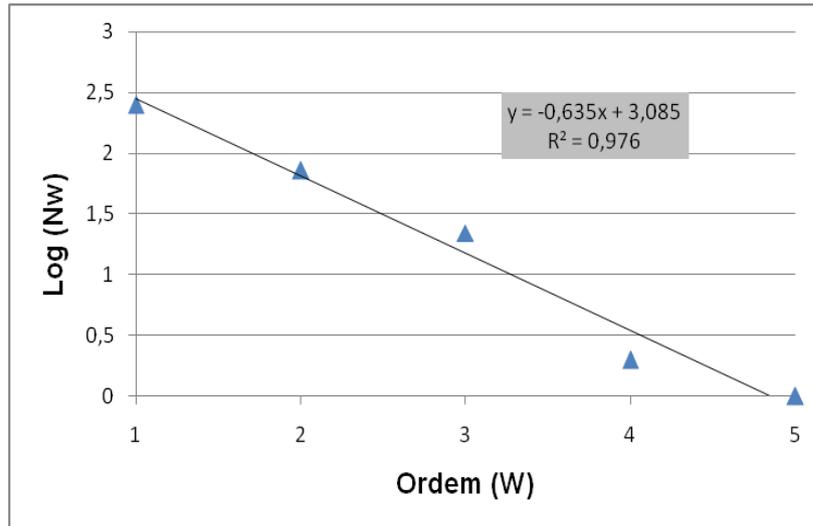
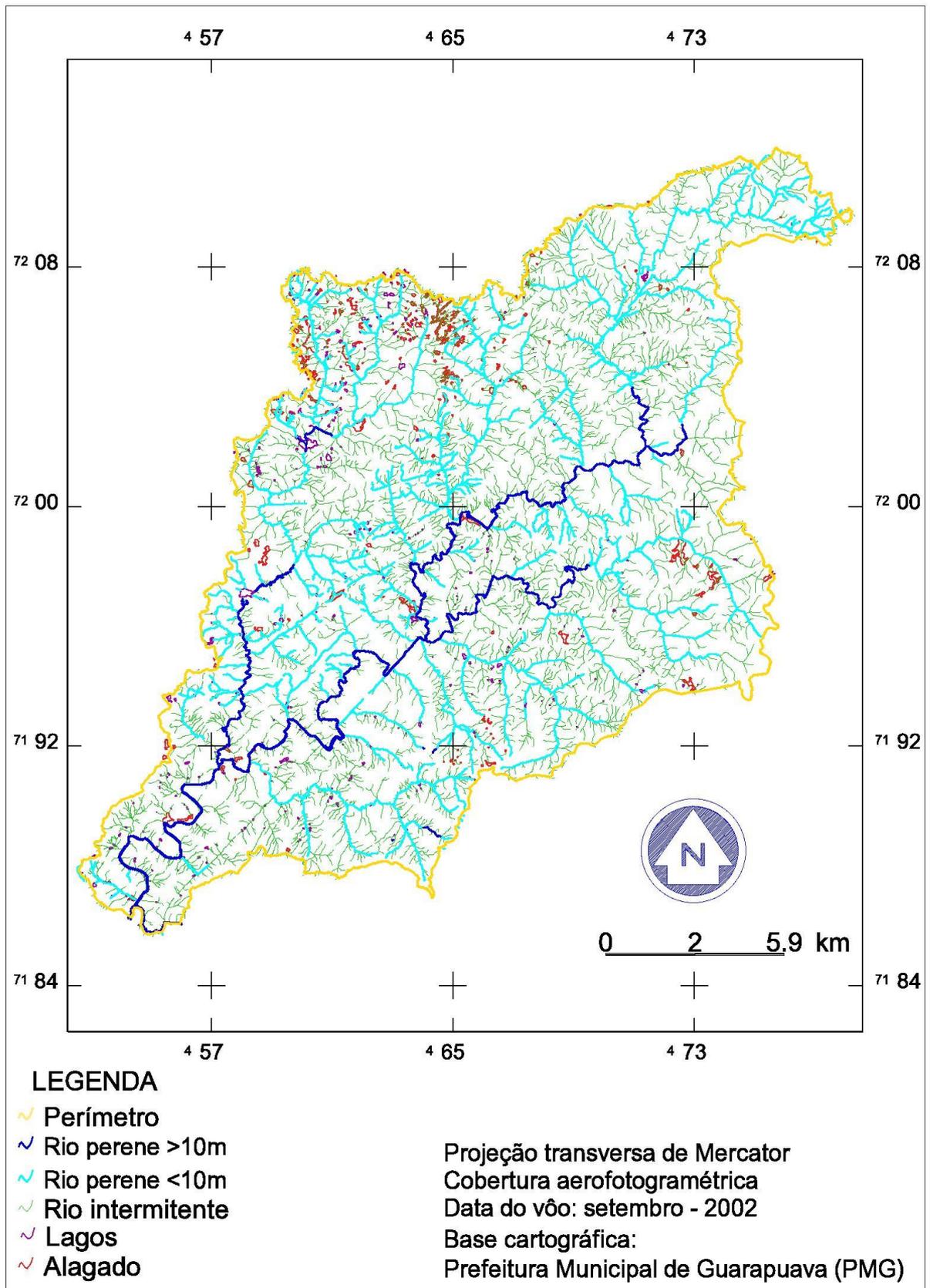


Figura 1- Número de ordem e logaritmo do número de canais (Nw) para BHRP
 FONTE: Base cartográfica da Prefeitura Municipal de Guarapuava (PMG); escala: 1:30.000
 Org. Cunha, M. C. (2009)

Tabela 1 - Índices morfométricos encontrados na bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Índices	Valores obtidos
Área (A)	330,00 km ²
Perímetro (P)	121,29 km
Comprimento da bacia (L)	45,54 km
Comprimento total dos cursos fluviais (Lt)	453, 34 km
Densidade de drenagem (Dd)	1,37 km/km ²
Número total de segmentos (Strahler, 1952) (Nr)	339,00
Amplitude topográfica (Hm)	423,00
Densidade de rios (Dr)	1,0/km ²
Extensão do percurso superficial (Eps)	0,36 km

FONTE: Base cartográfica da Prefeitura Municipal de Guarapuava (PMG); escala: 1:30.000
 Org. Cunha, M. C. (2009)



Mapa 4- Mapa da Rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio das Pedras
 Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

Outro índice trabalhado foi à densidade de drenagem (Dd), que correlaciona o comprimento total de cursos (no presente trabalho foram considerados apenas os canais perenes) de uma bacia com a sua área, e também a densidade de rios, que considera a soma total de segmentos de cada ordem pela área da bacia (STRAHLER, 1957). A densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia.

A densidade de drenagem indica a intensidade com que uma área está sendo dissecada. A capacidade de infiltração da água no solo vai depender de vários aspectos, como tipo de solo, características litológicas, declividade da vertente e vegetação, entre outros. Esses valores ajudam substancialmente o planejamento do manejo da bacia hidrográfica.

Diante dos parâmetros analisados e mencionados na Tabela 1, pode-se considerar que os padrões de drenagem na BHRP não caracterizam a mesma como bem drenada, tendo uma drenagem inferior a 3,5 km/km².

De acordo com Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem varia de 0,5 km/km² com bacias de drenagem baixa a 3,5 km/km² ou mais, em bacias bem drenadas. A bacia em questão possui uma densidade de drenagem de 1,37 km/km², e uma densidade de rios de 1 segmento de rio/km². Isso indica que o parâmetro de densidade de drenagem encontrado para BHRP é caracterizado com relevo regular ou medianamente dissecado.

A densidade de drenagem é um bom indicador da permeabilidade do solo, sendo que os solos arenosos, mais permeáveis, apresentam densidade de drenagem maior do que solos mais argilosos. Segundo Vestena e Thomaz (2006):

A bacia do Rio das Pedras possui duas grandes unidades de solos: 1) associação de solos Litólicos Álicos (Neossolos Litólicos) e Cambissolos Álico, textura argilosa fase pedregosa, sob domínio da floresta subtropical subperenifólia. O relevo desta unidade é predominantemente forte ondulado a montanhoso com declividade superior a 40%; 2) unidade formada pela associação de Latossolo Bruno Álico (relevo suave ondulado 3 a 8%) e Cambissolo Álico (relevo ondulado 20%). De maneira geral, podem ocorrer na bacia pelo menos quatro situações acerca da cobertura superficial: Latossolo, Cambissolo, Neossolo (litólico) e Gleissolo (hidromórfico). Em algumas unidades, ocorrem inclusões de afloramento de rocha, pedregosidade e rochosidade em grau variado. Portanto, o que ocorre é a variação desses solos no âmbito da bacia, em que eles aparecem frequentemente em associação, isto é, um tipo de solo predomina na unidade, entretanto, possui inclusão de um ou mais elementos dentro da unidade (VESTENA e THOMAZ, 2006).

A compactação do solo das estradas nessas áreas, por exemplo, pode dificultar o processo de infiltração da água, gerando escoamento superficial que, associado ao relevo dissecado e à disponibilidade de material, pode aumentar a carga sedimentar nos cursos fluviais.

5.2 Análise da declividade da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

A carta clinográfica ou de declividade é uma das principais cartas temáticas utilizadas no planejamento físico-territorial (planejamento urbano, aptidão agrícola, riscos ambientais, suscetibilidade a erosão, zoneamentos etc.) (THOMAZ, 2005a). O autor coloca também que “esta carta compõe o quadro de análise do relevo fornecendo elementos morfométricos, e até dinâmico a partir de inferência de processos dominantes (escoamento, erosão, movimentos de massa entre outros) de acordo com a declividade” (THOMAZ, 2005a, p.1620).

O modelo digital de elevação hidrologicamente consistente foi utilizado como entrada para a geração do mapa de declividade (VILLELA e MATTOS, 1975). A imagem de declividade gerada foi do tipo contínua, por apresentar valores reais.

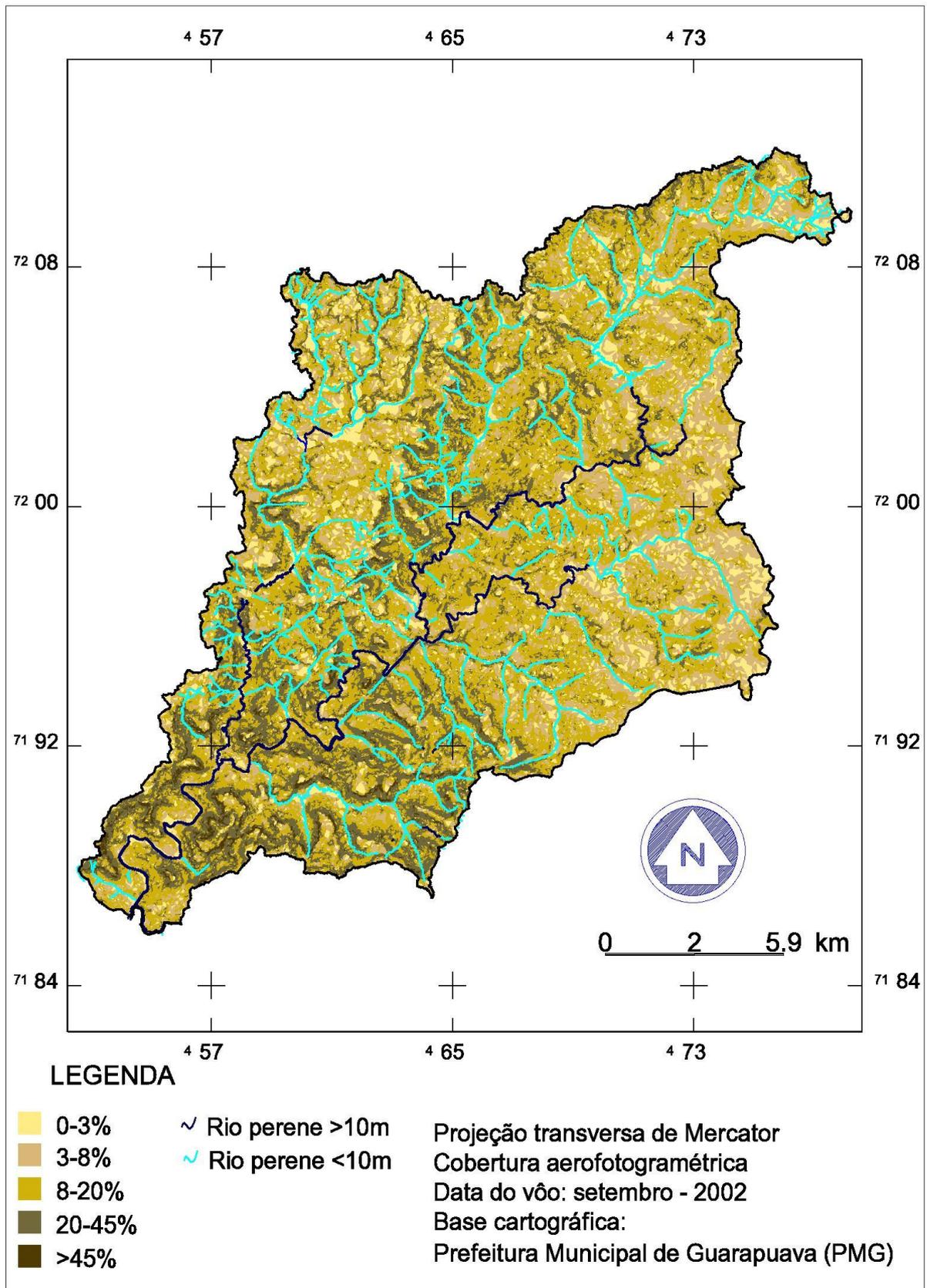
O relevo na BHRP é plano a montanhoso, predominando o ‘ondulado’, apresentando declives compreendidos entre 8 e 20% em 44% da área da BHRP (VESTENA, *et al*, 2004). As classes de declividade foram separadas em cinco intervalos distintos. De acordo com a classificação de declividade sugerida pela EMBRAPA (1979), os resultados obtidos para a BHRP podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2- Classificação da declividade da bacia hidrográfica do Rio das Pedras segundo a EMBRAPA (1979)

Declividade (%)	Área (km ²)	Área (%)	Discriminação
0 - 3	43,92	13,30	Plano
3 - 8	71,29	21,60	Suave-ondulado
8 - 20	144,20	43,69	Ondulado
20 - 45	65,20	19,75	Forte-ondulado
> 45	5,7	1,72	Montanhoso
Total	330,31	100	

FONTE: Base cartográfica da Prefeitura Municipal de Guarapuava (PMG); escala: 1:30.000
Org. Cunha, M. C. (2010)

As classes de declividade se distribuem com frequência semelhante em todos os setores da bacia, no baixo, médio e alto curso, sendo a declividade irregular no domínio da bacia (Mapa 5).



Mapa 5- Declividade da bacia hidrográfica do Rio das Pedras
 Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

As declividades entre 0 a 8% estão presentes em 34,9% da área da bacia nas áreas mais próximas dos cursos fluviais e na foz do Rio das Pedras (952 m), indicando as menores altitudes. As classes de declividade que estão entre 8 a 20% compreendem 44% da área da bacia, uma parte é encontrada na margem direita do Rio das Pedras, porém a maior porcentagem desta classe se encontra na margem esquerda do Rio das Pedras, no curso médio.

As classes de declividade que estão entre 20 a 45% representam 19,45% da área. São encontradas em quase toda a área da bacia, mas se concentram mais na margem direita e esquerda do Rio das Pedras, próximo ao curso médio, e diminuí à medida que se aproxima da foz. Por fim, as declividades $\geq 45\%$ ocupam 1,72% da área da bacia e estão próximas às nascentes dos cursos fluviais, principalmente das nascentes do Rio das Pedras, não se estendendo ao longo da bacia hidrográfica.

Os terrenos da BHRP possuem declividade predominante média (8 a 20%) a média/baixa (3 a 8% e $\leq 8\%$). Essas três classes somam 78,59% da área da bacia. A menor altitude encontrada é de 952 m (foz do Rio das Pedras), e a maior com 1.375 m (próxima à nascente do Rio das Pedras), com uma amplitude altimétrica de 423 m, possuindo uma amplitude expressiva, já que esta influencia na temperatura, e conseqüentemente sobre as perdas de água que ocorrem (evaporação e transpiração).

A variação da precipitação também tem relação com a amplitude altimétrica (Hm), afetando diretamente na dinâmica do escoamento superficial, da infiltração, do tempo de concentração da bacia e conseqüentemente o deflúvio médio (VILELLA e MATTOS, 1975). Fritzsons *et al.*, (2008) definiram o gradiente térmico do Estado do Paraná em 126 metros, ou seja, há uma diminuição média de 1°C a cada 126 metros de altitude no Estado.

A bacia possui uma amplitude de temperatura de mais de 3° C, acarretando essa amplitude variações na evaporação e transpiração. Contudo, as variações de precipitação ao longo do ano são mais significativas, influenciando diretamente no deflúvio médio (VILELLA e MATTOS, 1975).

Dividindo a amplitude altimétrica pelo comprimento da bacia, obtém-se uma medida do gradiente ou relação de relevo (R_r), que guarda relação com o processo erosivo que, no caso da BHRP, a maior parte corresponde a relevo ondulado (8 – 20%). O valor encontrado para a bacia em questão foi 9,2 m/km.

Apesar de a declividade influir na relação entre a precipitação e o deflúvio, principalmente devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, o que reduz, em consequência, a possibilidade de infiltração da água no solo, não se deve desprezar a influência secundária da direção geral da declividade, ou seja, da orientação da bacia

(VILLELA e MATTOS, 1975). As nascentes de orientação sul e leste são conservadoras de umidade, ao passo que as de norte e oeste são dissipadores. Nas bacias de orientação norte deve se esperar maiores taxas de evapotranspiração (TONELLO, 2006). A BHRP apresenta orientação do terreno predominante norte e leste.

A análise da hipsometria (Mapa 6) permite analisar as inter-relações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante a sua distribuição em relação às faixas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada isoípsa base (CHRISTOFOLETTI 1980). Hipsometria é uma técnica de representação da elevação de um terreno por meio de cores. As cores utilizadas possuem uma equivalência com a elevação do terreno. Geralmente é utilizado um sistema de graduação de cores.

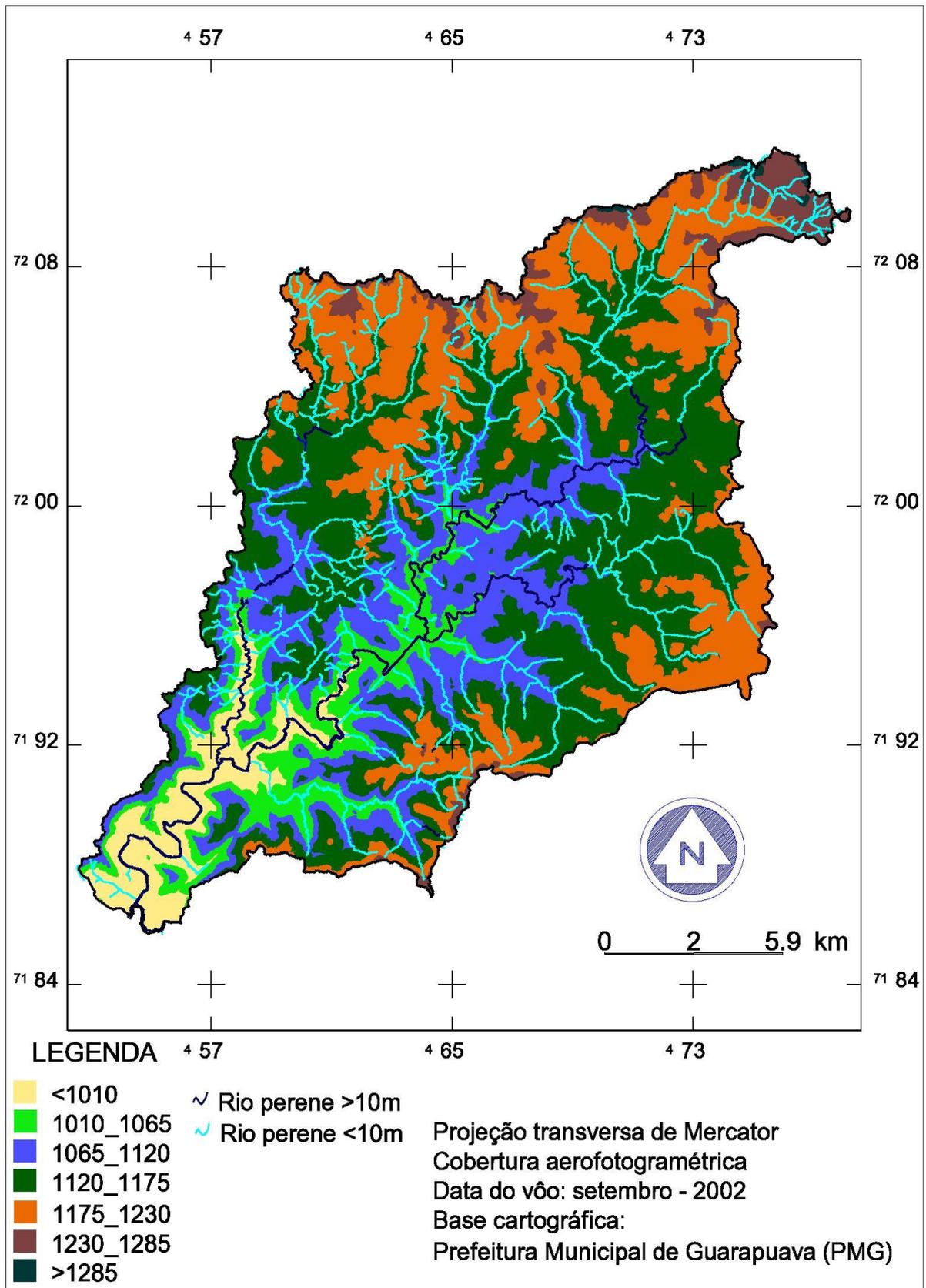
As altitudes da bacia foram subdivididas em cinco classes com intervalo de 55 m. É possível representar as diferentes altitudes de um terreno de duas formas: por meio da hipsometria e por meio de curvas de nível. Em mapas de pequena escala, empregados para o mapeamento de grandes áreas, utiliza-se a hipsometria. Os estudos hipsométricos possibilitam conhecer o relevo de uma região de forma mais aprofundada e, também, quais são os fenômenos que se processam em sua superfície.

A hipsometria da bacia em estudo apresentou 80,8% da área entre as altitudes 1.065 a 1.230 m. Altitudes ≥ 1.230 m estão presentes em 5% da área, sendo mais freqüentes no médio para alto curso da bacia. E as menores altitudes ≤ 1065 representam 14,3% da área com freqüência ao longo do Terraço Fluvial, conforme a Tabela 3.

Tabela 3- Hipsometria da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Altitude	Área (km ²)	Área (%)
< 1010 m	18,84	5,60
1010 – 1065 m	28,55	8,65
1065 – 1120 m	60,98	18,37
1120 – 1175 m	125,73	38,10
1175 – 1230 m	80,20	24,30
1230– 1285 m	15,61	4,68
> 1285 m	1,01	0,30
Total	330,31	100

FONTE: Base cartográfica da Prefeitura Municipal de Guarapuava (PMG); escala: 1:30.000
Org. Cunha, M. C. (2010)



Mapa 6- Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do Rio das Pedras
 Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

No mapa hipsométrico da BHRP, a menor altitude encontra-se próxima à foz do Rio das Pedras (952 m), e no Rio das Mortes, afluente da margem direita do Rio das Pedras, ao contrário das maiores altitudes (≥ 1285 m), que estão próximas às nascentes do Rio das Pedras na Serra da Esperança.

As altitudes menores (próximo aos cursos fluviais) estão em uma área na qual as estradas pavimentadas e caminhos internos também estão presentes, compondo um conjunto de processos que influenciam na drenagem, produção e transferência de sedimentos.

