

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO

WOLLIVER ANDERSON DIAS

DINÂMICA EROSIVA EM MARGENS PLENAS DE CANAL FLUVIAL

PONTA GROSSA
2012

WOLLIVER ANDERSON DIAS

DINÂMICA EROSIVA EM MARGENS PLENAS DE CANAL FLUVIAL

Dissertação apresentada para obtenção do título de MESTRE EM GEOGRAFIA, no Programa de Pós Graduação em Geografia: Mestrado em Gestão do Território, da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Dr. Edivaldo Lopes Thomaz

PONTA GROSSA

2012

Catálogo na Fonte

Elaborada pelo Setor Tratamento da Informação BICEN / UEPG

D541d Dias, Wolliver Anderson
 Dinâmica erosiva em margens plenas de canal
 fluvial / Wolliver Anderson Dias. Ponta Grossa,
 2012.
 100 f. : il. color.

 Dissertação (Mestrado em Geografia - Gestão do
 Território), Universidade Estadual de Ponta
 Grossa, 2012.

 Orientador: Prof. Dr. Edivaldo Lopes Thomaz.

 1. Rio Guabiroba - Guarapuava (PR.) - erosão
 2. Erosão de margens. 3. Zonas ripárias. 4. Pinos
 de erosão. 5. Canal fluvial. I. Thomaz, Edivaldo
 Lopes. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa.
 Mestrado em Geografia. III. T.

CDD: 631.4

TERMO DE APROVAÇÃO

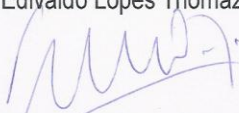
Wolliver Anderson Dias

DINÂMICA EROSIVA EM MARGENS PLENAS DE CANAL FLUVIAL

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Edivaldo Lopes Thomaz
UEPG


Prof. Dr. Fabiano Antonio de Oliveira
UFPR


Profa. Dra. Maria Ligia Cassol Pinto
UEPG

Ponta Grossa, 26 de Abril de 2012.

Dedico este trabalho em especial a meu pai Enivaldo Dias e a minha mãe Liamar dos Reis Pessoa Dias, pelo incentivo constante e por ser meu porto seguro.

Dedico também a todos os seres vivos que de alguma forma necessitam de água.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Agradeço a Capes pela bolsa ao longo do período do mestrado e Fundação Araucária pelos recursos disponibilizados através do projeto: 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. (Chamada de projetos n. 14/2009 Fundação Araucária).

Agradeço principalmente ao Professor Edivaldo Lopes Thomaz, pela orientação e amizade, sendo esta dissertação apenas mais um resultado de um trabalho conjunto.

Agradeço o grupo de pesquisa em HIDROGEOMORFOLOGIA da UNICENTRO, pelo constante apoio, fornecimento de equipamentos e estrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço também aos amigos que sempre estiveram ao meu lado nos melhores e piores momentos, e também aos que não estiveram.

Agradeço ainda, todo ser que de uma forma ou de outra, direta ou indiretamente, contribuiu para que este trabalho pudesse ocorrer. Desta forma, não mencionarei aqui nenhum nome para não cometer a injustiça de esquecer alguém.

***“Trazemos dentro de nós todas as maravilhas
que buscamos no nosso exterior”***

(Thomas Browne, 1605 - 1682)

RESUMO

A erosão das margens de rios encontra-se entre os processos mais dinâmicos da paisagem, podendo ser influenciado por diversos fatores. A erosão das margens é resultado da interação entre as condições dos barrancos e das características fluviais. Assim, as taxas de erosão são determinadas pela resistência do barranco frente ao potencial erosivo do fluxo. O uso da terra nas adjacências também é determinante nos processos erosivos, tendo em vista a proteção exercida pela vegetação ripária que deixa de existir quando as matas ciliares são substituídas por outros usos. O presente trabalho buscou analisar a dinâmica da erosão de margens planas ao longo do rio Guabiroba, localizado no município de Guarapuava - PR. Para tanto, levou-se em consideração os parâmetros físicos das seções avaliadas: textura do material, resistência da face do barranco, declividade e características do canal fluvial. A estimativa da erosão das margens foi realizada através do monitoramento dos pinos de erosão (técnica volumétrica). Desta forma, foi possível quantificar as taxas de erosão das margens do rio Guabiroba, bem como identificar e classificar os processos erosivos ocorrentes. O valor de perda de material ao longo das margens do rio Guabiroba foi de aproximadamente 1684,7 toneladas, registrados entre outubro de 2010 e janeiro de 2012, representados principalmente pela interação dos processos de corrasão e solapamento.