A declividade influencia a relação entre a precipitação e o deflúvio da bacia hidrográfica, sobretudo devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, reduzindo a possibilidade da infiltração de água no solo. Na bacia em estudo, essa declividade parece ser compensada pela presença de cobertura vegetal, que é uma das unidades de uso da terra da bacia, conforme a Figura 2.



Figura 2- Vale do Rio das Pedras
FONTE: Cunha, M. C. (2010)

5.3 Análise do uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

O uso da terra pode ser compreendido como a forma pela qual o espaço é ocupado pelo homem, ou seja, por meio de usos diretos e indiretos da terra. A identificação dos diferentes tipos de uso da terra possibilita um melhor entendimento dos processos e dos problemas ambientais, que permite fundamentar a tomada de decisão e subsidiar um planejamento de manejo de uso racional dos recursos naturais (VESTENA *et al*, 2004). Nesta perspectiva, o tipo de uso da terra se torna essencial para o gerenciamento e manejo dos recursos naturais.

A remoção da vegetação em um ambiente florestal leva, conseqüentemente, a processos erosivos, gerando degradação do ambiente, podendo propagar-se para áreas adjacentes. Assim, a declividade e a cobertura vegetal tornam-se fatores importantes na tomada de decisão de um manejo adequado da bacia hidrográfica, visto que influenciam a precipitação efetiva, escoamento superficial e fluxo de água no solo (CARDOSO *et al*, 2006).

“O uso da terra, de modo geral, na BHRP é diversificado, envolvendo atividades relacionadas à agricultura, à pecuária, à indústria, ao florestamento/reflorestamento, entre outras” (VESTENA *et al*, 2004, p.101).

O mapeamento dos diferentes tipos de uso da terra permitiu verificar uma grande heterogeneidade na paisagem, representada por treze classes de uso da terra, (Tabela 4) bem como possibilitou também constatar a presença de grandes extensões homogêneas, principalmente no curso médio e superior da mesma (VESTENA *et al*, 2004). As áreas de uso urbano, basicamente constituídas por pequenos vilarejos próximos às estradas (vias principais e secundárias), representam 0,36% da área total.

Tabela 4 – Uso da Terra na bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Classes temáticas de uso da terra	Área (km ²)	Total da classe (%)
1. Mata	157,11	47,55
2. Campo	55,28	16,73
3. Urbana	1,19	0,36
4. Agricultura mecanizada	20,75	6,28
5. Capoeira	59,31	17,95
6. Edificadas	3,83	1,16
7. Água	1,39	0,42
8. Mineração	0,03	0,01
9. Banhados/áreas alagadas	2,15	0,65
10. Agricultura Tradicional	3,05	0,92
11. Reflorestamento/florestamento	26,00	7,87
12. Industrial	0,30	0,09
13. Área de depósito de lixo	0,03	0,01
Total	330,42 (km²)	100,00 (%)

FONTE: Vestena *et al.*, (2004)

Na Tabela 4 observa-se que as áreas com cobertura vegetal (mata, capoeira, campo e reflorestamento/florestamento), são significativas, ou seja, recobrem em torno de 90,1% da área total e grande parte das nascentes do rio principal. A BHRP apresenta-se com elevada cobertura vegetal nativa.

Um fato que preocupa é a presença de áreas com depósito de lixo, sendo que a bacia é um manancial de abastecimento do município de Guarapuava, e estes materiais jogados em locais inadequados podem trazer inúmeros problemas tanto para contaminação do solo como da água.

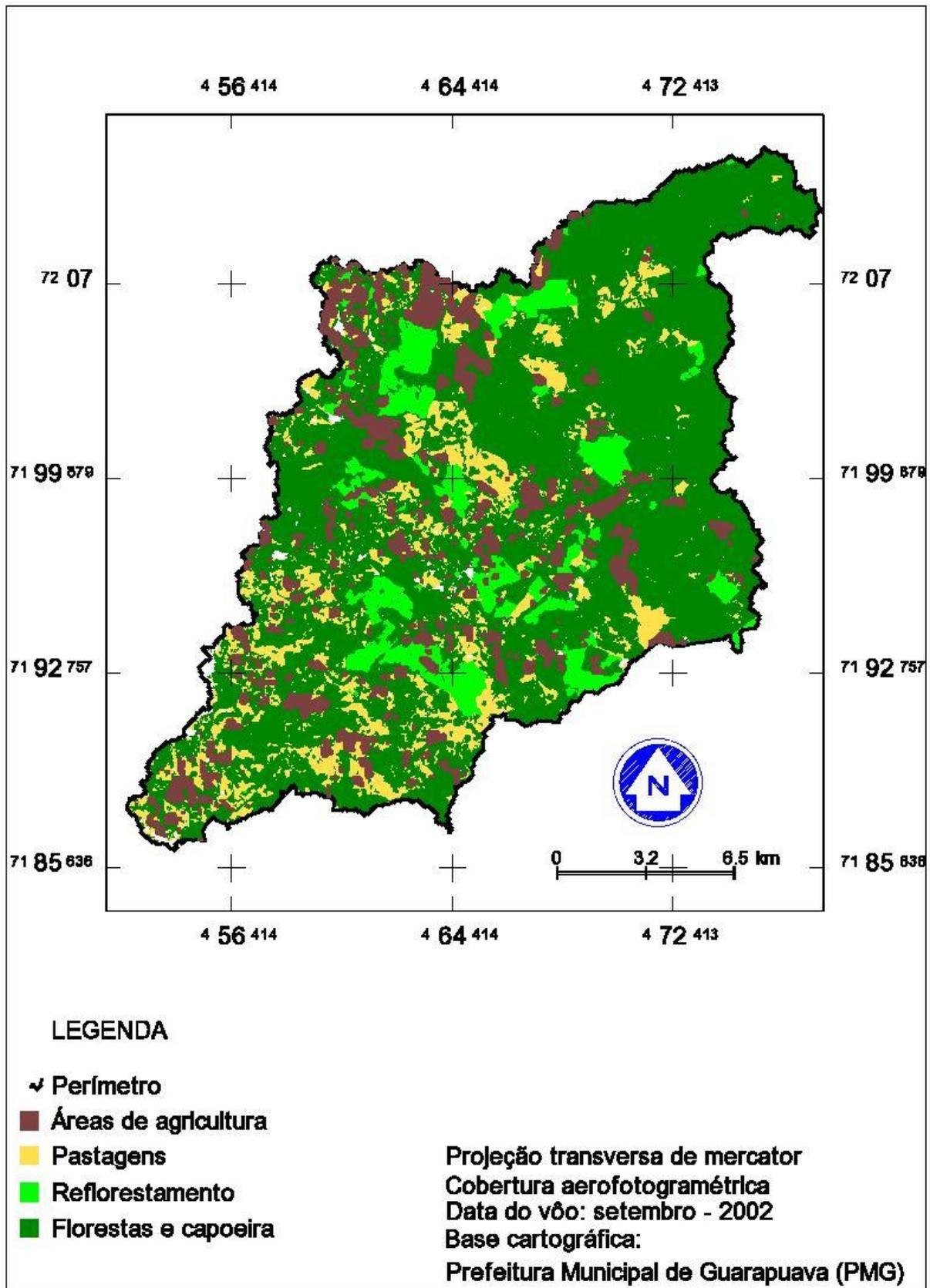
A agricultura mecanizada está presente em todos os setores da bacia, no entanto ocupa pouco mais de 6% da área. Do total desta classe, 2,6% concentra-se mais na margem direita do Rio das Pedras do médio para alto curso, associada a locais com declividades inferiores a 3% em que não há restrição quanto ao uso de máquinas agrícolas. Em alguns pontos a agricultura mecanizada se associa a declividades 8 – 20%, fazendo o uso da terra nas proximidades dos cursos fluviais.

A classe de agricultura tradicional representa 0,92% da área e se concentra em maior parte nas proximidades do Rio das Pedras, próximo à sua foz.

As áreas de florestamento/reflorestamento representam 7,87% da área, e se concentram mais no curso médio da bacia, que ora é representado por pequenas áreas, ora por grandes extensões de um único tipo de uso da terra.

A bacia em estudo possui grandes unidades com cobertura vegetal, portanto, com proteção vegetal significativa do manancial. Isso influencia na disponibilidade de água para captação, uma vez que esta cobertura vegetal é relevante para a proteção do solo.

Do total das 13 classes temáticas de uso da terra no Mapa 7 pode-se observar o agrupamento das classes e a representação das mesmas. Lembrando que a maior parte da bacia caracteriza-se por grandes extensões de cobertura vegetal.



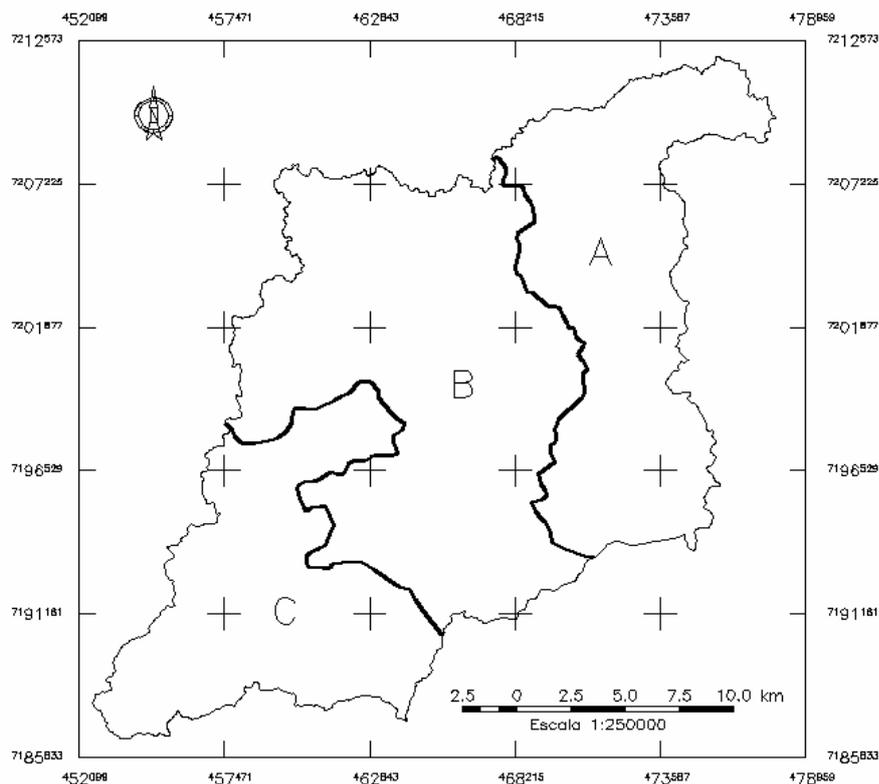
Mapa 7- Uso da Terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras
 Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

As áreas de campo (16,73%) são áreas de vegetação gramíneas, em que o pastoreio é praticado. As pastagens naturais, as artificiais ou cultivadas estão incluídas nessa categoria.

As áreas edificadas e mineração somam 1,17% de toda área da bacia. As áreas edificadas se distribuem ao longo da bacia e são edificações isoladas encontradas no meio rural. Já a mineração são três pontos isolados de retirada de cascalho, dois na margem direita do Rio das Pedras, próximo à foz, e um no curso superior do mesmo.

Os demais usos, água e banhados/áreas alagadas, somam 1,07% da área. A água representa os rios principais, lagos e açudes, e as áreas alagadas são terrenos planos, geralmente encharcados, que podem periodicamente apresentar-se enxutos e se concentram mais na área com presença de agricultura mecanizada.

De acordo com Vestena *et al*, (2004) distingui-se na bacia três grandes unidades de uso da terra (Mapa 8).



Mapa 8- Grandes unidades de uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras
 FONTE: Vestena *et al*, (2004)

O curso superior da bacia (A) engloba as áreas pertencentes à A.P.A. da Serra da Esperança e também as principais nascentes do Rio das Pedras, predominando paisagens homogêneas, com destaque para as matas.

No curso médio da bacia (B) predomina grandes extensões e em alguns casos pequenas extensões com um único tipo de uso, predominando reflorestamento/florestamento.

E, por último, o curso inferior da bacia (C) caracteriza-se por uma paisagem heterogênea com predomínio de agricultura tradicional.

Nos parâmetros analisados (rede viária e rede de drenagem), constata-se que as estradas podem transformar-se em rios efêmeros em eventos pluviométricos, tornando-se fontes de sedimentos, mas estes parâmetros não podem ser analisados isoladamente. Deve ser considerado também o uso da terra da bacia hidrográfica, principalmente quanto se trata de agricultura mecanizada, que disponibiliza grande quantidade de sedimento para ser transportado, devido ao revolvimento do solo para o cultivo.

Estimou-se que a área ocupada pelas estradas e caminhos na bacia, como uma classe de uso da terra, é de aproximadamente 4,16 km² (416 ha) representando 1,26% da área da bacia. Esta área se distribui em todas as unidades da bacia, sendo estradas principais, secundárias e caminhos internos.

Como destacado, a cobertura vegetal representa 90,1% da área. Lepsch *et al*, (1991) propõem a classificação da declividade de terreno por meio de 7 classes. De acordo com a capacidade de uso, as classes vão de <2% até 70% (Tabela 5).

Tabela 5- Classes de declividade do terreno de acordo o sistema da capacidade de uso da terra

Classe	Declividade	Características Gerais das classes e processo erosivo (resumo)
A	<2%	Áreas planas ou quase planas. O escoamento superficial é muito lento. Não há impedimento ao uso de máquinas. Em geral a erosão hídrica não é significativa. Práticas simples de conservação do solo.
B	2 – 5%	Áreas com declives suaves. O escoamento superficial é lento ou médio. Não há impedimento ao uso de máquinas. Em geral a erosão hídrica não oferece nenhum problema. Práticas simples de conservação do solo.
C	5 – 10%	Áreas inclinadas, relevo ondulado. Escoamento superficial médio ou rápido. O declive não prejudica o uso de máquinas. A erosão hídrica oferece poucos problemas. Práticas simples a complexas de conservação do solo.
D	10 – 15%	Áreas muito inclinadas, relevo colinoso. O escoamento superficial é rápido. A maior parte das máquinas pode ser usada. A erosão hídrica oferece certa limitação. Os cultivos devem ser perenes, pastagens ou reflorestamento.
E	15 – 45%	Áreas fortemente inclinadas. Escoamento superficial muito rápido. Uso de máquinas agrícolas especiais ou mais leves (com dificuldade).
F	45 – 70%	Áreas íngremes (montanhosa). Escoamento superficial muito rápido. Uso de máquinas agrícolas especiais ou mais leves (com dificuldade). Nenhum tipo de máquina pode trafegar. Solos extremamente suscetíveis à erosão hídrica.
G	>70%	Áreas de relevo escarpado. Pouco desenvolvimento pedogenético. Solos rasos associados a afloramento de rocha.

FONTE: (LEPSCH *et al*, 1991, p.88). Adaptado de THOMAZ, E. L (2005a).
Org. Cunha, M. C. (2010)

Na BHRP encontra-se predomínio das classes de 8 – 20% de declividade. Nessas unidades, colocadas por Lepsch *et al.*, (1991), abrange as classes C, D, e E. Essa classe abrange áreas inclinadas com relevo ondulado até áreas fortemente inclinadas com escoamento superficial muito rápido. Na medida em que a declividade aumenta, o uso de máquinas agrícolas fica restrito a máquinas especiais ou mais leves. Por sua vez, o uso da terra nessas classes de declividade se resume em capoeira, mata, campo e principalmente reflorestamento/florestamento, que somam 90,1% da área da bacia. Reflorestamento/florestamento são plantio e replantio de espécies vegetais nativas ou não, disciplinadas e homogêneas, como exemplo: pinus e erva-mate.

A agricultura mecanizada (6,28%) está presente em todos os setores da bacia, no entanto, a maior parte se concentra na margem direita e esquerda do Rio das Pedras, no médio curso, em que predomina declividades entre 0 – 3%. Segundo Lepsch *et al.*, (1991), as classes são A e B, que vão desde áreas planas ou quase planas a áreas com declives suaves. Com escoamento superficial lento ou médio, não há o impedimento de máquinas agrícolas, com práticas simples de conservação do solo. Por sua vez, segundo APEPA (2010), os cultivos mais significativos no município de Guarapuava são: soja, trigo, milho, cevada, feijão e batata, que somam 105.352 ha.

Embora a agricultura mecanizada se concentre nas áreas com declividades inferiores a 5%, uma parte é cultivada em locais com declividades superiores a 15%, com relevo inclinado e escoamento superficial rápido. Os cultivos mais indicados nessas áreas são as perenes, como pastagens ou reflorestamento. Os plantios nessas áreas declivosas, com o revolvimento do solo para o cultivo tornam-se, assim, fonte de sedimento, acelerando o transporte de sedimento para áreas mais baixas ou para os canais fluviais, uma vez que não foram interceptados.

Sendo assim, o uso da terra da BHRP é bastante diversificado, envolvendo áreas com fins agrícolas, industrial e urbano. A cobertura vegetal é significativa, e se concentra mais no curso superior da bacia com grandes extensões de matas. As áreas de preservação permanente em muitos casos não são preservadas, fazendo uso da terra nas proximidades dos canais fluviais e declividade elevada. A agricultura mecanizada parece não ser a principal fonte de sedimentos, é pouco significativa (6,28%) na área da bacia, e a maior parte é cultivada em áreas de declividade acentuadas onde não há restrições em relação à atividade agrícola.

Portanto, o uso da terra ligado ao fornecimento de sedimentos carece de medidas conservacionistas de práticas de uso do solo, que viabilize a produção de alimentos sem inviabilizar o uso das demais unidades da bacia, vegetação, rios, estradas, solo etc.

5.4 Análise da rede viária da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Um dos ganhos que podem ser obtidos com o uso de um SIG, em relação à forma tradicional de analisar a condição de utilidade das rodovias não pavimentadas, é a redução do tempo para obter determinadas informações. O SIG possibilita a tomada de decisões mais técnica e menos pessoal, sobre um banco de informações multidisciplinar (SILVA *et al*, 2009). Thomaz (2002) considera que as estradas são formas erosivas que cortam o leito de rios, vertentes e canais escoadouros das águas das chuvas. O tipo e a qualidade do material da superfície influenciam no desempenho das estradas. Este desempenho está relacionado com os defeitos, que se agravam à medida que a estrada é mais solicitada com o tráfego.

O tipo de revestimento mais comum em estradas não pavimentadas é o próprio solo local devidamente nivelado. Porém, muitas vezes, para melhoria da qualidade da superfície de rolamento, coloca-se sobre o leito da estrada uma camada de pedra ou material granular, adicionando uma quantidade suficiente de sedimentos finos, que funcionam como aglutinantes quando da compactação (ODA *et al*, 2007). Diante do exposto, a elaboração do mapa temático das estradas, a partir do banco de dados disponível, teve como objetivo quantificar e também avaliar alguns parâmetros referentes às mesmas.

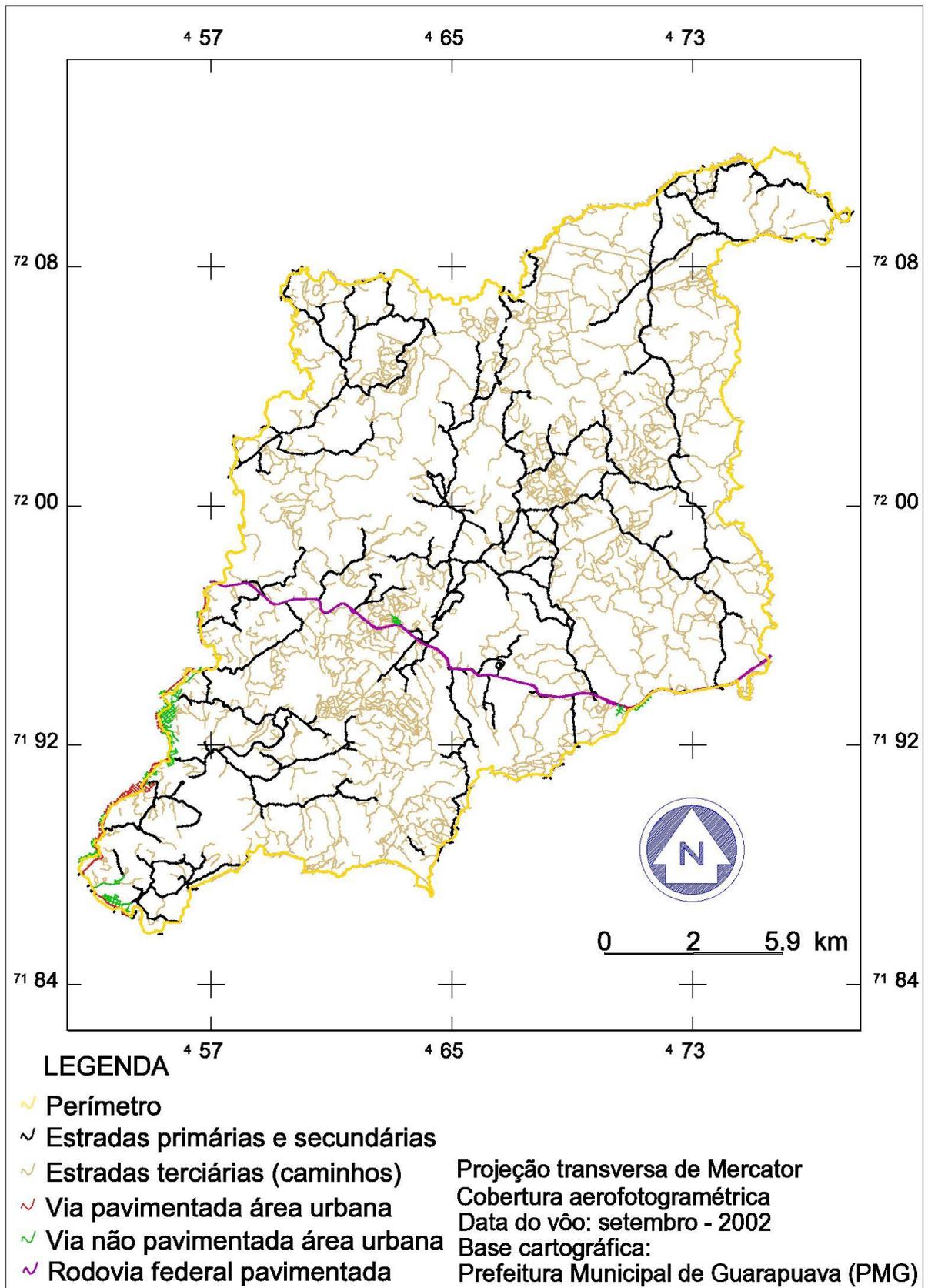
Verificou-se que uma das peculiaridades do sistema de estradas na BHRP é que seu leito geralmente acompanha o fundo de vale (estradas principais). Por outro lado, as estradas secundárias e caminhos internos são construídos em todos os sentidos. Na Tabela 6 pode-se observar que as estradas rurais e caminhos somaram 1.166,6 km em uma área de aproximadamente 330 km² na BHRP.

Tabela 6- Rede viária da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Rede Viária	Km	%
Rodovia federal pavimentada	21.22	1.8
Estrada vicinal pavimentada	16.72	1.4
Estrada vicinal não pavimentada	270.62	22.4
Caminhos	895.99	74.0
Ferrovia	5.04	0.4
Total	1209.6	100.0

FONTE: Base cartográfica da Prefeitura Municipal de Guarapuava (PMG); escala: 1:30.000
Org. Cunha, M. C. (2010)

Na BHRP, o número de caminhos mapeados supera as estradas vicinais não pavimentadas, indicando que grandes partes dos sedimentos transportados não são apenas de origem das estradas principais. No Mapa 9 observa-se rede viária da BHRP com as estradas primárias (1), secundárias (2) e terciárias (caminhos internos) (3).



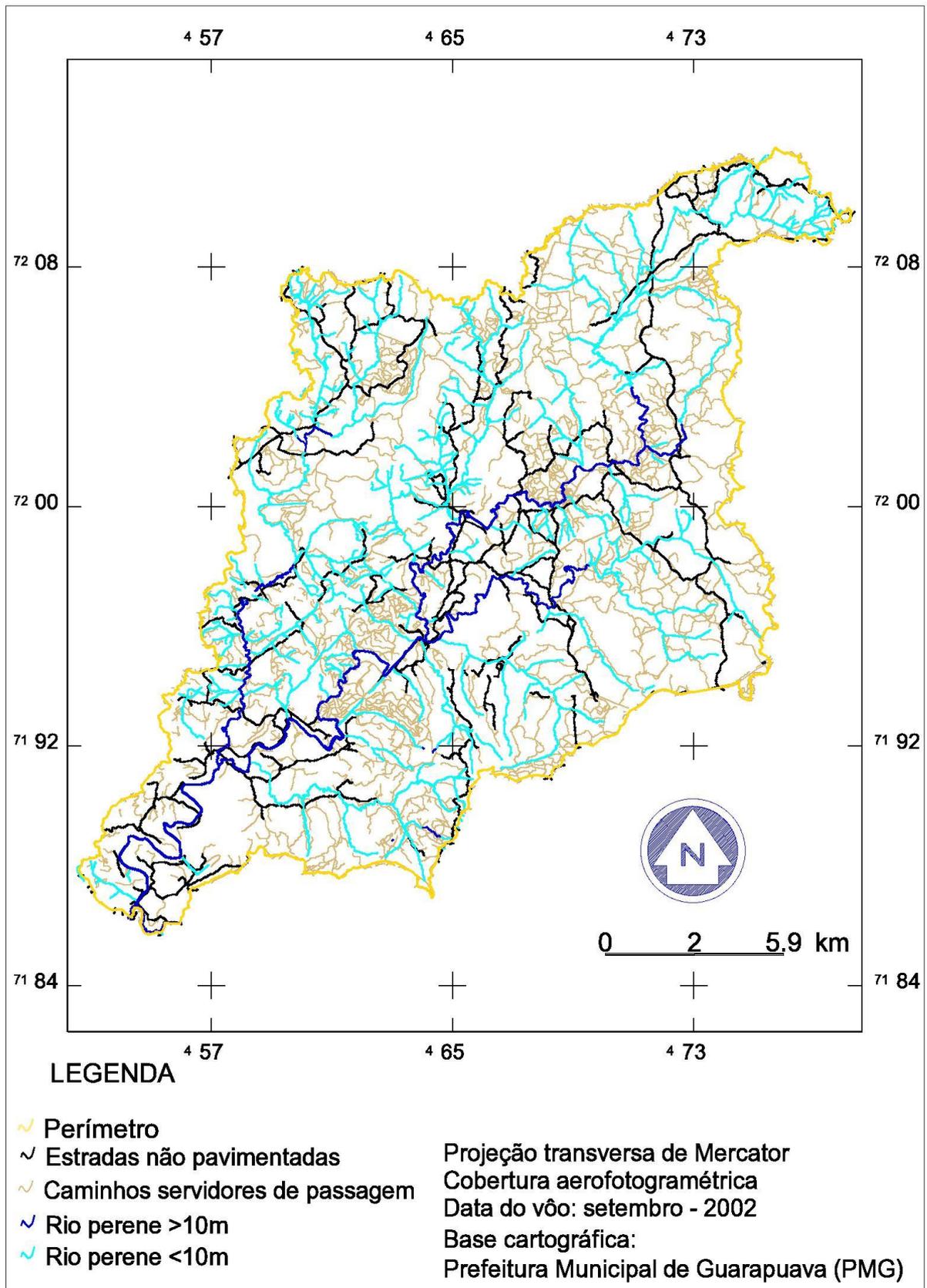
Mapa 9- Mapa da rede viária da bacia hidrográfica do Rio das Pedras
 Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

As estradas influenciam na densidade de drenagem de uma bacia quando se compara a drenagem natural e a rede de circulação viária. A extensão do Percurso Superficial (Eps) representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente (HORTON, 1945).

Por sua vez, o comprimento total de segmentos (rios perenes) somou 453,34 km, ou seja, (Dd 1,37 km/km²). Enquanto, a rede viária (estrada vicinal não pavimentada e caminhos) registrou 1.166,6 km, conseqüentemente a densidade de estradas foi 3,53 km/km², ou seja, quase duas vezes maior que a densidade de drenagem natural.

Somando-se a rede drenagem natural e a rede viária a extensão atinge 1.619,9 km, aumentando a densidade para 4,9 km/km². Portanto, com acréscimo da densidade total com a inclusão das estradas foi 72% superior de quando se considerou apenas a drenagem natural. Vale ressaltar que não foram considerados os canais efêmeros e intermitentes na estimativa da densidade de drenagem (Mapa 10).

A extensão do percurso superficial referente à rede de drenagem é de 364 m, porém, quando se considera a rede viária, a extensão do percurso superficial é de 141 m. Portanto, a extensão do percurso superficial da rede viária é quase duas vezes inferior à rede de drenagem, sendo 15,7% superior quando se considera as estradas rurais.



Mapa 10- Rede de drenagem e rede viária da bacia hidrográfica do Rio das Pedras
 Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

Considerando apenas a rede de drenagem natural, esta bacia possui densidade de drenagem pequena, mas com a inclusão das estradas, a bacia aumenta sua capacidade de drenagem, potencializando também o transporte de sedimentos para canais fluviais. O leito das estradas, quando aprofundados, interceptam o fluxo subsuperficial, ou seja, as estradas são importantes componentes na circulação de água e na produção e transferência de sedimento, que deve ser considerada nos estudos de planejamento dos recursos naturais (CUNHA *et al*, 2010).

A perda de solo por processos erosivos nas estradas vicinais tem grande poder de evolução, visto a inexistência de uma camada capaz de proteger a via da ação das intempéries. Ao atingir as propriedades rurais, a perda de solo se intensifica mais ainda devido ao fato de o solo ser menos compactado, pelo seu emprego na agricultura (HERMENEGILDO JÚNIOR e FERREIRA, 2007). Os autores enfatizam que as enxurradas podem levar para os mananciais resíduos de defensivos agrícolas, bem como de adubos químicos e outros elementos de correção do solo para cultivo dessas áreas. Ao atingir os cursos d'água, esse material excedente contribui para a eutrofização dos mesmos, diminuindo, assim, a qualidade da água bem como da fauna e flora aquática (HERMENEGILDO JÚNIOR e FERREIRA, 2007).

As estradas, além de dificultar o tráfego com os problemas que afetam as vias, também causam problemas ambientais, como a formação de processos erosivos, a perda do solo por lixiviação e a sua deposição nos cursos d'água, causando o assoreamento e poluição da água. Maderna (2002) afirma que estradas mal planejadas funcionam como carreadores de sedimentos, tornando-se uma das principais responsáveis pelo assoreamento de mananciais, deslizamentos e queda de barreiras, perda de área produtiva, interrupção de corredores naturais de dispersão e deslocamento de animais silvestres.

Segundo Catelani *et al*, (2004), a proximidade das vias em relação à rede de drenagem em bacias hidrográficas com relevo acidentado, agravada pela ausência de drenagem superficial adequada e contenção dos processos de erosão de taludes na construção dessas vias, potencializa a ação da força hidráulica das enxurradas como elemento de remoção e transporte de material em direção aos cursos d'água.

Do total de estradas não pavimentadas, 270,62 km, mais de 40% destas vias, ou seja, 115,3 km estão localizadas nas proximidades da BR-277 (no curso médio do Rio das Pedras), concentrando-se também no sudoeste da BHRP (próximo à área urbana) e diminui na medida em que se afasta destes locais.

Os caminhos internos concentram-se em maior densidade em quatro locais: dois próximos à BR-277, um na parte central do médio para o alto curso da bacia, e o outro local

de concentração destes caminhos está na região em que a agricultura mecanizada mais se intensifica. No entanto, estes caminhos se distribuem de forma homogênea nas demais unidades da bacia.

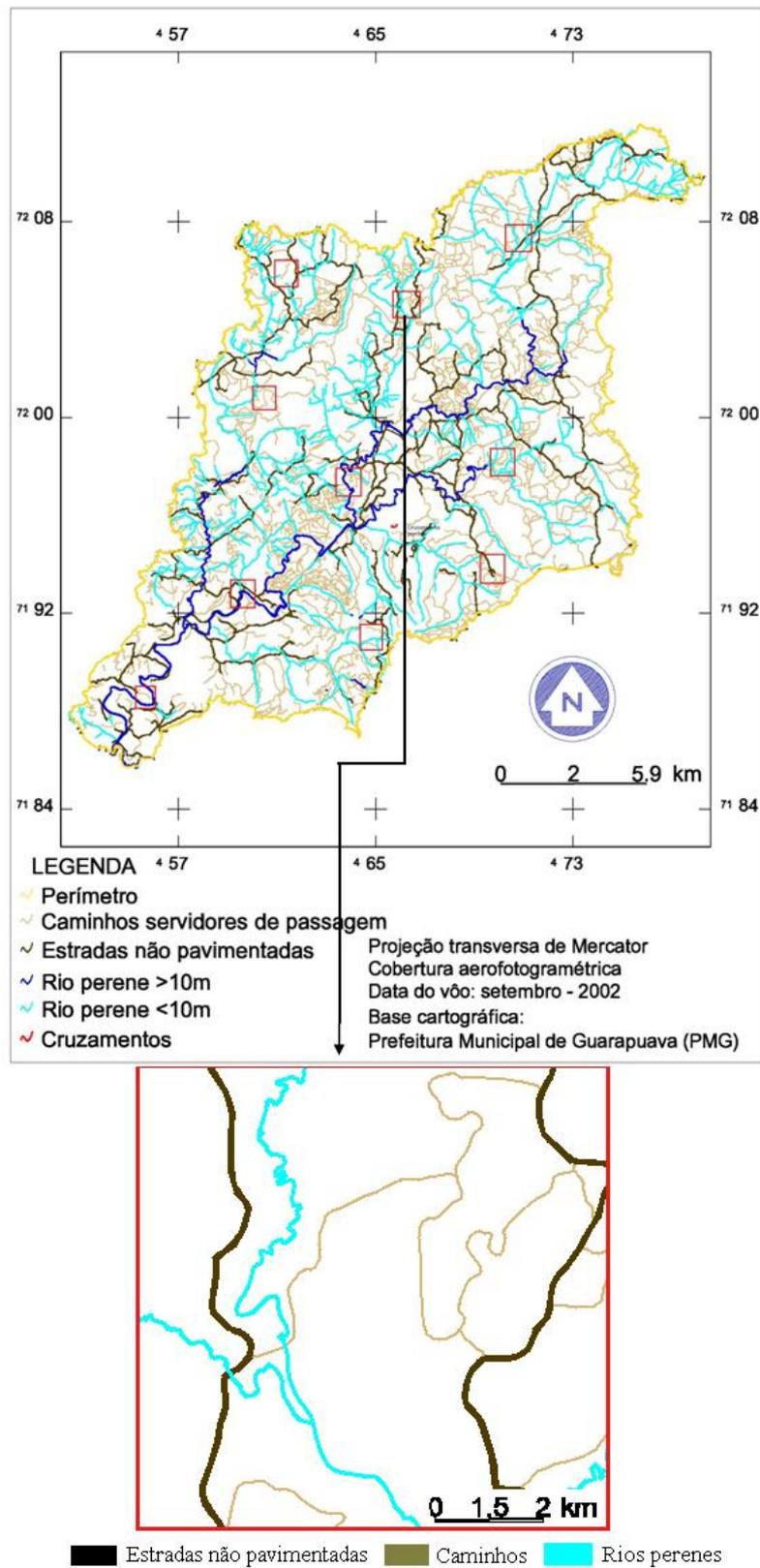
A maior porção do sedimento produzido na superfície da estrada é de tamanho inferior a 2 mm, sendo o mais prejudicial aos recursos hídricos, apresentando o agravante de que o material erodido das estradas move-se, comumente, diretamente dos canais de drenagem aos cursos d'água (GRIEBELER *et al*, 2005).

Em áreas rurais, os sistemas viários normalmente não são pavimentados e estão hidrológicamente conectados aos canais fluviais por meio de inúmeros cruzamentos, que funcionam como ponto de entrada de grande carga sedimentar (LIMA, 2004). Daí a importância de analisar a situação da malha de estradas rurais em relação ao sistema fluvial. O autor ainda enfatiza que os mecanismos de transferência de sedimentos a partir das estradas podem ser classificados em três tipos: (1) erosão de estradas paralelas a canais, (2) erosão de estradas que cruzam canais e (3) rompimento de aterros com cruzamentos.

Portanto, outro parâmetro analisado foi o número de cruzamentos de estradas e cursos d'água existentes na bacia, pois isto facilita a conexão-transferência de sedimento da vertente para o canal fluvial. As características do cruzamento da estrada X rio são de fundamental importância, pois determinam a eficiência dos fluxos superficiais no transporte de sedimento.

Em dez pontos, selecionados aleatoriamente ao longo da bacia, foram estimados para os cursos d'água em média 2,4 cruzamentos (estrada X rio)/ km² ±1,34 em relação ao valor da média de cruzamentos. Considerando que a área da bacia é de aproximadamente 330 km², estima-se que o número total de cruzamentos seja de 792. Na bacia foram considerados apenas rios perenes, com as estradas vicinais não pavimentadas e caminhos internos.

O Mapa 11 exemplifica uma seção em que foi analisado o número de cruzamento de estradas e cursos d'água, ressaltando que para a estimativa do número total de cruzamentos existentes foram selecionados aleatoriamente dez pontos de controle na bacia.



Mapa 11- Cruzamento de estradas e cursos d'água em setor selecionado aleatoriamente
Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

O tipo de pavimento das estradas pode ser importante em algumas áreas, pois o comportamento do material frente ao escoamento superficial pode ser variável, o que implicaria em conexão-transferência de sedimentos diferenciados para os cursos d'água. Segundo Idoraldo Júnior (2006), o material utilizado para revestimento do leito da estrada pode ser cascalho basáltico ou pedra brita, entre outros. A camada de revestimento é variável, podendo ter de 5 a 20 cm de espessura.

O levantamento de campo mostrou que em grande parte as estradas, principalmente as estradas terciárias, não possuem qualquer tipo de revestimento, com exceções de algumas que são cascalhadas com o material do próprio local.

5.5 Identificação dos impactos provocados pela localização e manutenção das estradas rurais

Thomaz (2005b) realça que os processos ligados à exploração dos recursos naturais (atividade agropecuária) que se iniciou na região de Guarapuava por volta do século XVIII foi um dos principais agentes transformadores da paisagem regional, especialmente da cobertura vegetal e, por consequência, influenciou a morfodinâmica superficial. Portanto, a localização de muitas estradas rurais na BHRP se deve ao processo de exploração dos recursos existentes.

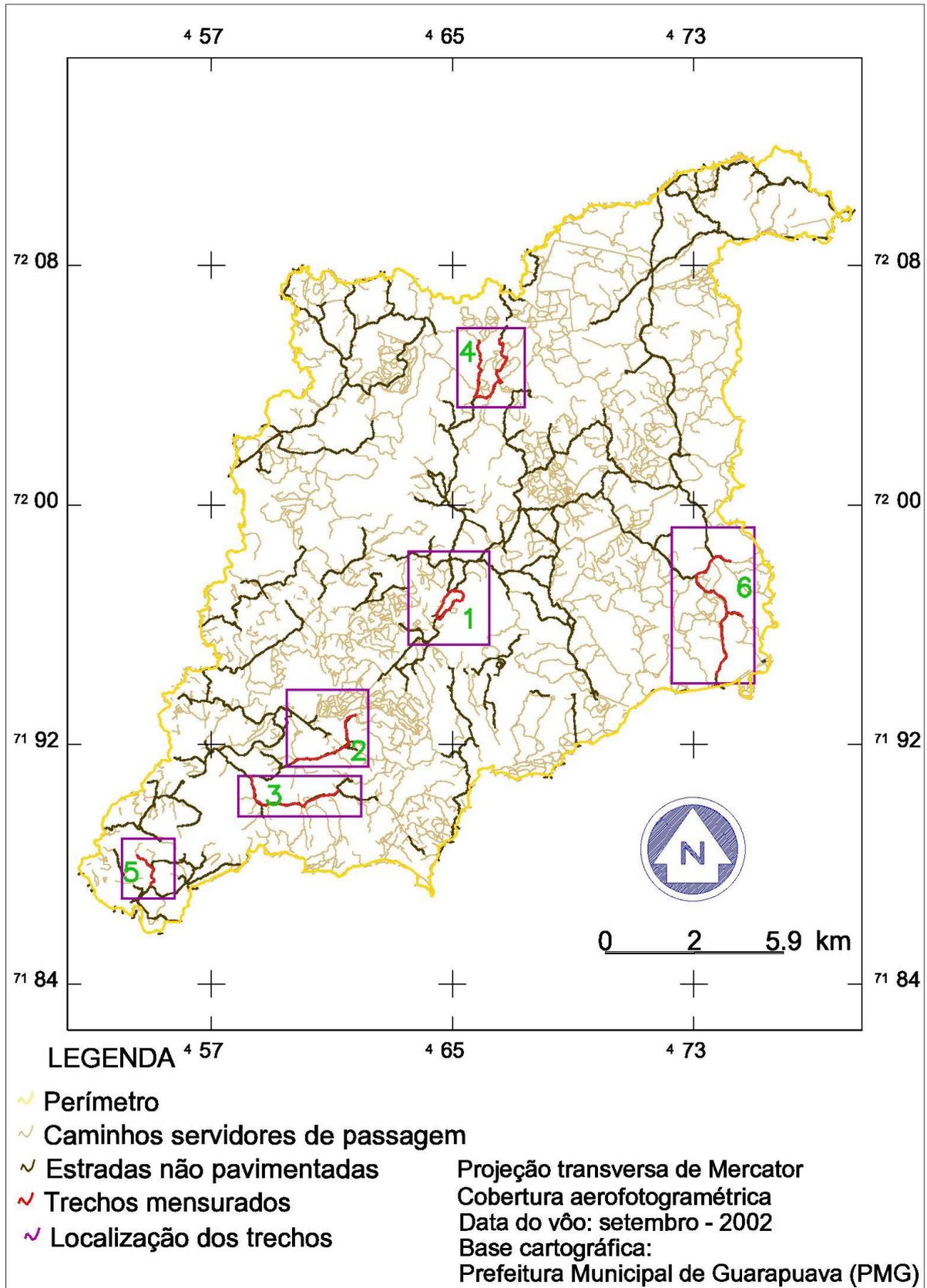
A localização das estradas pode agravar ou diminuir o transporte de sedimentos para os cursos d'água. Um manejo adequado contribui para mitigar os problemas gerados pelas mesmas, diminuindo assim a degradação ambiental, principalmente de recursos hídricos, por meio do assoreamento.

Em muitos municípios, devido à falta de recursos, as estradas não pavimentadas acabam servindo de acesso para o escoamento da produção agropecuária. Com isso, as solicitações de tráfego são maiores, o que acaba aumentando a deterioração da superfície dessas estradas e a necessidade de manutenção (ODA *et al*, 2007).

Grande parte da região Centro-Sul do Paraná (ex. BHRP) são terras dissecadas, ocupadas por agricultura familiar, florestas e reflorestamento. Nas terras dissecadas, as estradas, carreadores e caminhos são implantados em diferentes unidades geomorfopedológicas e muitas vezes não é considerada a aptidão do terreno. Por outro lado, a conservação das estradas rurais em terras dissecadas é realizada com dificuldade. Deste modo, muitos carreadores e caminhos internos das propriedades tornam-se intransitáveis devido ao forte ravinamento que se instala sobre o leito dessas vias de circulação (THOMAZ, 2009).

Portanto, a identificação da localização e formas de manutenção das estradas ajuda substancialmente no planejamento e uso deste recurso.

A identificação dos impactos provocados pela localização e manutenção das estradas rurais permitiu também caracterizar as CC, identificando se estas contribuíram ou não para diminuir os impactos nos locais que foram construídas. Diante do exposto, foram identificados os principais problemas provocados pela localização e manutenção das estradas rurais na BHRP. No Mapa 12 tem-se a localização dos setores e dos trechos que foram mensurados.



Mapa 12- Localização dos trechos de estradas para verificação de impactos na bacia hidrográfica do Rio das Pedras. Elaboração: Cunha, M. C. (2010)

5.5.1 Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

O Setor 1 encontra-se entre as coordenadas Lat. S 25°21'10'' e 25°20'25'' e Long. W 51°21'15'' e 51°20'47'' no curso médio do Rio das Pedras, na margem esquerda, Quadro 1. Há presença de corte de uma vertente, com fluxo subsuperficial, que mesmo após longo período sem chuva (aproximadamente 1 mês) a ravina de 120 m de comprimento continuava com fluxo contínuo. A largura média da ravina é de 1,17 m, e a profundidade média de 0,56 m. Há presença de caminhos internos (estrada terciária) com declividade de 12°, largura média de 2,54 m e presença considerável de cobertura vegetal, indicando que não são tão utilizados como as estradas principais, que têm maior trafegabilidade do que as estradas secundárias e terciárias. A Figura 3. A, B, C, D e E representa as seções avaliadas do Setor 1.

Quadro 1- Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Estrada	Declividade	Largura média (m)	Presença de ravinas	Material disponível	Altura do barranco (m)	Caixas de contenção
Primária (1)	1°	6,15	Sim	Sim	0,30	Não
Primária (1)	5°	6,48	Sim	Sim	2,0	Sim
Secundária (2)	15°	5,48	Não	Sim	1,55	Não

Org. Cunha, M. C. (2010)

Existe uma medida de controle antrópica, em que foi feita com o objetivo de reter a enxurrada que escoar no sentido da declividade da vertente em direção à lavoura, na tentativa de diminuir a erosão. Essa medida é uma vala aberta com largura média de 0,97 m, comprimento de 24,50 m e profundidade média de 2 m. Concavidade natural, solo medianamente profundo, com vários matacões expostos (Figura 3. F).



Figura 3- Características das estradas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras do setor 1. Em A, estrada primária; em B, ravina com 120 m de comprimento interceptando o fluxo subsuperficial; em C, barranco em repouso; em D, barranco com vegetação exposta à luz do sol durante maior período do dia; em E, caminho interno com vegetação; em F, medida de controle de drenagem construída pelo proprietário.

FONTE: Cunha, M. C. (2010)

O Setor 2 encontra-se entre as coordenadas Lat. S 25°23'32'' e 25°22'40'' e Long. W 51°23'34'' e 51°22'41'' no baixo curso do Rio das Pedras, na margem esquerda em um trecho que abrange alta, média e baixa vertente, respectivamente (Quadro 2). Há presença de ondulações no centro das estradas, bastante fluxo subsuperficial, pouca disponibilidade de material fino, leito rochoso.

Quadro 2- Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Estrada	Declividade	Largura média (m)	Presença de ravinas	Material disponível	Altura do barranco (m)	Caixas de contenção
Primária (1)	2°-5°-5°	5,50	Sim	Sim	4,0	Sim
Secundária (2)	5°	4,55	Sim	Sim	1,15	Não
Secundária (2)	7°	5,48	Sim	Sim	1,55	Não

Org. Cunha, M. C. (2010)

O Setor 3 encontra-se entre as coordenadas Lat. S 25°24'06'' e 25°24'22'' e Long. W 51°23'08'' e 51°24'39''. O local avaliado está próximo ao canal fluvial (Rio Guabiroba) em baixa vertente (Quadro 3). Em outra seção de alta vertente próximo ao divisor de águas, há presença de estradas secundárias e caminhos internos. Em um cruzamento da estrada com um canal fluvial detecta-se material proveniente da estrada dentro deste curso d'água (Figura 4. A, B, C, D).