Palavras-chave: Erosão de margens, Canal fluvial, zonas ripárias, pinos de erosão.

ABSTRACT

The banks erosion in river is in the most dynamic processes of the landscape and can be influenced by several factors. The bank erosion is a result of the interaction between the ravines conditions and the fluvial characteristics. Therefore, erosion rates are determined by the ravines resistance against the potential erosive flow. The adjacent land use is also a determining factor in erosion processes, once the protection exerted by riparian vegetation ceases to exist when it is replaced for other ends. This study aimed to analyze the dynamics of banks erosion along the Guabiroba River located in Guarapuava - PR. However, it was considered the physical parameters of the evaluated sections: material texture, ravines face resistance, slope, and the fluvial stream characteristics. The estimated margins erosion was performed by monitoring erosion pins (volumetric technique). Thus, it was possible to quantify rates of river banks erosion at Guabiroba River, as well as identify and classify the occurring erosion processes. The material loss value along the river banks at Guabiroba River was approximately 1684.7 tons, registered between October 2010 and January 2012, mainly represented by the interaction of corrosion processes and undermining.

Keywords: Erosion of banks, river stream, riparian zones, erosion pins.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de níveis de leito e de margem ocupados pela vazão.....	20
Figura 2 – Representação da variabilidade da velocidade do fluxo em um perfil transversal.....	31
Figura 3 - Localização da área de estudo no âmbito da bacia do rio Guabiroba.....	33
Figura 4 - Climatograma do município de Guarapuava entre os anos de 1976-2009.....	35
Figura 5 – Formação de cachoeiras no Rio Guabiroba, caracterizando ruptura de declive no terraço fluvial.....	37
Figura 6 – Mapa hipsométrico da bacia do rio Guabiroba.....	39
Figura 7 – Imagem de satélite da bacia do rio Guabiroba.....	43
Figura 8 – Carta de uso da terra da bacia do rio Guabiroba.....	44
Figura 9 – Rede de drenagem da bacia do rio Guabiroba com localização e foto.....	46
Figura 10 - Representação esquemática do método dos pinos instalados nas margens.....	49
Figura 11 - Pinos de erosão instalados nas margens.....	49
Figura 12 – Esboço gráfico das 8 seções avaliadas (fora de escala).....	51
Figura 13 - Diagrama Triangular Simplificado para classificação textural do material do barranco.....	54
Figura 14 - Foto do <i>Pocket Tor Vane Tester</i> e suas palhetas de amostragem.	55
Figura 15 – Mensuração da declividade do barranco.....	57
Figura 16 – Realização de avaliações com a ADCP.....	58
Figura 17 – Exemplo de perfil transversal obtido com o ADCP (seção 6).....	59
Figura 18 – Representação espacial e intensidade da erosão.....	65
Figura 19 - Ocorrência de processos erosivos no barranco (Seção 3).....	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das seções avaliadas.....	47
Quadro 2 – Total precipitado e dia dos principais eventos ao longo do período monitorado.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média da densidade aparente em cada uma das seções avaliadas.....	62
Tabela 2 - Síntese da erosão e deposição de sedimentos nas seções monitoras entre 10/2010 à 01/2012.....	63
Tabela 3 - Dinâmica da remoção/deposição de sedimentos ao longo do período monitorado.....	67
Tabela 4 - Análise textural do material das margens do Rio Guabiroba.....	70
Tabela 5 - Análise granulométrica setorizada (seção 2).....	71
Tabela 6 - Análise granulométrica setorizada (seção 4).....	72
Tabela 7 - Análise granulométrica setorizada (seção 6).....	73
Tabela 8 - Análise granulométrica setorizada (seção 7).....	73
Tabela 9 - Média da resistência do cisalhamento em cada uma das seções avaliadas.....	75
Tabela 10 - Variação da resistência do barranco ao longo do perfil vertical dos setores avaliados das margens do rio Guabiroba.....	76
Tabela 11 - Média da declividade do barranco em cada uma das seções avaliadas.....	78
Tabela 12 - Variação da declividade da margem ao longo do perfil vertical do barranco.....	79
Tabela 13 - Características do Rio Guabiroba nas seções monitoradas.....	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo Geral.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1. Canal Fluvial.....	16
3.2. Zona ripária e ambiente fluvial.....	21
3.3. Erosão de margens.....	27
4. ÁREA DE ESTUDO.....	32
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
5.1. Descrição geral das seções avaliadas.....	45
5.2. Mensuração da erosão das margens.....	48
5.3. Parâmetros físicos das seções avaliadas (textura do material do barranco, resistência da face do barranco ao cisalhamento, declividade do barranco e características do canal fluvial).....	53
5.3.1. Análise textural do material do barranco (granulometria).....	53
5.3.2. Resistência ao cisalhamento.....	55
5.3.3. Declividade.....	56
5.3.4. Características do canal fluvial.....	57
5.3.5. Análise dos dados.....	59
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
6.1. Quantificação da erosão das margens.....	60
6.1.1. Precipitação ao longo do período de monitoramento da erosão.....	60
6.1.2. Erosão de margens plenas.....	62
6.2. Caracterização textural do material dos barrancos (granulometria).....	70
6.3. Resistência dos barrancos frente ao cisalhamento.....	74
6.4. Declividade do barranco.....	78
6.5. Características do canal fluvial nos trechos monitorados.....	80
6.6. Classificação dos processos erosivos ocorrentes nas margens.....	82
7. CONCLUSÕES.....	85
8. REFERÊNCIAS	88
9. ANEXOS	94