Quadro 3- Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Estrada	Declividade	Largura média (m)	Presença de ravinas	Material disponível	Altura do barranco (m)	Caixas de contenção
Primária (1)	2°	4,63	Sim	Sim	0,50	Sim
Secundária (2)	5°	5,25	Não	Sim	3,0	Sim
Secundária (3)	12°	4,20	Sim	Sim	4,0	Sim

Org. Cunha, M. C (2010)

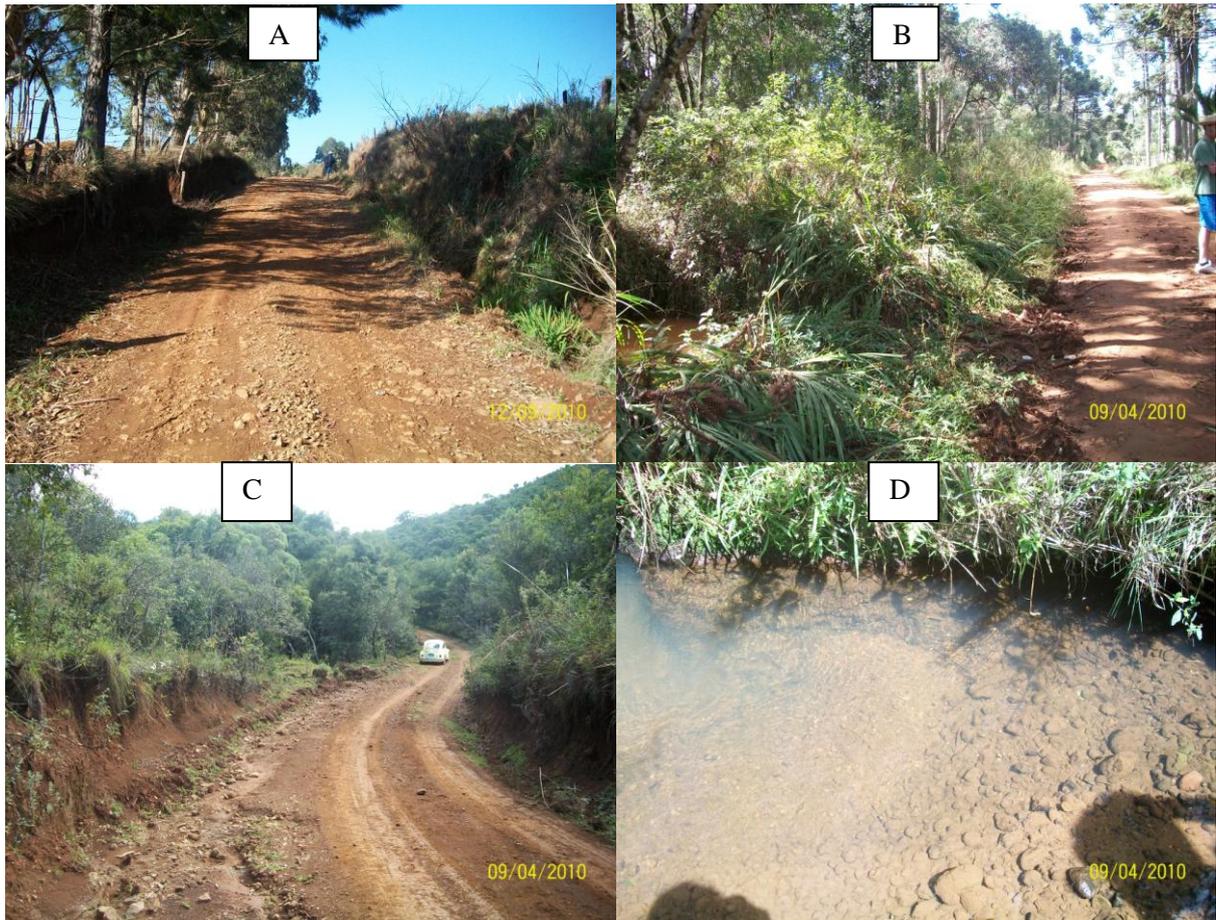


Figura 4- Características das estradas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras do setor 3. Em A, estrada primária; em B, estrada secundária, média vertente; em C, ravina causada pela drenagem lateral da estrada, barrando íngreme com colapso de material depositado na base do barranco; em D, material grosseiro depositado no canal fluvial.

FONTE: Cunha, M. C. (2010)

O Setor 4 encontra-se entre as coordenadas Lat. S 25°15'59'' e 25°16'59'' e Long. W 51°20'80'' e 51°20'24''. Esta seção localiza-se no alto curso do Rio das Pedras, margem direita (Quadro 4). As ravinas e ondulações estão presentes em quase toda a unidade avaliada, se destacando no sentido longitudinal da estrada, nas suas margens (Figura 5. A, B, C, D).

Quadro 4- Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Estrada	Declividade	Largura média (m)	Presença de ravinas	Material disponível	Altura do barranco (m)	Caixas de contenção
Primária (1)	7°	4,71	Sim	Sim	1,40	Não
Secundária (2)	2°	4,30	Sim	Sim	2,23	Não
Secundária (2)	8°	4,20	Sim	Sim	1,60	Não

Org. Cunha, M. C. (2010)

O Setor 5 situa-se entre as coordenadas Lat. S 25°25'37'' e 25°25'59'' e Long. W 51°26'50'' e 51°27'04''. Esta seção localiza-se próximo à foz do Rio das Pedras que, unindo-se ao Rio Bananas, começa a formar o Rio Jordão (Quadro 5). Por estar a menos de 2 m da margem direita do Rio das Pedras, encontra-se em uma zona de saturação com poças de lama. Devido ao fato de estar próxima ao Rio das Pedras, a estrada apresenta sinais de ser inundada quando o leito do rio extrapola suas margens, potencializando ainda mais os impactos na estrada (Figura 5. E, F, G, H).

Quadro 5- Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Estrada	Declividade	Largura média (m)	Presença de ravinas	Material disponível	Altura do barranco (m)	Caixas de contenção
Primária (1)	4°	5,60	Sim	Sim	0,75	Não
Primária (1)	4°	6,24	Não	Sim	0,77	Não
Secundária (2)	1°	4,85	Não	Sim	0,68	Não

Org. Cunha, M. C. (2010)



Figura 5- Características das estradas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras do setor 4 e 5. Em A, estrada primária; em B, caminho interno.



Figura 5 – Continuação: em C, ravina no sentido transversal; em D, forte ravinamento, sem dissipadores de energia; em E e F, pouca presença de ravinas; em G, estrada primária e estrada secundária; em H, estrada na margem direita do Rio das Pedras com fluxo subsuperficial.

FONTE: Cunha, M. C. (2010)

O Setor 6 localiza-se entre as coordenadas Lat. S 25°21'45'' e 25°20'40'' Long. W 51°14'37'' e 51°14'33''. Esta seção fica na margem esquerda do Rio das Pedras, próximo à BR-277, sentido Guarapuava-Curitiba, no limite do perímetro da BHRP (Quadro 6). Apresenta vegetação na sua faixa de rolamento, indicando que a trafegabilidade não é tão intensa, no entanto existem corrugação e ravinamento transversal, com presença de silte e areia como material disponível para ser transportado (Figura 6. A, B, C, D, E, F).

Quadro 6- Características das estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Estrada	Declividade	Largura média (m)	Presença de ravinas	Material disponível	Altura do barranco (m)	Caixas de contenção
Terciária (3)	4°	4,20	Sim	Sim	0,50	Não
Secundária (2)	6°	3,79	Sim	Sim	0,90	Não
Secundária (2)	10°	3,58	Não	Sim	0,65	Não

Org. Cunha, M. C. (2010)

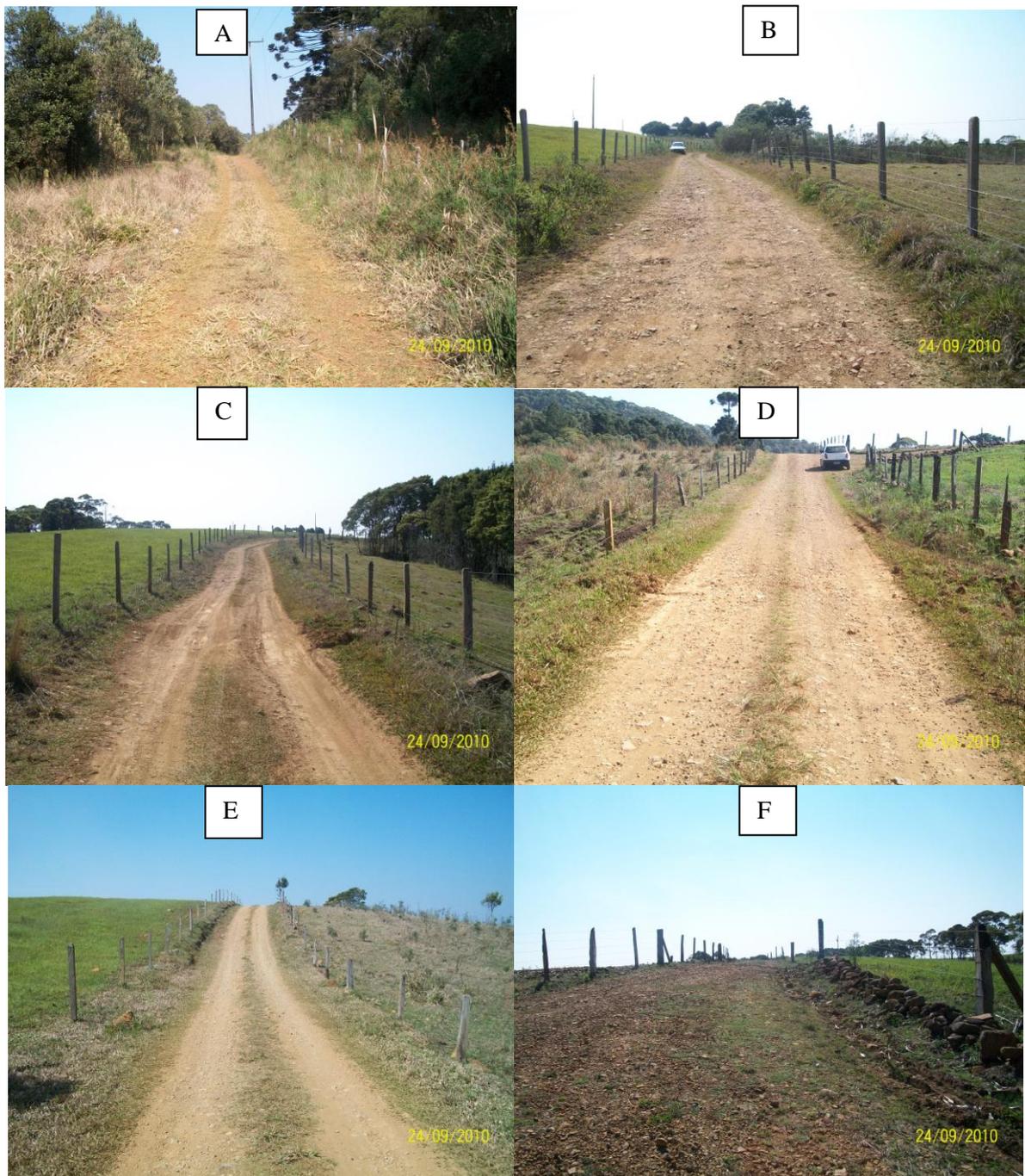


Figura 6- Características das estradas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras do setor 6. Em A, estrada terciária; em B, material grosseiro; em C, ravinas no centro, longo trecho sem dissipação de energia; em D, declividade de 10° , longo trecho sem dissipação de energia; em E, estrada com material grosseiro, longo trecho sem dissipação de energia; em F, caminho interno com declividade de 7°
 FONTE: Cunha, M. C. (2010)

De maneira geral as estradas da bacia em questão possuem largura média de 5 m, ravinamento no sentido transversal e longitudinal da faixa de rolamento, com disponibilidade de material solto para ser transportado. Nem todas as estradas avaliadas possuem CC implantadas, com longos trechos sem dissipadores de energia e declividades em alguns casos superiores a 10°, potencializando o fluxo superficial.

Boa parte das estradas situadas nas zonas rurais da BHRP foi aberta pelos colonizadores sem técnicas de implantação apropriada, por ter sido orientada pela estrutura fundiária e pelas facilidades do terreno. A manutenção freqüente e adequada é importante para reduzir os custos de reconstrução em longo prazo, particularmente no que se refere ao revestimento primário e as estruturas de drenagem (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

As estradas principais da BHRP geralmente acompanham os cursos dos rios, no entanto, as estradas secundárias são construídas em todas as unidades geomorfopedológica da bacia, muitas vezes não levando em consideração a aptidão do terreno. Já os caminhos internos e carreadores são construídos entre as propriedades para facilitar o deslocamento das pessoas.

Estes caminhos, em alguns casos, são implantados sem quaisquer investigações preliminares para saber se é possível sua implantação ou não. Outra característica desses caminhos é que são manuseados em grande parte pelos próprios moradores locais.

A localização e manutenção destas vias vão direcionar para sua viabilidade e condição de uso, sendo que em muitos casos tornam-se intransitáveis devido ao processo erosivo formando buracos, poças de lama e o forte ravinamento.

As estradas secundárias e os caminhos se concentram em grande parte no curso médio do Rio das Pedras, tanto na margem esquerda quanto na margem direita deste, entre as altitudes 1010 m a 1120 m, estendendo-se nas demais áreas da bacia. O uso da terra nestas áreas é principalmente o florestamento e reflorestamento (26,00 ha), o que indica que muitos destes caminhos foram inicialmente construídos principalmente para a retirada da madeira. A declividade do terreno influencia no traçado destas estradas, muito embora algumas estejam construídas em áreas muito íngremes, facilitando assim o escoamento superficial e, conseqüentemente, o estrago destas vias não pavimentadas.

A compactação do leito da estrada dificulta a infiltração da água e favorece o escoamento superficial, que será mais intenso quanto maior for a extensão da área drenada. O volume de enxurrada aumenta com o comprimento do segmento da estrada, no entanto, a eficácia do escoamento depende da declividade do terreno. Ou seja, um trecho curto de

estrada bastante declivoso mobiliza a mesma quantidade de sedimentos que um trecho longo com baixa declividade (LIMA, 2004).

De maneira geral, quanto maior for o nível de agregação de informações em relação às condições das estradas não pavimentadas, mais elevado é o nível de decisão na manutenção destas vias. Segundo Oda *et al*, (2007), os maiores problemas em estradas rurais surgem em razão de seção transversal inadequada e ausência ou deficiência do sistema de drenagem. O tráfego e a ação das intempéries são outros fatores que contribuem para a deterioração das estradas.

Em muitos casos a seção transversal é inadequada devido ao nivelamento da superfície de rolamento sem acréscimo de material, ou seja, parte do material da superfície é retirado (transportado), deixando a estrada encaixada no terreno, em forma de calha, dificultando o escoamento de água para as laterais (ODA *et al*, 2007).

No caso da BHRP, grande parte de estradas são de solos argilosos, o que facilita os problemas em épocas de chuva, como por exemplo, os atoleiros e a pista escorregadia (Figura 7). Nos solos argilosos o fluxo subsuperficial associado à chuva, sem um sistema de drenagem adequado, favorece a formação dos atoleiros. Já nos solos arenosos, os problemas mais comuns são corrugação, os areiões, buracos e os problemas de erosão.



Figura 7- Atoleiros e pista escorregadia
FONTE: CUNHA, M. C. (2009)

Na mensuração feita no Setor 1, observa-se uma seção transversal inadequada, em que não existe uma superfície com declividade transversal adequada para direcionar a água para as laterais, seguindo em direção às valetas ou CC, beneficiando assim o escoamento superficial e o transporte de sedimentos.

A poeira é outro problema encontrado nas estradas não pavimentadas da BHRP, que acaba por comprometer a segurança do tráfego, sendo um problema mais evidente em estradas de solos argilosos.

Os buracos surgem com a expulsão das partículas sólidas, ocasionada pela passagem do tráfego em poças d'água. O afundamento das trilhas de roda se dá devido ao uso contínuo de tráfego mais pesado (época de plantio e colheita), ou veículos pesados, como caminhão de leite ou ônibus escolar, especialmente em estradas de solos argilosos. Em alguns caminhos internos, em razão da falta de manutenção ou de uso contínuo, está presente o crescimento da vegetação no centro da pista de rolamento, dificultando a passagem dos veículos.

A manutenção destas vias visa conservar a superfície de rolamento razoavelmente isenta de irregularidades, firme e livre da perda excessiva de material solto, além de manter a declividade transversal do leito da estrada apropriada para assegurar o escoamento superficial das águas (DNER, 1981).

Segundo Santos *et al*, (1985) as principais atividades de manutenção são:

- Revestimento primário: constitui-se em uma camada colocada sobre o subleito, obtida pela compactação de uma mistura de material argiloso com material granular. O objetivo da adição da argila ao material granular é o de atuar como ligante e regularizar a superfície fina de rolamento, enquanto que o objetivo do uso do material granular é aumentar o atrito da pista com as rodas do veículo;
- Agulhamento: consiste na operação de cravação, por compactação, de material granular, diretamente no subleito, se este for argiloso;
- Mistura de areia e argila: esta mistura é utilizada principalmente quando o solo é arenoso, ocorrendo o problema de “areião”. A adição da argila propicia à formação de uma camada de boa qualidade como pista de rolamento, tornando coesivo o material que já apresenta boas condições de suporte.

Os princípios que devem orientar o desenvolvimento de um bom sistema de drenagem de estradas rurais são muito elementares, e devem ser levados em conta fatores climatológicos, topográficos, geológicos e o tipo de solo, uma vez que a suscetibilidade à erosão das áreas atingidas pelo traçado da estrada determina as respostas que devem ser

tomadas para a adoção de dispositivos tecnicamente eficientes a um custo relativamente baixo (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

5.6 Medidas de controle de sedimentos implantadas nas estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Na BHRP houve a implantação de um projeto com o objetivo de proteção do manancial de abastecimento da cidade de Guarapuava. O projeto envolveu vários pesquisadores³ e foi intitulado de “Proteção e Manejo da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras: relato de experiências”. Em uma das etapas do projeto foram implantadas as CC. Entre os vários assuntos trabalhados pelos pesquisadores encontram-se o levantamento e análise dos pontos críticos, a metodologia para inventário do potencial de produção sedimentar em cruzamentos de estradas com canais fluviais e a readequação ambiental das estradas.

Constatando que as estradas se tornam fontes de sedimentos em eventos pluviométricos, causando grandes impactos ambientais, a prefeitura de Guarapuava, no ano de 2003 implantou caixas de contenção ao longo das estradas rurais da BHRP, com o intuito de mitigar o aporte de sedimentos nos rios, provocados principalmente pela erosão hídrica nas estradas rurais (CUNHA e THOMAZ, 2008).

As CC são trincheiras profundas instaladas nas laterais das estradas com o objetivo de reter sedimento e água produzida principalmente no leito das estradas. Ao longo das estradas principais (Figura 8. A e B) foram construídas várias caixas para acolher a enxurrada e deter o material, diminuindo, assim, a entrada de sedimentos nos corpos hídricos.

³ Organizadores do projeto: Mauro Battistelli, Maurício Camargo Filho e Bettina Heerdt. Projeto Proteção e Manejo da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras: relato de experiências. Publicado em 2004.



Figura 8- Em A, estradas rurais como fonte e transferência de sedimentos em eventos pluviométricos. Exemplo de trecho que necessita da implantação das caixas de contenção. Em B estrada com caixa de contenção.
 FONTE: Battistelli (2004)

O calçamento irregular foi construído em locais considerados trechos críticos, muito íngremes, em que só a implantação das caixas de contenção não seria suficiente para conter a erosão e os impactos nas estradas rurais. Nos trechos considerados menos críticos não houve a construção de calçamento irregular.

Battistelli *et al*, (2004) ressaltam que, além das CC, também foram construídas valas de drenagem, que têm a função de promover a remoção, controle e encaminhamento das águas lançadas diretamente sobre a superfície de rolamento e áreas adjacentes das estradas, para protegê-las de infiltrações e preservar sua vida útil.

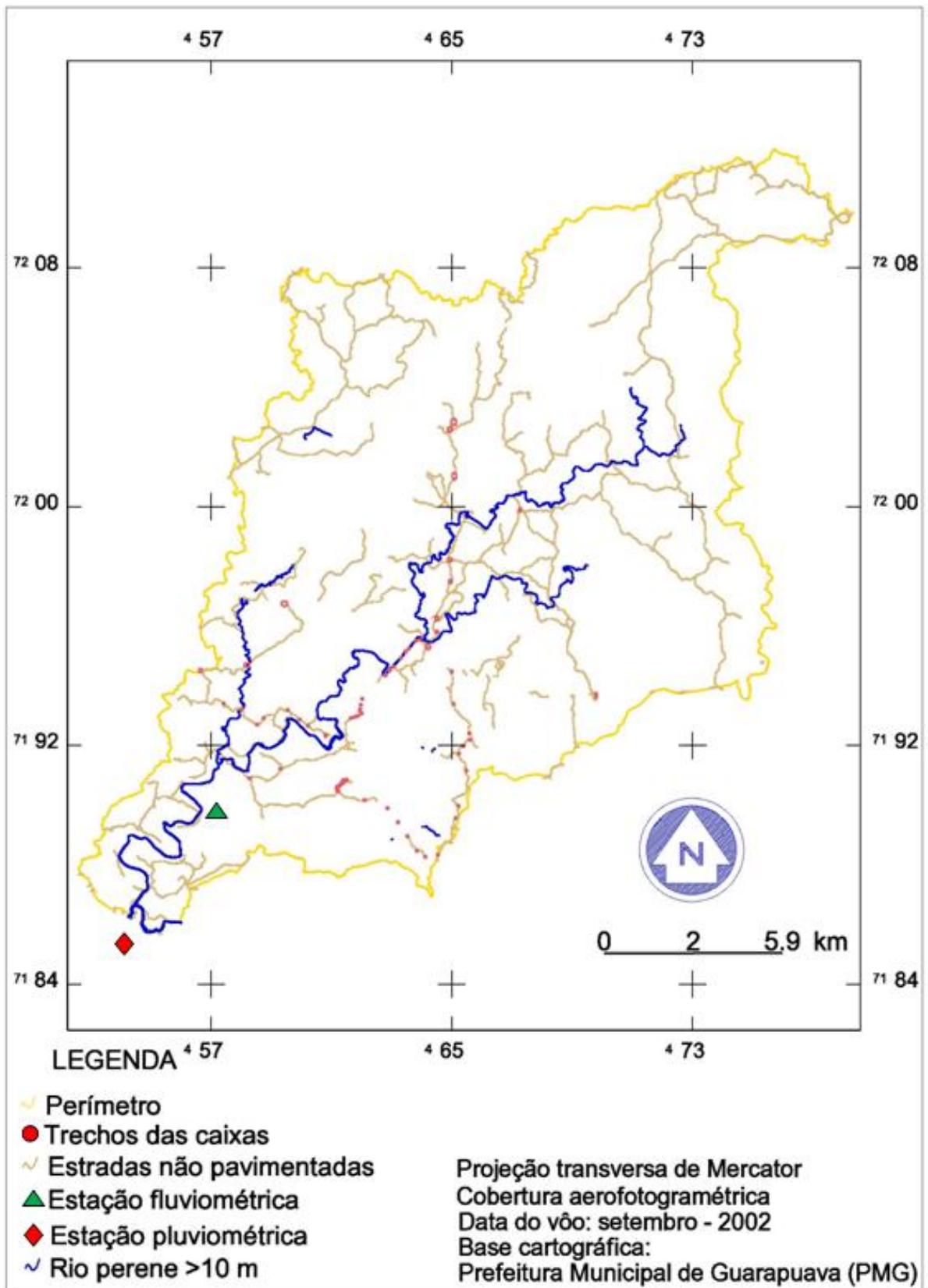
As CC foram executadas nas laterais das estradas, em locais que necessitavam corte em barrancos, com dimensões mínimas de 2,00 X 2,00 X 3,00 m com remoção média de 12,00 m³ de solo por caixa (BATTISTELLI *et al*, 2004). O principal objetivo destas caixas é o armazenamento das águas das chuvas, reduzindo ao mínimo suas perdas nesses períodos, facilitando sua infiltração no solo, onde irá reforçar o lençol freático, abastecendo minas e açudes, como também evitar que as descargas de bueiros ou sarjetas sejam lançadas diretamente em terrenos agricultáveis ou desprotegidos, acelerando o processo erosivo (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

A função das CC é infiltrar, armazenar e dissipar energia evitando que a água escoe por longos trechos, causando erosão do solo durante sua passagem (BATTISTELLI, 2004). Dessa forma, as caixas servem para acumular o volume de água e sedimentos produzidos, sobretudo, nas estradas. Vale destacar que as CC não foram implantadas de forma uniforme em todas as estradas existentes na bacia, e sim nos locais que mais necessitavam de medidas conservacionistas.

Os trechos escolhidos para implantação das CC seguiram os seguintes critérios: os trabalhos tiveram início no ponto de captação de água na Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), estação fluviométrica, Mapa 13, para abastecimento da cidade de Guarapuava em direção às nascentes do Rio das Pedras.

As estradas que foram consideradas adequadas são as que conduzem maior volume de sedimentos para os cursos d'água; o local é onde as estradas cortam mais vezes diretamente os maiores afluentes e o próprio Rio das Pedras; neste local, existe a maior quantidade de pequenas e médias propriedades; maior concentração de rios e arroios e maior foco de poluentes (BATTISTELLI, 2004).

Nos locais com maior declividade as caixas foram construídas em maior quantidade. No total foram 57 trechos selecionados para manutenção das estradas e implantação das caixas.



Mapa 13- Estação fluviométrica, ponto de captação de água (SANEPAR) e estação pluviométrica, com localização das estradas com trechos a serem recuperados, e os pontos de maior concentração das caixas de contenção

Elaboração: CUNHA, M. C. (2010)

Na Figura 9. A, tem-se um exemplo de uma caixa ativa no seu estado inicial quando foram construídas em 2003.

Em uma avaliação realizada em 2008 (área piloto na bacia hidrográfica do Rio Guabiroba), onde se iniciaram os primeiros trabalhos referentes às caixas, em um trecho de 4,2 km foram registradas 83 caixas, sendo que desse total 25 (30%) caixas encontravam-se ativas (Figura 9. B) e 58 (70%) estavam inativas (Figura 9. C e D).

Ressalva-se que as fotos representam caixas diferentes em diferentes datas, ou seja, a caixa A não é a mesma caixa B, registrada em 2008, no entanto ambas são caixas ativas. As caixas C e D também não são as mesmas registradas em 2003-2008, mas representam uma parcela das caixas inativas.



Figura 9- Medidas de controle de sedimentos (caixas de contenção). Em A, caixa ativa no estado inicial em 2003; em B caixa ativa em 2008; em C e D caixa inativa em 2010

FONTE: Foto A e B, Battistelli (2003), Foto C e D, Cunha, M. C. (2008-2010)

Em relação ao volume das caixas no trecho mensurado na bacia do Rio Guabiroba em 2008 (Tabela 7) verificou-se grande variabilidade, contudo a área de contribuição (escoamento-sedimento) tendeu a ser menos variável (média de 118,22 m²) (Tabela 8). As caixas ativas (como a caixa 5, Tabela 7 por exemplo) tendem a ter um maior volume, o que de certo modo indica o padrão inicial das caixas quando todas eram ativas. No entanto, as caixas inativas (como as caixas 1 e 3, Tabela 7 por exemplo), têm menor volume, indicando que estão deterioradas, com desmoronamento lateral aumentando sua área, porém diminuiu a profundidade, devido ao assoreamento do próprio barranco desmoronado.

Tabela 7- Características das caixas de contenção (2008) bacia do Rio Guabiroba, trecho de 4,2 km

<i>Caixa</i>	<i>Área das caixas (m²)</i>	<i>Profundidade das caixas (m)</i>	<i>Volume das caixas (m³)</i>
01	2,86 (inativa)	0,36	1,02
02	8,74 (inativa)	0,70	6,11
03	7,58 (inativa)	0,33	2,50
04	5,86 (inativa)	0,65	3,80
05	5,82 (ativa)	1,26	7,33

Org. Cunha, M. C. (2010)

A densidade média foi de 20 caixas/km no trecho mensurado, enquanto que a largura média da estrada foi de 4,59±0,71 m (Tabela 8). Considerando a distância do trecho mesurado (4,2 km), estimou-se em torno de 1,93 ha de superfície exposta (solo nu) susceptível ao escoamento superficial e à produção de sedimento. As caixas possuem dimensões mínimas de 2,00 X 2,00 X 3,00 m com capacidade de 12,00 m³ de solo por caixa, estima-se que o total de solo removido neste trecho para implantação das caixas foi de um total de 996,00 m³.

Tabela 8- Área de contribuição média das caixas (2008) bacia hidrográfica do Rio Guabiroba (4,2 km)

<i>Caixa</i>	<i>Largura média da estrada (m)</i>	<i>Distância entre as caixas (m)</i>	<i>Área de contribuição da estrada em relação às caixas (m²)</i>
01— 02	4,78	27	129,06
02 — 03	4,95	28	138,6
03 — 04	4,74	20	94,8
04 — 05	4,82	28	134,96
05 — 06	4,02	26	104,52

Org. Cunha, M. C. (2010)

Em 2010, outra avaliação foi realizada no mesmo trecho mensurado em 2008 e constatou-se que, do total de 83 caixas, 17 (20%) estavam ativas e 66 (80%) caixas estavam inativas, ou seja, houve uma deterioração, em dois anos, de 10% do total de caixas mensuradas. Esta comparação do total de caixas deterioradas neste período pode ser mais bem visualizada na Figura 10. A e B.

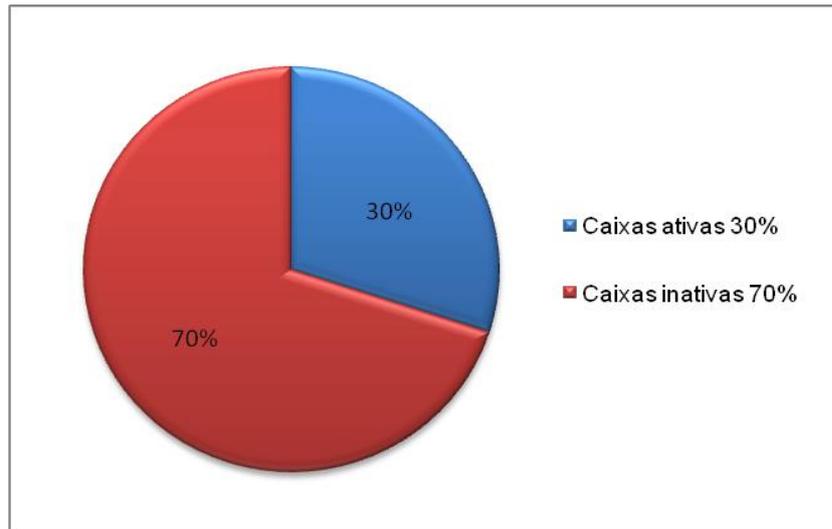


Figura 10. A- Porcentagem de caixas ativas e inativas (2008)
Org. Cunha, M. C. (2010)

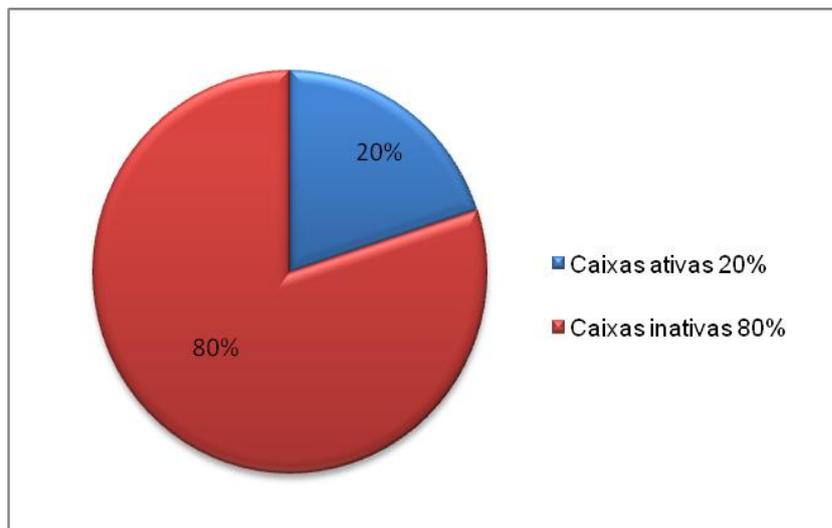


Figura 10. B- Porcentagem de caixas ativas e inativas (2010)
Org. Cunha, M. C. (2010)

Em outro trecho mensurado em 2010, com 3,5 km na BHRP, registrou-se 25 caixas e deste total 7 estavam ativas e 18 inativas. A densidade média de caixas neste trecho foi de 7 caixas/km, enquanto que a largura média da estrada foi de $5,29 \pm 1,08$ m (Tabela 9). Considerando a distância do trecho mensurado (3,5 km), estimou-se em torno de 1,75 ha de superfície exposta (solo nu) susceptível ao escoamento superficial e à produção de sedimento. Portanto, estima-se que o total de solo removido neste trecho para implantação das caixas foi de 300,00 m³.

Tabela 9- Área de contribuição média das caixas (2010) bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Caixa	Largura média da estrada (m)	Distância entre as caixas (m)	Área de contribuição da estrada em relação às caixas (m ²)
01 — 02	5,25	430	2.257,00
02 — 03	6,48	350	2.268,00
03 — 04	5,48	780	4.274,00
04 — 05	5,37	490	2.631,00
05 — 06	3,86	370	1.428,00

Org. Cunha, M. C. (2010)

Quanto à manutenção, uma das medidas que pode ser tomada para a melhoria das caixas é o aumento da profundidade, bem como a limpeza periódica, permitindo uma melhor conservação das mesmas. Dessa forma nota-se que, se as caixas permanecessem em bom estado de conservação, poderiam armazenar uma boa quantidade de água e sedimento, servindo como depósito dos sedimentos transportados retardando, assim, o tempo e a quantidade de sedimento que entra nos canais fluviais. No entanto, para que isso ocorra é recomendável que estas se encontrem em bom estado de conservação, com aparência e profundidade aproximada ao seu estado inicial.

Além da limpeza periódica, algumas precauções para a execução da implantação das CC devem ser tomadas, como por exemplo: todo o material excedente proveniente de escavação ou sobras deve ser removido das proximidades dos dispositivos e depositado em bota-fora (provisória ou definitivamente), previamente determinado, para não provocar entupimento e não ser conduzido para os cursos d'água; em todos os locais onde ocorrerem escavações ou aterros necessários à implantação das obras, devem ser tomadas medidas que proporcionem a manutenção das condições locais, através de replantio da vegetação nativa ou de grama; nas áreas de bota-fora e de empréstimos, necessários à realização dos dispositivos,

devem ser evitados os lançamentos de materiais de escavação que afetem o sistema de drenagem superficial.

Vale lembrar que existem alguns aspectos negativos em relação às CC: quando não há manutenção podem gerar mau cheiro devido à água parada, nesses locais há presença de insetos e algumas servem como depósito de lixo ou de destinação final de animais mortos, daí a relevância de realizar limpeza nas caixas para que permaneçam em condições de exercer a função de armazenar água e sedimentos.

Para a prevenção e o controle do escoamento superficial, bem como a minimização das consequências negativas provocadas pela intervenção antrópica e o uso da terra, pode-se adotar algumas medidas de controle de sedimentos, como a implantação das CC, que tem como objetivo garantir a estabilização dos processos decorrentes da produção de sedimentos, bem como recuperar as áreas (estradas) já degradadas, sendo eficientes, econômicas e aplicadas conforme as necessidades locais.

Baesso e Gonçalves (2003) destacam que as CC devem sofrer manutenção frequente após cada período de chuva, verificando a existência de material carregado pelo fluxo de água, que deverá ser removido; limpeza da película de argila que se forma no fundo da caixa, impedindo a infiltração da água no solo; recomposição da vegetação de proteção junto aos taludes da caixa, para protegê-la contra erosão, e a limpeza das canais de admissão à CC.

Sendo assim, pode-se comprovar a eficácia do armazenamento de água e sedimento nas caixas ativas. No entanto, para que estas caixas desempenhem a função de armazenamento de água e sedimentos produzidos principalmente nas estradas rurais, devem estar em bom estado de conservação, com profundidade e largura adequada, sem vegetação nas partes internas, com características aproximadas do seu estado inicial. Se estas estiverem em bom estado de conservação podem armazenar grande quantidade do volume de água e sedimentos produzidos, evitando que cheguem aos corpos hídricos, diminuindo o processo de assoreamento, turbidez, matéria orgânica, poluentes, entradas de resíduos sólidos nos corpos hídricos, entre outros benefícios.

Sabe-se, portanto, que existem limitações para realizar limpeza após cada período de chuva, como verba e operários disponíveis, porém é importante que seja realizada ao menos uma limpeza no mínimo uma vez por ano.

5.7 Entrevistas realizadas em relação à construção e o papel das medidas de controle de sedimentos

Na pesquisa em questão foram aplicadas entrevistas semi-estruturadas aos moradores da BHRP e aos organizadores do projeto de implantação das medidas de controle de sedimentos CC, com o objetivo de esclarecer a importância das CC e obter informações quanto ao manejo e a limpeza periódica das caixas (modelo da entrevista em anexo). Estas entrevistas foram aplicadas aos moradores nas áreas em que as CC foram implantadas. No total foram entrevistados 30 moradores.

Os moradores⁴ da BHRP relataram que pouco tempo após a construção das CC em 2003, houve uma redução da cor bruna da água de alguns canais fluviais existentes na bacia em eventos pluviométricos, ou seja, a cor turva (devido à entrada de sedimentos) da água ficou mais clara. No entanto, expuseram também que não houve limpeza periódica de todas as caixas após sua construção, com exceção de algumas escassas caixas que foram manuseadas. Sem limpeza periódica, constataram que em média um ano após a implantação das caixas, em eventos pluviométricos a cor turva da água voltou a prevalecer. Outra questão que levantaram foi que algumas destas caixas, após alguns meses de sua implantação começaram a deteriorar, não resistindo à força da enxurrada.

Conforme informaram os moradores, após a implantação das caixas o estado de conservação das estradas rurais também melhorou, diminuindo os atoleiros, facilitando a trafegabilidade de veículos, e o transporte de animais e pessoas. Segundo estes moradores, o leito inicial das estradas era a princípio traçado por bois e cavalos, em que não seguiam uma linha reta (pique). No início da abertura das estradas, muitas serviam para escoamento da produção local e para a retirada da madeira, transportada na época (1910-1930) principalmente por bois. A travessia do canal fluvial, denominados pelos moradores de “passo”, era realizada a pé, cavalo ou boi. Na medida em que o assoreamento destes canais fluviais ia se intensificando, devido à carga de material sedimentado, o “passo” era alterado de lugar, ou seja, a travessia era realizada em outro cruzamento, evitando assim os atoleiros, consequentemente alterando também o leito das estradas. As primeiras pontes começaram a ser construídas por volta de 1955, facilitando o cruzamento, principalmente de pessoas e animais, nos cursos d’água.

⁴ Entrevista realizada com os moradores da bacia hidrográfica do Rio das Pedras sobre as caixas de contenção. Guarapuava-PR, 20 de set. de 2010, concedida à Márcia Cristina da Cunha.

Quanto às caixas deterioradas estarem servindo como depósito de lixo para alguns moradores, estes ressaltaram que o lixo em sua maior parte é jogado pelos moradores da área urbana, e em pequena quantidade pelos moradores locais. Nas mensurações realizadas em campo notou-se que nem todas as caixas são usadas como depósitos de lixo, e em algumas exceções são utilizadas para jogar animais mortos.

Entrevistas também foram realizadas com os organizadores do Projeto de Proteção e Manejo da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras⁵. Segundo estes responsáveis, o objetivo inicial era diminuir os atoleiros no leito das estradas, buracos, e principalmente melhorar a qualidade da água dos canais fluviais.

Battistelli *et al*, (2004) reforçam que a readequação das estradas rurais e drenagem da BHRP têm como principal objetivo promover a infiltração das águas, evitando ao máximo o escoamento superficial da água e impediu que as mesmas carreguem elementos que possam poluir os rios.

Em estudos realizados por um grupo de pesquisadores⁶, chegaram à conclusão de que uma das medidas que poderiam ser tomadas para adequação dessas estradas era a implantação das medidas de controle de sedimentos (BATTISTELLI *et al*, 2004).

As caixas servem como dissipadores de energia, para armazenamento de água, lixo e sedimento. Os entrevistados relataram que em alguns locais com relevo plano não houve a necessidade da implantação das caixas, uma vez que a enxurrada escoava com menor velocidade, facilitando a infiltração. No entanto, quanto maior a declividade, maior foi o número de caixas implantadas. Eles destacaram também que, em locais muito íngremes, foi preciso colocar pedra irregular para diminuir os impactos provocados pela enxurrada nas estradas (Figura 11).

⁵ Entrevista realizada com Mauro Battistelli, Secretário de Meio Ambiente e Desenvolvimento Florestal. Entrevista realizada em 05 de out. de 2010, concedida à Márcia Cristina da Cunha.

⁶ Nereu Battistelli, Sandro Alex Russo Valera e Bettina Heerd. Principais responsáveis pelo projeto de implantação das caixas de contenção.



Figura 11- Estradas com pedra irregular para diminuir os impactos nas estradas e a produção de sedimentos e drenagem lateral direcionando o fluxo da água para as caixas de contenção
 FONTE: Battistelli (2003-2004)

As caixas servem como dissipadores de energia, como já comentado. Além disso, o armazenamento de água aumenta a infiltração e com isso houve um aumento de fluxo de água no lençol freático. Segundo os responsáveis pelo projeto, pouco tempo depois da construção das CC melhorou a qualidade e também aumentou a quantidade da água. Muitas nascentes que estavam sem fluxo retornaram com fluxo contínuo de água. Algumas propriedades com nascente, represas e açudes próximas aos locais de construção das caixas tiveram recarga de água devido à maior disponibilidade de água no subsolo, dada pela infiltração.

No entanto, apesar dos benefícios aparentes pela adequação das estradas rurais, relataram também que não houve manutenção nas caixas após sua implantação, com exceções de algumas caixas, que poucos dias após a implantação não resistiram à força da enxurrada e foram destruídas e depois reconstruídas (Figura 12. A). Além de não existirem previsão da construção de mais caixas.

As caixas foram construídas com máquina retroescavadeira (Figura 12. B) por trabalho terceirizado, porém houve um treinamento com os maquinistas da Prefeitura de Guarapuava, para direcionar o fluxo da enxurrada para dentro das caixas, porque algumas ficavam mais cheias que as outras, devido ao fato de a enxurrada não ser direcionada para dentro destas. Por isso o treinamento dos maquinistas para a adequação correta das estradas. O material retirado para a construção das caixas foi em sua maioria colocado em bota-fora determinado pela

Fiscalização Municipal. No entanto, em alguns locais em que este material não foi depositado em bota- fora, foi transportado para os rios, causando assoreamento.

Ressaltaram ainda que, além da água e sedimentos que ficam retidos dentro das caixas, uma das vantagens da implantação é que o lixo carregado pela enxurrada fica depositado nas caixas, evitando assim que entre e polua os corpos hídricos (Figura 12. C e D).



Figura 12- Em A caixa destruída com a força da enxurrada, em B retroescavadeira utilizada para a construção das caixas, em C e D lixo trazido pela enxurrada e/ou depositado nas caixas de contenção
 FONTE: Battistelli (2003)

Desse modo, as informações obtidas em relação à construção e papel desempenhado pelas CC foram de extrema importância, contribuindo na afirmação de que caixas de contenção são válidas para armazenar água e sedimento produzidos principalmente nas estradas rurais. No entanto, necessitam de manutenção regularmente (em média uma vez por ano), para cumprir esta função.

5.8 Avaliação da eficácia das medidas de controle de sedimentos, em estradas rurais da bacia hidrográfica do Rio das Pedras

Considerando que a turbidez pode prejudicar a vida aquática e encarecer o tratamento de água para abastecimento do município, foram avaliados os dados de precipitação, vazão e turbidez. Estes dados foram tabulados e correlacionados de acordo com as estações do ano para melhor interpretação e apresentação dos resultados da turbidez no Rio das Pedras, estação de tratamento da água (SANEPAR), antes e após a implantação das CC.

Na primavera os valores apresentam $r = 0,81$ para precipitação e vazão (Figura 13.A), $r = 0,44$ para precipitação e turbidez (Figura 13.B) e $r = 0,31$ para vazão e turbidez (Figura 13.C). Pelos dados de precipitação e vazão, nota-se uma correlação positiva, evidenciando a melhor correlação dos três dados analisados na estação da primavera. No entanto, a relação entre precipitação e turbidez, vazão e turbidez mostra uma correlação positiva, contudo moderada, demonstrando pequena variabilidade na relação ao longo dos anos.

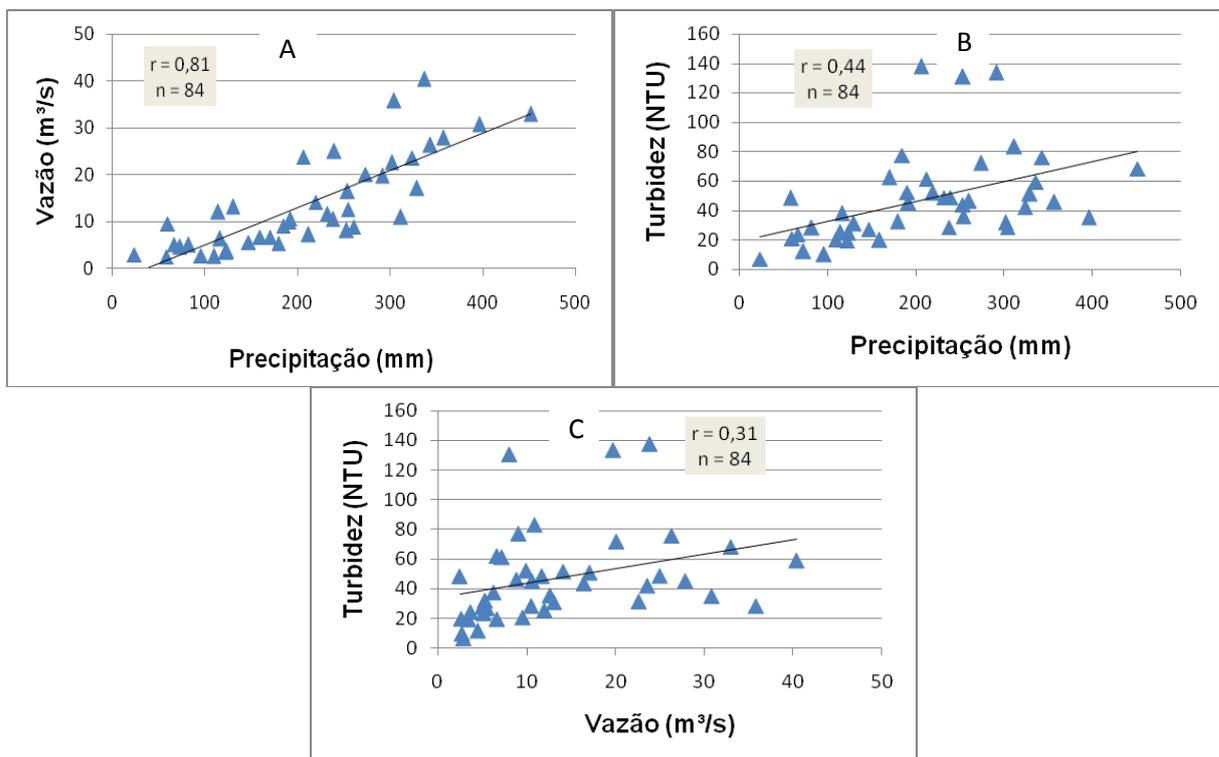


Figura 13- Em A correlação entre precipitação e vazão; em B correlação entre precipitação e turbidez; em C correlação entre vazão e turbidez. Primavera (set/out/nov)
Org. Cunha, M. C. (2011)

Na correlação de precipitação e turbidez, vazão e turbidez existem três disparidades que se destacam no que diz respeito à turbidez, que correspondem a out/00 (133,7 NTU) out/01 (137,8 NTU) e nov/01 (130,8 NTU). Esses meses se destacam por apresentarem turbidez quase três vezes acima da média mensal da série, que é de 47,3 NTU. Vale ressaltar que a soma anual de turbidez de toda série analisada corresponde aos dois anos (2000-2001) com maior contribuição. Sendo assim, há esta diferença no que diz respeito aos demais anos da série.