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a crescente apropriação dos recursos naturais, bem como a forma desordenada de se ocupar o solo, tem influenciado em uma série de danos ao ambiente.

Entre os diversos danos ambientais oriundo de tal processo, destaca-se a degradação dos solos e recursos hídricos, os quais são essenciais para a sobrevivência na Terra.

A expansão das fronteiras agropecuárias não só no Brasil, mas no mundo, fez com que uma série de áreas antes vegetadas fora substituídas por atividades econômicas como agricultura, pecuária, reflorestamentos, etc.

É reconhecido que a influencia antrópica acelera significativamente a erosão e conseqüentemente a sedimentação para dentro dos canais fluviais, alterando assim a dinâmica dos mesmos.

Os processos erosivos podem ocorrer tanto nas vertentes como nos canais fluviais, de modo que tais ambientes apresentam conectividade e significativa complexidade, pois além das alterações que as encostas geram na dinâmica fluvial e, conseqüentemente nas formas da paisagem, pode ainda transferir contaminantes de uma área para outra através dos sedimentos incorporados ao fluxo.

Os processos de erosão em canais fluviais ocorrem de forma dinâmica na paisagem, podendo se apresentar no leito, nas margens ou nas cabeceiras dos rios (TUYSUZ, 2005 *apud* Silva *et al.*, 2007).

A quantidade de canais fluviais distribuídos pelo território nacional e a forma de ocupação dos solos nas suas adjacências é preocupante, um exemplo disso é a atual discussão em torno do novo código florestal, com proposta de redução da vegetação ciliar nas margens de pequenos canais.

Para Rocha (2002), a erosão das margens encontra-se entre os processos mais dinâmicos da paisagem. O monitoramento deste processo torna-se de significativa importância devido à prevenção de desmoronamentos de barrancos em áreas urbanizadas, bem como pela importância econômica, evitando a perda de terrenos em áreas rurais e urbanas (SOUZA e CUNHA, 2007).

A dinâmica das margens é diretamente influenciada por parâmetros como: composição dos sedimentos, hidrodinâmica do fluxo, morfologia da margem e por características ambientais (SOUZA e CUNHA, 2007).

O processo de erosão das margens é resultado da relação das características hidrodinâmicas somadas às características da margem, envolvendo aspectos físicos e morfométricos dos barrancos. Assim, os aspectos determinantes das taxas de erosão são diretamente influenciados pelo uso da terra nas adjacências do canal (zonas ripárias).

Em áreas de constante desmatamento, ou que apresente substituição de áreas vegetadas por outras formas de usos da terra (agricultura, pecuária, etc), a erosão das margens e consequentemente a dinâmica sedimentológica dos rios passa a ser mais ativa.

A maioria dos trabalhos publicados em torno da erosão de margens tem como foco o estudo de grandes canais, onde as mudanças morfológicas são avaliadas a partir de técnicas de sensoriamento remoto somadas à quantificação da magnitude da erosão.

Os estudos de erosão de margens em canais fluviais de menores dimensões, embora apresente os mesmos princípios dos estudos em grandes canais, apresenta ainda peculiaridades distintas dos sistemas maiores.

O entendimento dos processos geomórficos em rios menores, também são de significativa importância, tendo em vista a grande quantidade de sistemas fluviais com tal característica dispostos pelo território nacional e a baixa quantidade de pesquisas realizadas nessas áreas.