No verão, os dados apresentam $r = 0.67$ para precipitação e vazão (Figura 14.A), $r = 0.53$ para precipitação e turbidez (Figura 14.B) e $r = 0.40$ para vazão e turbidez (Figura 14.C).

As relações de precipitação, vazão e turbidez apresentaram uma correlação positiva, em que o caso de correlação mais moderada refere-se à vazão e turbidez.

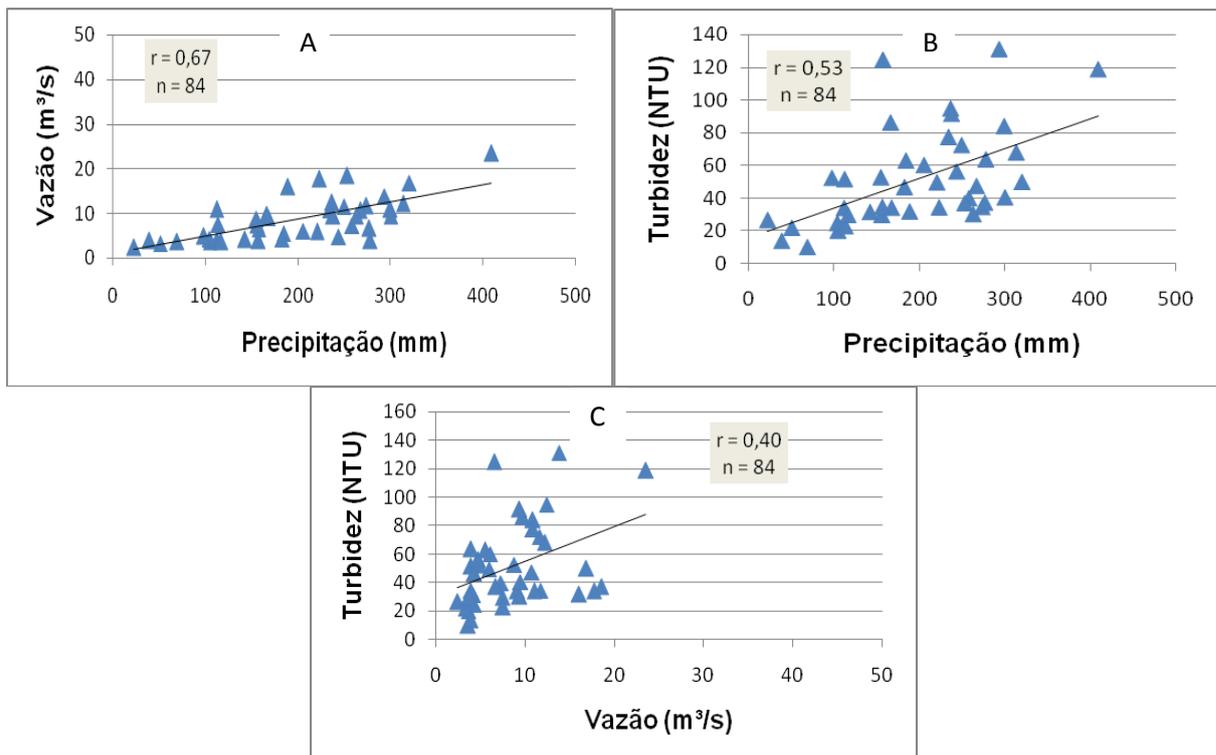


Figura 14- Em A correlação entre precipitação e vazão; em B correlação entre precipitação e turbidez; em C correlação entre vazão e turbidez. Verão (dez/jan/fev)
Org. Cunha, M. C. (2011)

As disparidades também ocorrem no verão em relação à precipitação e turbidez, vazão e turbidez. Neste caso referem-se a jan/99 (124,6 NU), jan/01 (131,1 NTU) e fev/01 (118,8 NTU). Essa diferença está relacionada ao fato desses meses também apresentarem valores acima da média mensal da série avaliada, que neste caso é de 51,4 NTU.

Já no outono, os dados apresentam $r = 0.79$ para precipitação e vazão (Figura 15.A), $r = 0.60$ para precipitação e turbidez (Figura 15.B) e $r = 0.26$ para vazão e turbidez (Figura 15.C). A maior dispersão ocorre entre vazão e turbidez. Essas alternâncias ocorrem por ser analisada um elevado número de dados (84), ou seja, 42 meses, situação essa que é equilibrada quando considerado os dados mensalmente.

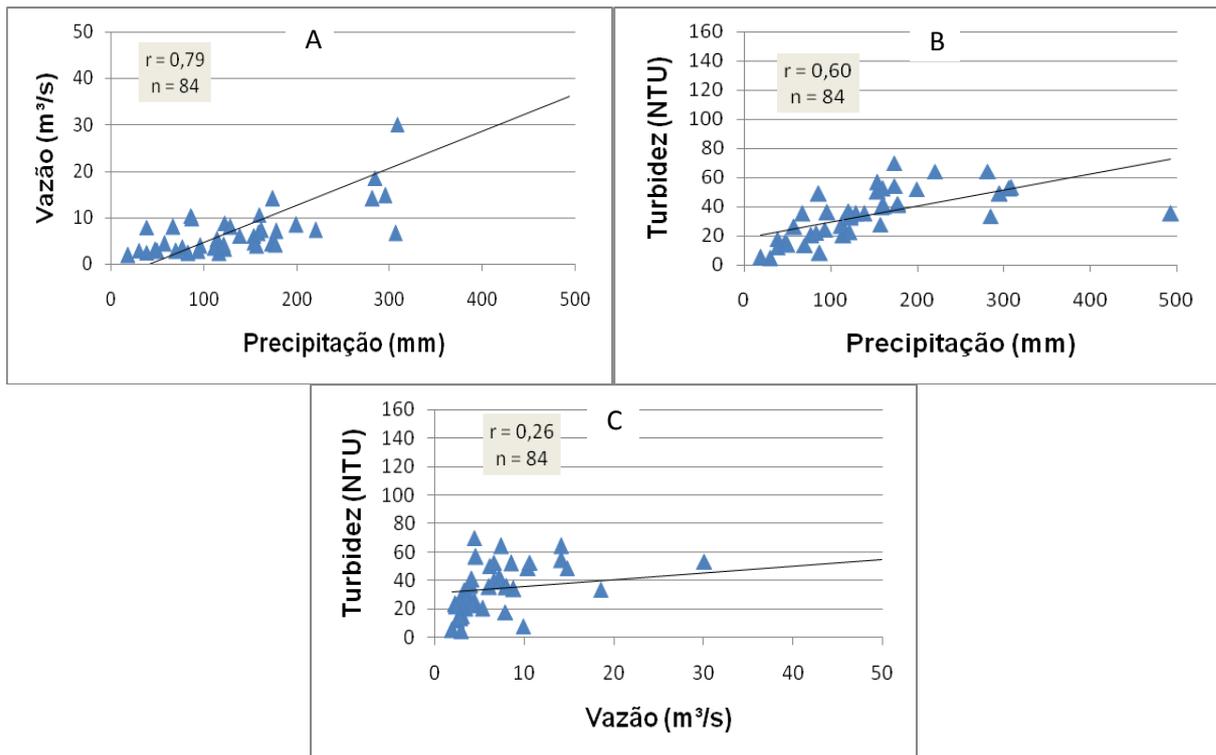


Figura 15- Em A correlação entre precipitação e vazão; em B correlação entre precipitação e turbidez; em C correlação entre vazão e turbidez. Outono (mar/abr/mai)
Org. Cunha, M. C. (2011)

No inverno, os dados apresentam $r = 0.82$ para precipitação e vazão (Figura 16.A), $r = 0.70$ para precipitação e turbidez (Figura 16.B) e $r = 0.56$ para vazão e turbidez (Figura 16.C). Ambos os dados apresentaram correlação positiva.

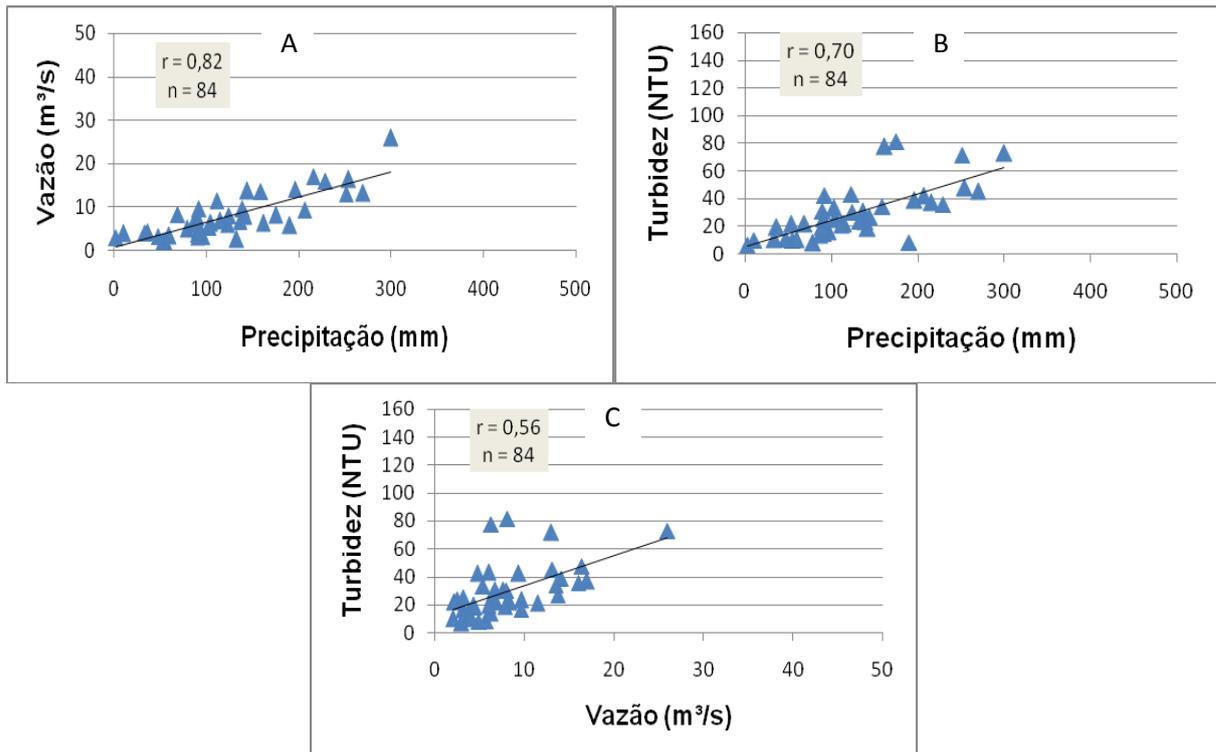


Figura 16- Em A correlação entre precipitação e vazão; em B correlação entre precipitação e turbidez; em C correlação entre vazão e turbidez. Inverno (jun/jul/ago)
Org. Cunha, M. C. (2011)

Verifica-se que a melhor correlação obtida com o modelo linear foi na estação do inverno, tanto para precipitação e vazão como para a turbidez. No entanto, não houve uma hierarquia em relação à correlação das demais estações do ano em relação aos dados considerados.

A avaliação de turbidez foi realizada principalmente no período mais chuvoso (primavera e verão), pois é nesta época que o transporte de sedimentos para os cursos fluviais mais se intensifica, causando o aumento de turbidez.

A precipitação anual em Guarapuava, entre os anos de 1996-2009, apresentou uma média de 1988 mm. O ano que apresentou maior índice pluviométrico foi 1998, com 135 dias de chuva e um total de 2520,1 mm sendo o ano mais chuvoso da série. O maior pico de vazão também se refere ao ano de 1998, com (205,04 m³/s). O menor índice pluviométrico refere-se ao ano de 2006, com um total de (1426 mm) e conseqüentemente ocorreu o menor pico de vazão, com (48,58 m³/s).

No município de Guarapuava, a variação da precipitação entre o ano mais chuvoso 1998 (2520 mm) e o menos chuvoso 2006 (1426 mm) resultou em uma amplitude de 1094 mm. A pluviosidade mensal apresenta todos os meses com precipitação média variando entre

120 a 213 mm, à exceção do mês de agosto, com média de 92 mm (mês menos chuvoso). O mês com maior média pluviométrica foi o outubro (251,8 mm).

Thomaz e Vestena (2003, p. 36) “ressaltam que apesar de os valores médios indicarem uma distribuição relativamente homogênea durante o ano, é comum ocorrerem grandes desvios dos valores médios, tanto para mais como para menos”. Os meses em que ocorreram grandes desvios positivos são outubro de 2005, (451 mm), abril de 1998 (493 mm) e fevereiro de 2001 (409 mm). Os meses com desvios negativos referem-se a agosto de 1999 (2 mm), agosto de 2007 com (10,5 mm), e setembro de 2007 (23,4 mm).

O evento de maior magnitude, em 14 anos, ocorreu no dia 24 de abril de 1998: 128,2 mm/24h. Este total representa quase a precipitação total de um mês, com média de 176,2 mm.

A Figura 17 mostra a contribuição de precipitação, vazão e turbidez no período avaliado, separados por estações do ano. Há uma semelhança de contribuição dos dados avaliados em que nos meses mais quentes os valores tanto de precipitação e vazão como de turbidez apresentam as maiores contribuições, tanto na estação da primavera como do verão. Já nos meses mais frios, estação do outono e inverno, esta contribuição diminui. Portanto, essa similaridade de precipitação, vazão e turbidez aplicam-se ao período avaliado de acordo com as estações do ano.

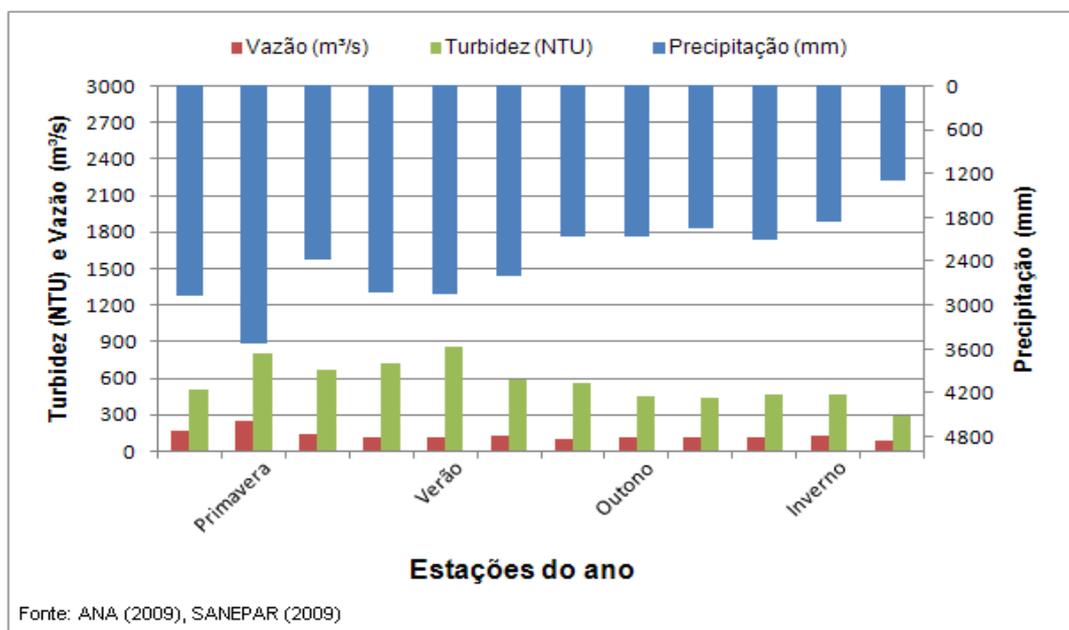


Figura 17- Análise da relação de precipitação, vazão e turbidez (1996-2009)

Org. CUNHA, M. C. (2011)

Nota: Primavera (setembro, outubro, novembro); Verão (dezembro, janeiro, fevereiro); Outono (março, abril, maio); Inverno (junho, julho, agosto)

Com base nos dados de precipitação e vazão, a turbidez foi analisada, por se tratar de uma variável dependente. Geralmente, após um evento pluviométrico, as águas dos rios ficam turvas graças à entrada de sedimentos e material particulado, causando turbidez. No entanto, embora a turbidez seja uma variável dependente da precipitação e vazão, podem ocorrer casos em que esta pode apresentar alternâncias.

Se, por exemplo, ocorrer um longo período de estiagem e a trafegabilidade nas estradas rurais for intenso, as partículas do solo em atrito com os pneus se desagregam, ficando disponível para transporte. Neste caso, mesmo que a chuva seja inferior à média mensal, pode ocorrer turbidez significativamente maior do que em eventos pluviométricos de maior magnitude.

Por conseguinte, a média anual de turbidez do período avaliado é de 487,5 NTU. Houve uma tendência de redução de turbidez média a partir do ano em que as caixas foram implantadas (2003). Deste modo, por meio da média móvel representada, nota-se um indicativo de redução da turbidez após a implantação das CC (Figura 18).

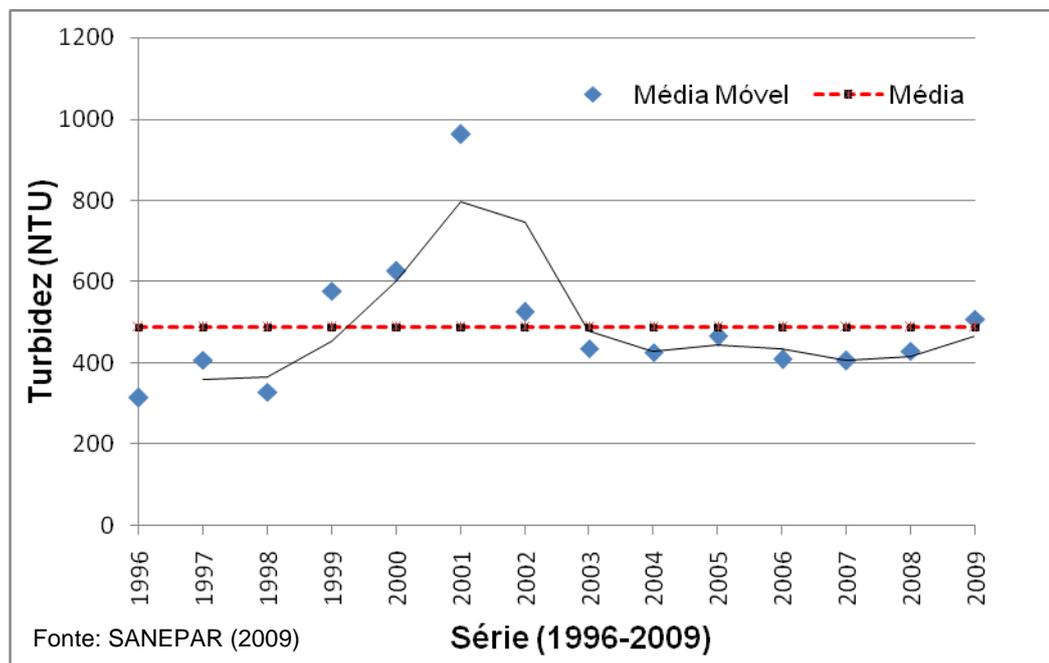


Figura 18- Média Móvel (1996-2009)
Org. Cunha, M. C. (2011)

Na Tabela 10 pode-se observar que a soma dos doze meses de cada ano não teve grandes oscilações no decorrer de seis (6) anos após a construção das caixas, voltando a aumentar no ano de 2009, ano mais chuvoso da série após a implantação das medidas de controle de sedimentos (2003-2009). Isso indica que as CC, por não terem manutenção, foram gradativamente perdendo sua função de armazenar água e sedimentos.

Tabela 10- Soma anual de precipitação, vazão e turbidez (série 1996-2009).

Ano	Precipitação (mm)	Vazão (m ³ /s)	Turbidez (NTU)
1996	1900,7	126,68	314,8
1997	2186,2	149,4	407,2
1998	2520,1	205,04	329,6
1999	1714,5	85,49	577,7
2000	2079,1	120,95	627
2001	2400,4	123,08	963,4
2002	2158,9	103,47	525,2
2003	1983,4	79,34	435,5
2004	1794,2	95,93	426
2005	2065	121,45	465,4
2006	1426,3	48,58	409,3
2007	1744,1	107,42	406,7
2008	1698,3	109,54	429,3
2009	2163,6	132,1	507,9

FONTE: ANA (2009), SANEPAR (2009)
Org. Cunha, M. C. (2011)

Na Figura 19, por meio da interpretação dos dados, percebe-se que a soma de turbidez por estação do ano, no período de (1996-2002), antes da construção das caixas era mais elevado do que o período após a construção das caixas (2003-2009), com exceção da estação do outono, em que a turbidez está mais elevada mesmo depois da implantação das caixas.

Uma das hipóteses para esta exceção é o fato de ser neste período (outono-2003) quando as CC foram implantadas, como destacado anteriormente, nem todo material retirado para construção das caixas foi colocado em local adequado (bota-fora), ficando disponível para o transporte para os cursos d'água. A turbidez apresenta-se, portanto, mais elevada no outono, mesmo após a implantação CC. No entanto, a efetiva diferença na contribuição de turbidez ocorre nas estações da primavera e verão, sendo maior antes da implantação das CC do que depois da implantação das mesmas.

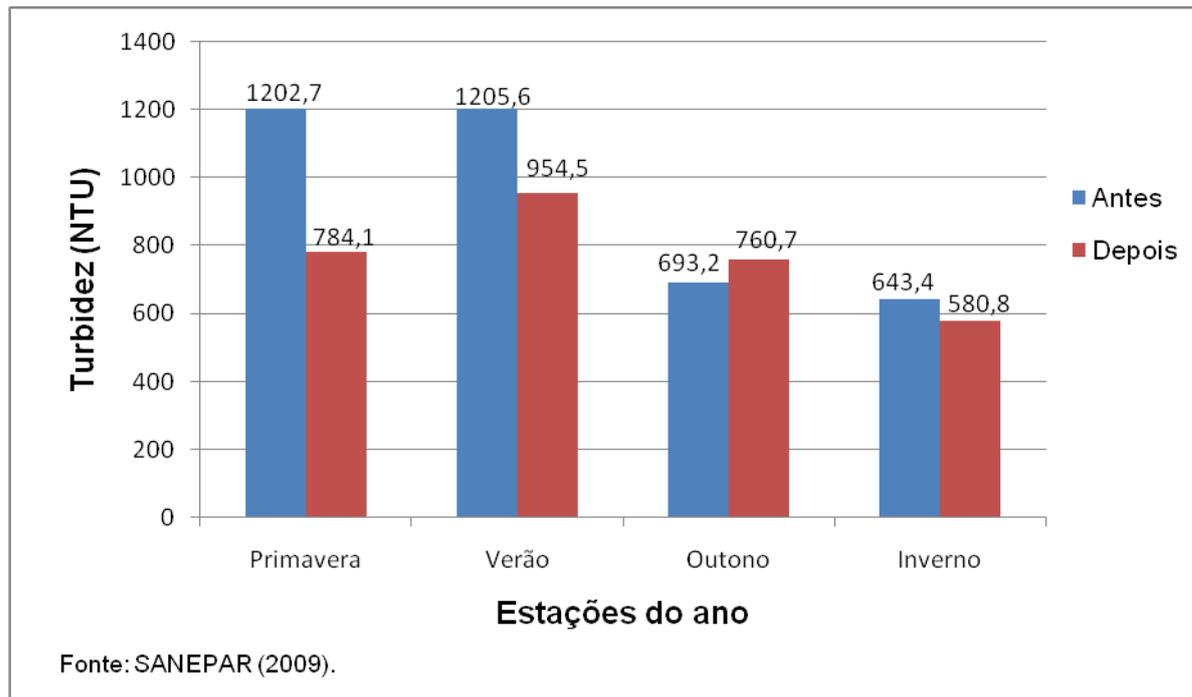


Figura 19- Comparação da turbidez de acordo com as estações do ano, antes (1996-2002) e depois (2003-2009) da implantação das CC
Org. Cunha, M. C. (2011)

A série de turbidez antes da implantação das caixas (1996 a 2002) representa uma média de 535 NTU e a série 2003 a 2009 representa média de 440 NTU, com diferença, portanto, de 95 NTU. Isso dá uma redução de 21,5% na turbidez. A chuva no período de 1996 a 2002 teve média de 2137 mm, e no período de 2003 a 2009, média de 1840 mm, com diferença de 297 mm (16%). Por sua vez, a vazão de 1996 a 2002 apresentou média de 130 m³/s e em 2003 a 2009, média de 100 m³/s, com diferença, portanto de 30 m³/s (31%).

Nota-se, portanto, que o regime de chuvas teve uma ligeira diferença. Essas alterações diminuem quando se considera a distribuição da chuva na bacia. Portanto, o regime de chuvas se manteve similar antes e depois da implantação das caixas, com pequenas alternâncias mensais, mas, levando em consideração a relação da pluviosidade anual, essas alternâncias se anulam. A vazão também apresentou variabilidade antes e depois da implantação das CC.

Deste modo, houve uma razoável redução de turbidez após a construção das caixas (média de 95 NTU). Essa redução diminuiu conseqüentemente os custos para tratamento da água que abastece o município de Guarapuava.

Na análise por estação da série avaliada mediante a explanação dos dados, percebe-se que a estação da primavera apresentou maior contribuição de precipitação, vazão e turbidez,

seguido pela estação do verão, outono e inverno, antes e depois da implantação das CC (Tabela 11).

Tabela 11- Contribuição por estações do ano de precipitação, vazão e turbidez

Estações	Precipitação mm antes (%)	Precipitação mm depois (%)	Vazão m ³ /s antes (%)	Vazão m ³ /s depois (%)	Turbidez NTU antes (%)	Turbidez NTU depois (%)
Primavera	17	15	20	16	19	12
Verão	16	13	14	9	17	14
Outono	10	11	12	8	10	11
Inverno	10	8	10	11	9	8
Total	53	47	56	44	55	45

Fonte: ANA (2009), SANEPAR (2009)
Org. Cunha, M. C. (2011)

A precipitação atribuiu 13,3% na primavera e 23,0% no verão a mais antes da implantação das CC (1996-2002), e a turbidez neste mesmo período foi 58,3% na primavera e 21,4% no verão, portanto, 12% maior que a contribuição da precipitação. A vazão, por sua vez, apresentou 25% na primavera e 52% a mais no verão, antes da implantação das CC. Já no outono e no inverno, os valores se mantiveram aproximados, antes e depois da construção das CC.

Antoneli e Thomaz (2010) destacam que a erosão e a redistribuição de sedimento-nutriente em áreas agrícolas devem ser correlacionados com o a dinâmica agrícola (calendário agrícola), uma vez que apresenta forte relação entre as atividades humanas, o ciclo das culturas e os processos ambientais no âmbito das bacias de drenagem. Por conseguinte, o calendário agrícola de Guarapuava foi analisado, para verificar se há relação com a produção de sedimentos (turbidez).

As safras mais significativas no município são soja (49.000 ha), seguido por milho (25.500 ha), trigo (13.500 ha) e cevada com (12.504 ha), cultivados anualmente (APEPA, 2010). A agricultura mecanizada se destacou pelo fato de haver um revolvimento do solo para o plantio, deixando o solo periodicamente exposto e disponível para o transporte de sedimentos associada à dinâmica pluvio-erosiva.

As duas safras mais significativas em termos de área plantada (soja, milho) compreendem o período de plantio que vai de setembro a dezembro, período da estação da primavera e início do verão (período mais chuvoso). No entanto, como destacado anteriormente, na BHRP a agricultura mecanizada representa 6,28% da área da bacia e maior parte é cultivada em locais em que predomina declividades entre 0 – 3% onde não há

impedimento de uso máquinas agrícolas e as práticas simples de conservação do solo são suficientes para se evitar a erosão.

Muito embora a época de plantio das safras mais significativas no município compreenda o mesmo período de maior índice pluviométrico, não se pode afirmar que há uma ligação com o calendário agrícola e produção de sedimentos que causa turbidez, uma vez que a agricultura mecanizada é pouco representativa e está presente em áreas em que não há restrição do uso de máquinas agrícolas, com práticas simples de conservação do solo.

Sendo assim, com cobertura vegetal significativa (90,1%) da área total da bacia, servindo para proteção do solo contra os processos erosivos, associada a uma agricultura mecanizada pouco significativa em termos de quantidade de terras cultivadas, por meio da análise dos dados verificou-se que a maior parte de sedimentos transportados para os cursos d'água, que ocasiona turbidez, são em parte oriundos e transportados pelas estradas rurais não pavimentadas e caminhos existentes na bacia.

Estas estradas e caminhos servem como fonte e condutoras de sedimentos que conectadas aos canais fluviais por inúmeros cruzamentos, causam turbidez, prejudicando a vida aquática e encarecendo o tratamento da água que abastece o município. Daí a importância da manutenção das CC implantadas nas estradas rurais não pavimentadas, que servem como medidas preventivas e/ou amenizadoras em relação ao aporte de sedimentos.

6. CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do Rio das Pedras possui uma área de aproximadamente 330 km² e ocupa a região Centro Sul do Estado do Paraná. Esta área do Estado está sob o domínio de clima subtropical úmido, com precipitações médias anuais de 1988 mm (série 1996-2009). Os solos são pouco espessos e com baixa capacidade de armazenamento de água, o que favorece o escoamento superficial.

O banco de dados da rede viária, rede de drenagem, hipsometria, declividade e uso da terra configurado em ambiente SIG foi importante na interpretação e análise dos dados, bem como no complemento da pesquisa. As entrevistas e os trabalhos de campo permitiram extrair informações que não seriam possíveis somente através das referências e do material cartográfico, contribuindo assim para a qualidade da pesquisa.

Em relação ao sistema de drenagem da bacia em questão, possui ramificação de 5ª ordem em escala de 1:30.000, e uma densidade de drenagem de 1,37 km/km², conferindo à mesma características de densidade de drenagem pequena. Porém, com a inclusão das estradas, essa densidade aumenta para 4,9 km/km², potencializando também o transporte de sedimentos para os cursos fluviais. Portanto, com acréscimo da densidade total, com a inclusão das estradas foi 72% superior de quando se considerou apenas a drenagem natural.

O índice de Horton em relação à extensão do percurso superficial mostrou que a distância percorrida pela água entre o interflúvio e o canal permanente em média é de 364 m. No entanto, essa distância diminui na medida em que se consideram as estradas rurais não pavimentadas, em média 141 m. Embora a distância percorrida pelas enxurradas diminua, neste caso o canal permanente considerado refere-se às estradas rurais, potencializando assim a entrada de sedimentos nos corpos hídricos.

O relevo da BHRP é de plano a montanhoso, onde predominam os tipos suave-ondulado e ondulado (3 a 20%), que ocupam cerca de 77% da área. Cabe destacar ainda que mais de 20% da bacia apresenta relevos de forte-ondulado a montanhoso (20 a 45% e > 45%), que potencializa significativas energias aos fluxos superficiais. Por conseguinte, a bacia é caracterizada com declividade predominante média (8 a 20%) a média/baixa (3 a 8% e ≤ 8%). Essas três classes somam 78,59% da área da bacia. A amplitude de temperatura é mais de 3°C, acarretando essa amplitude variações na evaporação e transpiração.

O uso da terra é bastante diversificado, com atividades relacionadas à indústria, a pecuária, agricultura, mata entre outras. As áreas com cobertura vegetal (mata, campo, capoeira, florestamento/reflorestamento) são significativas, e recobrem 90,1% da área total e

grande parte das nascentes do rio principal ainda apresenta-se com elevada cobertura vegetal nativa. A agricultura mecanizada está presente em todos os setores da bacia, no entanto, ocupa pouco mais de 6% da área e a maior parte é cultivada em áreas em que não há restrição ao uso de máquinas agrícolas.

Verificou-se que o número de caminhos mapeados supera as estradas vicinais não pavimentadas, e que as estradas principais geralmente acompanham o fundo de vale, no entanto os caminhos internos e as estradas secundárias se distribuem em todas as unidades da bacia, e em grande parte estes caminhos não possuem dissipadores de energia. Estimou-se que o número total de cruzamentos de estradas e cursos d'água seja de 792, aumentando a entrada de sedimentos nos rios com a conexão estrada/rio.

Quanto às características das estradas rurais e caminhos, constatou-se que em muitas áreas elas estão em declividade superior a 10°, com largura média de 5 m, apresentam disponibilidade de material para ser transportado e possuem ravinas longitudinais e transversais na faixa de rolamento.

Por meio dos dados de precipitação, vazão e turbidez analisados, verificou-se uma correlação positiva com considerável ajuste, em que a estação do inverno apresenta a melhor correlação para os três dados avaliados, com $r = 0.82$ para precipitação e vazão, $r = 0.70$ para precipitação e turbidez, $r = 0.56$ para vazão e turbidez. Não houve uma hierarquia na análise de regressão das demais estações do ano, no entanto, depararam correlações regulares.

Com o Projeto de Proteção e Manejo da bacia em estudo, foram implantadas várias caixas de contenção nas estradas rurais, com o objetivo de armazenar água e sedimentos trazidos pela enxurrada.

Nos dados analisados, verificou-se que as CC quando foram implantadas serviam como retenção de sedimentos produzidos, sobretudo nas estradas rurais, diminuindo a turbidez nos cursos d'água. Porém em torno de 70% caixas mensuradas encontravam-se inativas, havendo uma deterioração em média de 10% do total de caixas mensuradas a cada dois anos.

A turbidez apresentou certa estabilidade após a implantação das CC, ao contrário dos anos anteriores, quando apresentou uma oscilação. A turbidez antes da implantação das CC (1996-2002) representa uma média de 535 NTU, enquanto que depois da implantação das CC (2003-2009) a média é de 440 NTU, com diferença, portanto, de 95 NTU. Isso dá uma redução de 21,5% na turbidez, sendo um indicativo da eficácia das CC.

Os moradores relataram que cerca de um ano posterior à implantação das CC, a água turva dos rios voltou a prevalecer após eventos pluviométricos. No entanto, os dados mostram

que a turbidez diminuiu de 2003 a 2007, com tendência de aumento a partir de 2009. Como não houve manutenção dessas medidas de controle de sedimentos, as caixas foram perdendo gradativamente sua eficácia (efeito), aumentando consideravelmente a turbidez, tendo como consequência a entrada de sedimentos nos rios e o aumento do custo do tratamento da água que abastece o município, uma vez que a bacia em estudo é o manancial que é utilizado para este fim. Portanto, nota-se a importância da manutenção periódica das caixas.

Relacionando o calendário agrícola com a turbidez, verificou-se que este não exerce influência na turbidez, porque as safras mais significativas em termos de terra plantada (soja, milho, trigo e seveda), são cultivadas em áreas com práticas simples de conservação do solo para impedir a erosão. Portanto, com cobertura vegetal de 90,1% da área da bacia, grande parte dos sedimentos que entram nos cursos d'água é originada ou são transportadas pelas estradas rurais e caminhos internos.

Conclui-se, portanto, que a turbidez diminuiu razoavelmente (21,5%). Com esta redução, segundo os responsáveis pelo tratamento da água que abastece o município, o custo de tratamento de água do manancial diminuiu. Portanto, se as CC tivessem manutenção, esta redução na turbidez poderia ser bem maior, diminuindo ainda mais o custo do tratamento da água e melhorando a sua qualidade.

Sendo assim, o presente estudo atingiu o objetivo proposto, que era avaliar a eficácia das CC, além de outros objetivos específicos, como a caracterização das estradas rurais, extração de informações da rede viária, rede de drenagem, uso da terra, mapa de declividade a partir do banco de dados cedido em meio digital.

Entretanto, colocam-se perspectivas na linha de estudo, Dinâmica Da Paisagem, Geomorfologia e Análise Ambiental. Diante da pesquisa realizada puderam-se levantar questões que necessitam ser pesquisadas como:

- a) A pesquisa tratou das características das estradas rurais, conexão com os canais fluviais e avaliação da eficácia das medidas de controle, no entanto, há necessidade de explicar como as estradas rurais evoluíram no decorrer dos anos, e se com isso houve um aumento gradativo na produção de sedimentos.
- b) Entender de forma detalhada quais são as medidas adequadas na manutenção das estradas rurais, para que diminua o impacto sobre a faixa de rolamento e a produção de sedimentos.
- c) Verificar que influências as estradas rurais e caminhos internos (ex. sedimento) exercem nas zonas ripárias.

7. REFERÊNCIAS

APEPA- **Associação paranaense de planejamento agropecuário**. Zoneamento agrícola do Estado do Paraná, 2010.

ANTONELI, V, THOMAZ, E. L. **Relação entre o cultivo de fumo (nicotina tabacum L.) e a produção de sedimento na bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR**. Geografia, Rio Claro, v. 35, n. 2, p.383-398, mai./ago. 2010.

ANTT- **A agência Nacional de transportes terrestres**, 2005.

BATTISTELLI, N. VALERA, S. A. R. HEERDT, B. Uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras. In: Mauro Battistelli; Maurício Camargo Filho; Bettina Heerd. (Org.). **Proteção e Manejo da Bacia do Rio das Pedras**. Guarapuava: Editora B & D Ltda, 2004, v. 1, p.100-108.

BATTISTELLI, M. *et al*, **Caixas de contenção**. Guarapuava-PR, 05 out. 2010. Entrevista concedida a Márcia Cristina da Cunha.

BAESSO, D. P. GONÇALVES, F. L. R. **Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis: DER, 2003. 204 p.

BERTHOMIER, J. E. Jacy Monteiro (Trad). **As estradas**. Difusão européia do Livro, São Paulo, 1961.

BRANCO, S. M. **Poluição, proteção e uso múltiplos de represas**. São Paulo: CETESB, 1977, p.104. Disponível em: <http://www.meumundo.americaonline.com.br/jlvcouto/html>, acesso em: 02 dez, 2010, 14:45:12.

CANALI, N. E. OKA-FIORI, C. GUEDES, J. A. **Propriedades físicas das bacias hidrográficas das baías de Antonina e Paranaguá-PR**. I Fórum Geo-Bio-Hidrologia: estudo em vertentes e microbacias hidrográficas. Curitiba, PR, 1998.

CARDOSO, A. C. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ**. Rev. Árvore vol.30 nº 2 Viçosa. 2006.

CARVALHO, D. E. de A. DIAS, N. W. **Impacto erosivo da precipitação nas bacias de encosta dos ribeirões Taquaral e Gomeral, formadores do Ribeirão Guaratinguetá, SP**. Revista Biociências, Unitau. Volume 15, número 2, 2009.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2ª ed. São Paulo: contexto, 1995.

CASSOL, E. A. *et al*, **Erosividade das chuvas, determinada pelo índice ei30, no período de 1957 a 1997 em Veranópolis, RS e no período de 1963 a 1997 em Farroupilha, RS**. 1998.

CATELANI, C. S., BATISTA, G. T., TARGA, M. S. Uso do geoprocessamento na determinação da distância entre estradas de rurais e a drenagem de uma microbacia

hidrográfica: Rio das Antas. In: Encontro de Iniciação Científica, 9., 2004, Taubaté. **Livro de Resumos, p.139**, Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, 2004.

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

CORRÊA, C. M. C. **Perdas de solo e a qualidade da água procedente de estrada de uso florestal no planalto catarinense**. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

COSTA, J. E. **Sediment concentration and duration in stream channels**. Journal of Soil and Water Conservation , JulyAgos, 1977, p.168-70.

CUNHA, C. M. L. **Quantificação e mapeamento das perdas de solo por erosão com base na malha fundiária**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 1997.

CUNHA, M. C. THOMAZ, E. L. VESTENA, L. R. Avaliação da eficácia de medidas de controle de sedimentos (caixas de contenção) em estradas rurais não pavimentadas na bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Guarapuava-PR. In: **XVI Encontro Nacional de Geógrafos**, 2010, Porto Alegre, RS.

CUNHA, M. C. THOMAZ, E. L. Caracterização preliminar das medidas de controle de sedimentos (caixas de contenções) nas estradas rurais da bacia do Rio Guabiroba, Guarapuava-PR. In: **XIX Seminário de Pesquisa e XIV Semana de Iniciação Científica**: Guarapuava-PR, 2008.

DEMARCHI, L. C. *et al*, **Adequação de Estradas Rurais**. Campinas; CATI- CECOR, 2003.

DER- **Departamento de Estradas de Rodagem**. Curitiba-PR, 2009.

DIAS, W. A. THOMAZ, E. L. **Avaliação dos efeitos do pastoreio sobre a erosão em margens de canal fluvial em sistema de faxinal**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 23 (1): 23-35, abr. 2011.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de Poluição Ambiental**. São Paulo: Signus, 2000, p.34-38.

DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Conservação de estradas não-pavimentadas**. Instituto de Pesquisa Rodoviária, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro (1981).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 158p.

FRITZSONS, E. *et al*, **Relação entre Altitude e Temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná**. Revista de Estudos Ambientais (REA) v.10, n. 1, p.49-64, jan./jun. 2008.

FREITAS, C. A. T. de. **Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental: manual para elaboração de plano de manejo e gestão de Bacia de Mananciais do Estado do Paraná/ SPVS, Sanepar – 2^a ed. rev. Curitiba, 1999, 184p.**

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A. **Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Maio/Junho 2005, vol.29, no.3, p.397-405. ISSN 0100-0683.

GREGORY, K. J. **A natureza da Geografia Física**. NAVARRO, E. de A. (Trad.). Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil S. A. 1992.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org). **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUIMARÃES, C. J. DROPA, M. M. JORGE, M. A. P. **Dos caminhos de circulação às rodovias de integração**. Ponta Grossa-PR, 2004.

HERMENEGILDO JÚNIOR, H. S. FERREIRA, O. M. **Processos erosivos e perda de solo em estradas vicinais**. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental- Goiânia – GO, 2007.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol Soe. Am. Bull.** v.56, n.3, p.275-370, 1945.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências, Rio de Janeiro, nº 1, 1992. 92p.

IDORALDO JÚNIOR, D. G. **Estradas rurais: componente mobilizador do PEMH**. II Fórum Ambiental da Alta Paulista. Tupã-São Paulo, 2006.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms and processes: a new perspective**. London: Arnold, 1998. 382p.

LEPSCH, I. F. **Solos: formação e conservação**. 2^a ed. São Paulo-SP. 1976, 160p.

LIMA, A. G., **Caracterização geomorfológica preliminar da Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-Pr**, revista GEOGRAFIA, número 2, p.37-51. Rio Claro-Sp, 1999.

LIMA, A. G. Metodologia para inventário do potencial de produção sedimentar em cruzamentos de estradas com canais fluviais. In: Mauro Battistelli; Maurício Camargo Filho; Bettina Heerd. (Org.). **Proteção e Manejo da Bacia do Rio das Pedras: relato de experiências**. Guarapuava: Editora B & D Ltda, 2004, v. 1, p.100-108.

LIMA, A. G. **Controle geológico e hidráulico na morfologia do perfil longitudinal em rio sobre rochas vulcânicas básicas da formação serra geral no estado do Paraná.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p.240, 2009.

LOPES, N. H. Y. KOBAYAMA, M. **Análise da produção de sedimento e da qualidade da água em microbacia experimental com Swat.** VIII Encontro Nacional de engenharia de sedimentos. Florianópolis/SC, 2008.

LUCE, C. H.; WEPLE, B.C. Introduction to special issue on hydrologic and geomorphic of forest roads. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, p.111-113, 2001.

LUIZ, J. C. **As unidades de paisagem na bacia do Rio Guabiroba - Guarapuava-PR - e a Fragilidade Ambiental.** Estudos Geográficos, Rio Claro, 6(1): 63-88, 2008 (ISSN 1678—698X).

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná.** 3ªed. Curitiba: Imprensa oficial, 1981, 440p.

MACDONALD, L. H.; SAMPSON, R. W.; ANDERSON, D. M. Runoff and road erosion at the plot and road segment scales, St. John, US Virgin Islands. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, p.251 – 272, 2001.

MACHADO, R. E. VETTORAZZI, C. A. **Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP).** R. Bras. Ci. Solo, 27:735-741, 2003.

MADERNA, J. G. **Interrelações da rede viária florestal.** Curitiba: [s.n.], 2002. (Exame de qualificação Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR).

ODA, S. FERNANDES JÚNIOR, J. F. SÓRIA, M. H. A. **Implantação, localização e manutenção de estradas.** Departamento de transporte-EESC-USP, Universidade de São Paulo, 2007.

PACHECHENIK, P. E. **Caracterização hidrológica e da fragilidade ambiental na bacia do Rio das Pedras, Guarapuava – PR.** (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2004.

PAISANI, J. C. OLIVEIRA, M. T. de. **Dinâmica da área de contribuição para a formação de escoamento superficial saturado-cabeceira de drenagem da colônia quero-quero-Palmeira (PR).** Geociências, São Paulo, 18(2): 261-284, 1999.

PINTO, N. L. de S. HOLTZ, A. C. T. MARTINS, J. A. **Hidrologia de superfície.** 2ªed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

RODRIGUES, F. CARVALHO, O. **Bacias Hidrográficas como Unidade de Planejamento e Gestão Geoambiental: Uma Proposta Metodológica.** Revista eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros - seção Niterói. Ano 1- Jul/Dez 2005, ISSN 1980-9018.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental.** São Paulo: oficina de textos, 2006, 208p.

SANTOS, A. R. *et al*, **Estradas Vicinais de Terra. Manual técnico para conservação e recuperação.** Instituto de pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo, AS. São Paulo, 1895.

SCAPIN, J. *et al*, **Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano em Santa Maria – RS.** VI encontro nacional de engenharia de sedimentos (VI enes). Novotel – Vitória – Espírito Santo, 2004

SILVÉRIO, J. A. *et al*, **Caixas de contenção.** Guarapuava-PR, 20 set. 2010. Entrevista concedida a Márcia Cristina da Cunha.

SCHIAVETTI, A. CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus, Ba: Editus, 2002, 293p.

SPERLING, E. V. **Afinal quanta água temos no planeta.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte- MG, Volume 11 n.4 Out/Dez 2006, 189-199.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** New Halen: Transactions: American Geophysical Union, 1957. v.38. p.913-920.

SUERTEGARAY, D. M. A. Revista eletrônica de geografia e ciências sociais. Universidade de Barcelona. **Espaço geográfico uno e múltiplo.** 2001.

THOMAZ, E. L.. **Caracterização hidroclimática da bacia do rio das pedras:** primeira versão. Guarapuava:UNICENTRO, 2002. 22p. Relatório de pesquisa.

THOMAZ, E. L. **Caracterização do meio físico da bacia do Rio Guabiroba:** ensaio empírico-cartográfico como fundamento ao estudo de processos. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 05 a 09 de setembro de 2005a – USP.

THOMAZ, E. L. **Processos hidrogeomorfológicos e o uso da terra em ambiente subtropical – Guarapuava-PR.** São Paulo: USP, 2005. 319p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2005b.

THOMAZ, E. L. **Processo Hidrológico superficial e uso da terra em Guarapuava-PR:** Mensurações em parcelas pequenas. Rio Claro v. 32, p.106, 2007.

THOMAZ, E. L. Introdução ao monitoramento ambiental em cabeceira de drenagem urbano-rural. In: FERREIRA, Y. N. (Org) **Águas Urbanas: Memória, Gestão, Riscos e Regeneração.** Londrina: Eduel, 2007.

THOMAZ, E. L. Processos Geomorfológicos e balanço de sedimentos em bacia de drenagem. In: Leandro Redin Vestena, Paulo Nobokuni, Márcia da Silva, Edivaldo Lopes Thomaz. **Saberes Geográficos: Teorias e Aplicações.** Guarapuava: Unicentro, 2009, 298p.

THOMAZ, E. L. **Avaliação de processos hidro-erosivos em estradas rurais por meio de chuva simulada e análise da eficácia de medidas de controle de sedimento na bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Guarapuava-PR.** Projeto fundação araucária-apoio ao

desenvolvimento científico e tecnológico do Paraná. Chamada de Projetos 14/2009 Programa de Apoio à Pesquisa Básica e Aplicada.

THOMAZ, E. L. VESTENA, L. R. **Aspectos Climáticos de Guarapuava-PR**. Guarapuava: UNICENTRO, 2003.

TONELLO, K. C. *et al*, **Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas-Guanhães-MG**. 2006. Revista árvore, setembro-outubro, volume 30, num. 05. Sociedade de investigações florestais, viscosa Brasil, p.849-457.

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

VESTENA, L. R., BERTOTTI, L. G., GARDIM, J. C.. Uso da terra da bacia hidrográfica do Rio das Pedras. In: Mauro Battistelli; Maurício Camargo Filho; Bettina Heerd. (Org.). **Proteção e Manejo da Bacia do Rio das Pedras: relato de experiências**. Guarapuava: Editora B & D Ltda, 2004, v. 1, p.100-108.

VESTENA, L. R. LUCINI, H. KOBİYAMA, M. Monitoramento automático de concentração de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner-SC. In: **I Workshop regional de geografia e mudanças ambientais**. ISBN : 978-85-89346-55, 2009.

VESTENA, L. R., THOMAZ, E. L. **Avaliação de conflitos entre áreas de preservação permanente associadas aos cursos fluviais e uso da terra na bacia do rio das pedras, Guarapuava-pr**. *Âmbiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais* V. 2 No 1, 2006 p.73-85.

8. ANEXOS

Entrevista Semi-estruturada.

Nome do entrevistado:

Local:

Data:

Profissão do entrevistado:

Título da entrevista: Caixas de Contenção.

Perguntas.

- 1) Em que ano as caixas de contenção foram construídas?
- 2) Em que local elas foram construídas inicialmente?
- 3) Quais foram os responsáveis pela construção destas caixas?
- 4) Sabe me dizer como foi implementado o projeto?
- 5) Qual o objetivo da construção destas caixas?
- 6) Houve a construção de mais caixas nos últimos anos? Onde?
- 7) Porque não há uma manutenção periódica das caixas?
- 8) Há possibilidade da construção de mais medidas de controles? Onde?
- 9) Qual a média de caixas por Km²?
- 10) Qual o custo da construção de cada caixa?
- 11) Como é realizada a avaliação nos trechos onde são construídas as caixas

Turbidez máxima média

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma	media
1996	34,5	36,9	54,3	17,8	4,7	14,9	14	10,6	19,8	31,7	25,7	49,9	314,8	48,43077
1997	31,8	37,2	20,4	15,3	24,3	71,8	16,9	18,6	28,6	59,3	48,9	34,1	407,2	62,64615
1998	29,7	30,2	33,7	35,3	8,1	8,1	31,1	34,3	35,3	28,6	23,7	31,5	329,6	50,70769
1999	124,6	91,5	50,3	35,5	35,5	47,7	27,2	6,9	27	20	48,6	62,9	577,7	88,87692
2000	52,7	34,3	34,1	20,6	22,1	77,7	30,4	18,4	76	133,7	77,4	49,6	627	96,46154
2001	131,1	118,8	64,3	37,3	39,6	31	81,5	42,7	62,3	137,8	130,8	86,2	963,4	148,2154
2002	47,4	22,8	48,9	26,7	64,4	19,4	16,4	23,8	52,4	83,3	51,8	67,9	525,2	80,8
2003	24,7	40,4	52,2	22,7	14,1	43,5	42,3	11	19,5	32,3	48,8	84	435,5	67
2004	52,3	21,8	32,6	70,1	48,9	23,7	39,1	10,7	24,6	51,1	31,1	20	426	65,53846
2005	56,2	26,6	23,5	56,9	40,4	37,1	21,9	19,6	42,3	68,4	20,9	51,6	465,4	71,6
2006	63,7	46,7	36,3	12,2	5,5	10	21,9	25,5	61,5	28	37,8	60,2	409,3	62,96923
2007	77,4	33,9	52,7	42,2	53,4	8,7	25,2	10,1	6,8	10	46,4	39,9	406,7	62,56923
2008	94,8	13,8	27,8	52,6	35,6	45,3	21,9	35,9	12	43,8	35,8	10	429,3	66,04615
2009	34,5	29,6	26,2	13,7	41,1	33,3	73,1	21	45,5	72,1	45,4	72,4	507,9	78,13846

Precipitação total mensal

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma	Média
1996	273,9	253,5	173,9	38,2	29,5	90,7	86,4	59,3	159,1	301,8	113,9	320,5	1900,7	292,4154
1997	189	277	114,2	47,2	93,4	251,1	91,8	141,2	237,8	336,4	239,3	167,8	2186,2	336,3385
1998	156,2	263,4	284,4	493,4	87	78,6	89,6	158,8	396	304	66,1	142,6	2520,1	387,7077
1999	157,6	238	153,5	128,4	138,4	254	143,8	2,2	146,8	109,4	57,8	184,6	1714,5	263,7692
2000	155,2	223,4	122,2	77	82,7	161,4	124	93,5	343,3	291,1	184,4	220,9	2079,1	319,8615
2001	293,7	409,7	220	120,6	158,2	136,1	174,8	91,7	170	206	253	166,6	2400,4	369,2923
2002	267,3	113,4	85,7	111,3	281,2	36	96,2	132,7	190,6	311,5	219,2	313,8	2158,9	332,1385
2003	104,3	300,6	199,2	120,9	49,2	122,8	206,3	47,2	122,2	179,4	231,6	299,7	1983,4	305,1385
2004	97,9	50,9	122,1	173,1	294,8	138,9	195,7	33,5	123,3	329	130	105	1794,2	276,0308
2005	244,1	22,6	116,2	153,2	161,5	215,7	114,4	89,7	323,7	451,6	59,5	112,8	2065	317,6923
2006	278,2	182,9	95,5	38,1	18,1	54,6	52,8	90	211,9	82,2	116,2	205,8	1426,3	219,4308
2007	234,5	112,2	159,2	177,5	308,1	189,7	104,1	10,5	23,4	95,7	260,6	258,3	1744,1	282,9154
2008	237	39,2	156,8	305,8	66,8	269,4	68,6	228,5	72,6	253,6	254,1	69,2	1698,3	286,1462
2009	157	116,8	57,2	69,8	177,1	102,9	299,8	111,3	357	273,5	191,4	249,8	2163,6	332,8615

Vazão média

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma	Média
1996	11,73	18,51	14,19	7,91	2,93	3,71	6,23	3,41	6,64	22,61	11,99	16,82	126,68	19,48923
1997	16,01	6,7	5,34	3,06	2,84	13,02	9,66	7,82	10,51	40,36	24,98	9,1	149,4	22,98462
1998	7,46	9,39	18,56	57,74	9,9	4,94	7,59	13,55	30,8	35,79	5,15	4,17	205,04	31,54462
1999	6,56	9,38	6,14	8,03	6,1	16,44	13,76	2,97	5,53	2,63	2,45	5,5	85,49	13,15231
2000	8,79	17,71	8,79	3,46	2,43	6,29	8	4,42	26,3	19,72	9,07	5,97	120,95	18,60769
2001	13,79	23,53	7,39	3,97	6,62	6,72	8,14	4,77	6,63	23,83	8,04	9,65	123,08	18,93538
2002	10,72	7,53	10,42	3,5	14,1	4,34	3,25	2,53	9,92	10,88	14,1	12,18	103,47	15,91846
2003	4,32	9,47	8,51	4,25	2,84	6	9,37	3,26	3,45	5,3	11,69	10,88	79,34	12,20615
2004	4,86	3,3	3,34	4,44	14,79	9,65	14,1	3,99	3,67	17,07	13,08	3,64	95,93	14,75846
2005	4,77	2,48	2,34	4,58	7,39	17,02	6,81	6	23,57	32,97	9,54	3,98	121,45	18,68462
2006	3,94	4,32	3,92	2,5	1,95	2,03	2,22	3,17	7,18	5,02	6,27	6,06	48,58	7,473846
2007	10,85	11,02	10,61	7,14	30,08	5,76	6,35	3,91	2,88	2,71	8,85	7,26	107,42	16,52615
2008	12,4	3,87	3,97	6,65	8,03	13,12	8,32	16,03	4,5	16,43	12,62	3,6	109,54	16,85231
2009	3,98	3,72	4,43	2,85	4,14	5,37	25,99	11,48	27,85	20,09	10,6	11,6	132,1	11,00833

Média móvel

Ano	Turbidez	Média
1996	314,8	487,5
1997	407,2	487,5
1998	329,6	487,5
1999	577,7	487,5
2000	627	487,5
2001	963,4	487,5
2002	525,2	487,5
2003	435,5	487,5
2004	426	487,5
2005	465,4	487,5
2006	409,3	487,5
2007	406,7	487,5
2008	429,3	487,5
2009	507,9	487,5

Correlação por estações do ano (primavera e verão)

Anos	Meses	PRIMAVERA			Anos	Meses	VERÃO		
		Precipitação	Vazão	Turbidez			Precipitação	Vazão	Turbidez
1996	Set.	159,1	6,64	19,8	1996	Dez.	320,5	16,82	49,9
1997	Set.	237,8	10,51	28,6	1997	Dez.	167,8	9,1	34,1
1998	Set.	396	30,8	35,3	1998	Dez.	142,6	4,17	31,5
1999	Set.	146,8	5,53	27	1999	Dez.	184,6	5,5	62,9
2000	Set.	343,3	26,3	76	2000	Dez.	220,9	5,97	49,6
2001	Set.	170	6,63	62,3	2001	Dez.	166,6	9,65	86,2
2002	Set.	190,6	9,92	52,4	2002	Dez.	313,8	12,18	67,9
2003	Set.	122,2	3,45	19,5	2003	Dez.	299,7	10,88	84
2004	Set.	123,3	3,67	24,6	2004	Dez.	105	3,64	20
2005	Set.	323,7	23,57	42,3	2005	Dez.	112,8	3,98	51,6
2006	Set.	211,9	7,18	61,5	2006	Dez.	205,8	6,06	60,2
2007	Set.	23,4	2,88	6,8	2007	Dez.	258,3	7,26	39,9
2008	Set.	72,6	4,5	12	2008	Dez.	69,2	3,6	10
2009	Set.	357	27,85	45,5	2009	Dez.	249,8	11,6	72,4
1996	Out.	301,8	22,61	31,7	1996	Jan.	273,9	11,73	34,5
1997	Out.	336,4	40,36	59,3	1997	Jan.	189	16,01	31,8
1998	Out.	304	35,79	28,6	1998	Jan.	156,2	7,46	29,7
1999	Out.	109,4	2,63	20	1999	Jan.	157,6	6,56	124,6
2000	Out.	291,1	19,72	133,7	2000	Jan.	155,2	8,79	52,7
2001	Out.	206	23,83	137,8	2001	Jan.	293,7	13,79	131,1
2002	Out.	311,5	10,88	83,3	2002	Jan.	267,3	10,72	47,4
2003	Out.	179,4	5,3	32,3	2003	Jan.	104,3	4,32	24,7
2004	Out.	329	17,07	51,1	2004	Jan.	97,9	4,86	52,3
2005	Out.	451,6	32,97	68,4	2005	Jan.	244,1	4,77	56,2
2006	Out.	82,2	5,02	28	2006	Jan.	278,2	3,94	63,7
2007	Out.	95,7	2,71	10	2007	Jan.	234,5	10,85	77,4
2008	Out.	253,6	16,43	43,8	2008	Jan.	237	12,4	94,8
2009	Out.	273,5	20,09	72,1	2009	Jan.	157	3,98	34,5
1996	Nov.	113,9	11,99	25,7	1996	Fev.	253,5	18,51	36,9
1997	Nov.	239,3	24,98	48,9	1997	Fev.	277	6,7	37,2
1998	Nov.	66,1	5,15	23,7	1998	Fev.	263,4	9,39	30,2
1999	Nov.	57,8	2,45	48,6	1999	Fev.	238	9,38	91,5
2000	Nov.	184,4	9,07	77,4	2000	Fev.	223,4	17,71	34,3
2001	Nov.	253	8,04	130,8	2001	Fev.	409,7	23,53	118,8
2002	Nov.	219,2	14,1	51,8	2002	Fev.	113,4	7,53	22,8
2003	Nov.	231,6	11,69	48,8	2003	Fev.	300,6	9,47	40,4
2004	Nov.	130	13,08	31,1	2004	Fev.	50,9	3,3	21,8
2005	Nov.	59,5	9,54	20,9	2005	Fev.	22,6	2,48	26,6
2006	Nov.	116,2	6,27	37,8	2006	Fev.	182,9	4,32	46,7
2007	Nov.	260,6	8,85	46,4	2007	Fev.	112,2	11,02	33,9
2008	Nov.	254,1	12,62	35,8	2008	Fev.	39,2	3,87	13,8
2009	Nov.	191,4	10,6	45,4	2009	Fev.	116,8	3,72	29,6

Correlação por estações do ano (outono e inverno)

		OUTONO					INVERNO		
Anos	Meses	Precipitação	Vazão	Turbidez	Anos	Meses	Precipitação	Vazão	Turbidez
1996	Mar.	173,9	14,19	54,3	1996	Jun.	90,7	3,71	14,9
1997	Mar.	114,2	5,34	20,4	1997	Jun.	251,1	13,02	71,8
1998	Mar.	284,4	18,56	33,7	1998	Jun.	78,6	4,94	8,1
1999	Mar.	153,5	6,14	50,3	1999	Jun.	254	16,44	47,7
2000	Mar.	122,2	8,79	34,1	2000	Jun.	161,4	6,29	77,7
2001	Mar.	220	7,39	64,3	2001	Jun.	136,1	6,72	31
2002	Mar.	85,7	10,42	48,9	2002	Jun.	36	4,34	19,4
2003	Mar.	199,2	8,51	52,2	2003	Jun.	122,8	6	43,5
2004	Mar.	122,1	3,34	32,6	2004	Jun.	138,9	9,65	23,7
2005	Mar.	116,2	2,34	23,5	2005	Jun.	215,7	17,02	37,1
2006	Mar.	95,5	3,92	36,3	2006	Jun.	54,6	2,03	10
2007	Mar.	159,2	10,61	52,7	2007	Jun.	189,7	5,76	8,7
2008	Mar.	156,8	3,97	27,8	2008	Jun.	269,4	13,12	45,3
2009	Mar.	57,2	4,43	26,2	2009	Jun.	102,9	5,37	33,3
1996	Abr.	38,2	7,91	17,8	1996	Jul.	86,4	6,23	14
1997	Abr.	47,2	3,06	15,3	1997	Jul.	91,8	9,66	16,9
1998	Abr.	493,4	57,74	35,3	1998	Jul.	89,6	7,59	31,1
1999	Abr.	128,4	8,03	35,5	1999	Jul.	143,8	13,76	27,2
2000	Abr.	77	3,46	20,6	2000	Jul.	124	8	30,4
2001	Abr.	120,6	3,97	37,3	2001	Jul.	174,8	8,14	81,5
2002	Abr.	111,3	3,5	26,7	2002	Jul.	96,2	3,25	16,4
2003	Abr.	120,9	4,25	22,7	2003	Jul.	206,3	9,37	42,3
2004	Abr.	173,1	4,44	70,1	2004	Jul.	195,7	14,1	39,1
2005	Abr.	153,2	4,58	56,9	2005	Jul.	114,4	6,81	21,9
2006	Abr.	38,1	2,5	12,2	2006	Jul.	52,8	2,22	21,9
2007	Abr.	177,5	7,14	42,2	2007	Jul.	104,1	6,35	25,2
2008	Abr.	305,8	6,65	52,6	2008	Jul.	68,6	8,32	21,9
2009	Abr.	69,8	2,85	13,7	2009	Jul.	299,8	25,99	73,1
1996	Mai.	29,5	2,93	4,7	1996	Ago.	59,3	3,41	10,6
1997	Mai.	93,4	2,84	24,3	1997	Ago.	141,2	7,82	18,6
1998	Mai.	87	9,9	8,1	1998	Ago.	158,8	13,55	34,3
1999	Mai.	138,4	6,1	35,5	1999	Ago.	2,2	2,97	6,9
2000	Mai.	82,7	2,43	22,1	2000	Ago.	93,5	4,42	18,4
2001	Mai.	158,2	6,62	39,6	2001	Ago.	91,7	4,77	42,7
2002	Mai.	281,2	14,1	64,4	2002	Ago.	132,7	2,53	23,8
2003	Mai.	49,2	2,84	14,1	2003	Ago.	47,2	3,26	11
2004	Mai.	294,8	14,79	48,9	2004	Ago.	33,5	3,99	10,7
2005	Mai.	161,5	7,39	40,4	2005	Ago.	89,7	6	19,6
2006	Mai.	18,1	1,95	5,5	2006	Ago.	90	3,17	25,5
2007	Mai.	308,1	30,08	53,4	2007	Ago.	10,5	3,91	10,1
2008	Mai.	66,8	8,03	35,6	2008	Ago.	228,5	16,03	35,9
2009	Mai.	177,1	4,14	41,1	2009	Ago.	111,3	11,48	21

Análise por estações do ano antes e depois da implantação das caixas de contenção

			Precipitação				
Primavera	Primavera	Verão	Verão	Outono	Outono	Inverno	Inverno
antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois
(1996-2002)	2003-2009)	(1996-2002)	2003-2009)	(1996-2002)	2003-2009)	(1996-2002)	2003-2009)
159,1	122,2	320,5	299,7	173,9	199,2	90,7	122,8
237,8	123,3	167,8	105	114,2	122,1	251,1	138,9
396	323,7	142,6	112,8	284,4	116,2	78,6	215,7
146,8	211,9	184,6	205,8	153,5	95,5	254	54,6
343,3	23,4	220,9	258,3	122,2	159,2	161,4	189,7
170	72,6	166,6	69,2	220	156,8	136,1	269,4
190,6	357	313,8	249,8	85,7	57,2	36	102,9
301,8	179,4	273,9	104,3	38,2	120,9	86,4	206,3
336,4	329	189	97,9	47,2	173,1	91,8	195,7
304	451,6	156,2	244,1	493,4	153,2	89,6	114,4
109,4	82,2	157,6	278,2	128,4	38,1	143,8	52,8
291,1	95,7	155,2	234,5	77	177,5	124	104,1
206	253,6	293,7	237	120,6	305,8	174,8	68,6
311,5	273,5	267,3	157	111,3	69,8	96,2	299,8
113,9	231,6	253,5	300,6	29,5	49,2	59,3	47,2
239,3	130	277	50,9	93,4	294,8	141,2	33,5
66,1	59,5	263,4	22,6	87	161,5	158,8	89,7
57,8	116,2	238	182,9	138,4	18,1	2,2	90
184,4	260,6	223,4	112,2	82,7	308,1	93,5	10,5
253	254,1	409,7	39,2	158,2	66,8	91,7	228,5
219,2	191,4	113,4	116,8	281,2	177,1	132,7	111,3
4637,5	4142,5	4788,1	3478,8	3040,4	3020,2	2493,9	2746,4

Análise por estações do ano antes e depois da implantação das caixas de contenção

			Vazão				
Primavera	Primavera	Verão	Verão	Outono	Outono	Inverno	Inverno
antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois
(1996-2002)	2003-2009)	(1996-2002)	2003-2009)	(1996-2002)	2003-2009)	(1996-2002)	2003-2009)
6,64	3,45	16,82	10,88	14,19	8,51	3,71	6
10,51	3,67	9,1	3,64	5,34	3,34	13,02	9,65
30,8	23,57	4,17	3,98	18,56	2,34	4,94	17,02
5,53	7,18	5,5	6,06	6,14	3,92	16,44	2,03
26,3	2,88	5,97	7,26	8,79	10,61	6,29	5,76
6,63	4,5	9,65	3,6	7,39	3,97	6,72	13,12
9,92	27,85	12,18	11,6	10,42	4,43	4,34	5,37
22,61	5,3	11,73	4,32	7,91	4,25	6,23	9,37
40,36	17,07	16,01	4,86	3,06	4,44	9,66	14,1
35,79	32,97	7,46	4,77	57,74	4,58	7,59	6,81
2,63	5,02	6,56	3,94	8,03	2,5	13,76	2,22
19,72	2,71	8,79	10,85	3,46	7,14	8	6,35
23,83	16,43	13,79	12,4	3,97	6,65	8,14	8,32
10,88	20,09	10,72	3,98	3,5	2,85	3,25	25,99
11,99	11,69	18,51	9,47	2,93	2,84	3,41	3,26
24,98	13,08	6,7	3,3	2,84	14,79	7,82	3,99
5,15	9,54	9,39	2,48	9,9	7,39	13,55	6
2,45	6,27	9,38	4,32	6,1	1,95	2,97	3,17
9,07	8,85	17,71	11,02	2,43	30,08	4,42	3,91
8,04	12,62	23,53	3,87	6,62	8,03	4,77	16,03
14,1	10,6	7,53	3,72	14,1	4,14	2,53	11,48
327,93	245,34	231,2	130,32	203,42	138,75	151,56	179,95

Análise por estações do ano antes e depois da implantação das caixas de contenção

			Turbidez				
Primavera	Primavera	Verão	Verão	Outono	Outono	Inverno	Inverno
antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois
(1996-2002)	2003-2009)	(1996-2002)	2003-2009)	(1996-2002)	2003-2009)	(1996-2002)	2003-2009)
19,8	19,5	49,9	84	54,3	52,2	14,9	43,5
28,6	24,6	34,1	20	20,4	32,6	71,8	23,7
35,3	42,3	31,5	51,6	33,7	23,5	8,1	37,1
27	61,5	62,9	60,2	50,3	36,3	47,7	10
76	6,8	49,6	39,9	34,1	52,7	77,7	8,7
62,3	12	86,2	10	64,3	27,8	31	45,3
52,4	45,5	67,9	72,4	48,9	26,2	19,4	33,3
31,7	32,3	34,5	24,7	17,8	22,7	14	42,3
59,3	51,1	31,8	52,3	15,3	70,1	16,9	39,1
28,6	68,4	29,7	56,2	35,3	56,9	31,1	21,9
20	28	124,6	63,7	35,5	12,2	27,2	21,9
133,7	10	52,7	77,4	20,6	42,2	30,4	25,2
137,8	43,8	131,1	94,8	37,3	52,6	81,5	21,9
83,3	72,1	47,4	34,5	26,7	13,7	16,4	73,1
49,9	48,8	36,9	40,4	4,7	14,1	10,6	11
34,1	31,1	37,2	21,8	24,3	48,9	18,6	10,7
31,5	20,9	30,2	26,6	8,1	40,4	34,3	19,6
62,9	37,8	91,5	46,7	35,5	5,5	6,9	25,5
49,6	46,4	34,3	33,9	22,1	53,4	18,4	10,1
86,2	35,8	118,8	13,8	39,6	35,6	42,7	35,9
67,9	45,4	22,8	29,6	64,4	41,1	23,8	21
1177,9	784,1	1205,6	954,5	693,2	760,7	643,4	580,8