Esses ambientes fluviais (pequenos canais) são ainda de grande importância para o avanço dos estudos em geomorfologia fluvial, pois em canais fluviais menores, torna-se possível aumentar a escala de análise a fim de se compreender a dinâmica erosiva com maior clareza e grau de detalhe.

Assim, tendo em vista a diversidade de formas de uso da terra nas margens do rio Guabiroba, onde em alguns casos observa-se a substituição da vegetação ripária por plantações e pastagem, o presente trabalho buscou avaliar a dinâmica da erosão em setores de margens planas ao longo do rio Guabiroba, afluente do Rio das Pedras, principal fonte de abastecimento público do município de Guarapuava-PR. Neste sentido, a preservação destes corpos hídricos, torna-se importante não só

para os moradores das localidades próximas ao rio, como para a população em geral.

O estudo em questão, somado a outros trabalhos que vem sendo realizados na bacia do Rio Guabiroba, é de suma importância para o entendimento do balanço de sedimentos ocorrente em tal bacia, bem como para o entendimento da dinâmica geomorfológica da bacia como um todo.

O presente trabalho vem ainda contribuir no sentido de disponibilizar um estudo de caso referente à erosão de margens de canal fluvial de pequeno porte disposto sobre material basáltico na região centro sul do estado do Paraná (terceiro planalto paranaense).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar a dinâmica da erosão em segmentos de margens plenas ao longo do Rio Guabiroba – Guarapuava/PR.

2.2. Objetivos Específicos

Quantificar a erosão das margens do rio Guabiroba;

Caracterizar parâmetros físicos das seções avaliadas ao longo do rio Guabiroba (textura do material do barranco, resistência da face do barranco frente ao cisalhamento, declividade do barranco e características do canal fluvial);

Classificar os processos de erosão das margens do rio Guabiroba.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Canal fluvial

Os canais fluviais desde muito tempo sempre apresentaram caráter condicionante da própria vida humana; civilizações antigas cresceram às margens de grandes rios (CUNHA, 2007).

Suguio e Bigarella (1990) destacam também o florescimento de civilizações antigas às margens de grandes rios como o Tigre e o Nilo. Os mesmos autores destacam ainda, a importância dos rios na antiguidade para a penetração do homem em direção ao interior dos continentes.

Atualmente, os rios ainda apresentam características fundamentais para a sobrevivência da espécie humana, principalmente no que diz respeito ao abastecimento de água, irrigação e na produção de energia elétrica (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

Os primeiros estudos realizados sobre a tentativa de se entender o funcionamento e evolução de ambientes fluviais, deram origem a diversas teorias e refutações, com destaque para a teoria sobre a origem dos vales fluviais desenvolvida no século XVIII, onde os vales fluviais eram resultado de uma ação catastrófica, isto é, os rios passavam a drenar vales anteriormente formados. Porém com a refutação de tal teoria no fim do mesmo século, estabeleceu-se o princípio que os rios erodem para formar seus próprios vales (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

Destacam-se também estudos como os de Sorby (1859) e Powell (1876) *apud* (SUGUIO e BIGARELLA, 1990), onde o primeiro preocupou-se com estudos das formas do leito, enquanto que o segundo estabeleceu o conceito de nível de base de erosão fluvial, dando origem à idéia de ciclo de erosão que, na fase final, conduziria à peneplanização do relevo.

Neste sentido, Davis (1909) sistematizou e integrou as contribuições de autores anteriores num princípio geomorfológico de denudação fluvial, conhecido como ciclo de erosão, onde o rio se desenvolveria por sucessivos estádios

denominados de juventude, maturidade e senilidade (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

Sugio e Bigarella (1990) ressaltam que o estudo dos processos fluviais sofreu grande impulso graças a trabalhos de pesquisadores quer no campo da Engenharia Hidráulica, como também no campo das Geociências.

Desta forma a Geomorfologia Fluvial, ganha cada vez mais destaque no âmbito de pesquisas que relacionam os estudos dos cursos de água e o das bacias hidrográficas. Enquanto o primeiro se detém nos processos fluviais e nas formas resultantes, o segundo considera as principais características das bacias hidrográficas que condicionam o regime hidrológico. Tal ciência adotou uma perspectiva temporal para as mudanças fluviais e se preocupando com as modificações decorrentes da maior atuação do homem sobre o ambiente fluvial (CUNHA, 2007).

Os canais fluviais podem se manifestar de formas distintas na natureza, de modo que estas formas são expressas pela fisiografia fluvial, a qual abrange os tipos de leito, de canal e rede de drenagem.

O leito fluvial é compreendido pelo espaço ocupado pelo escoamento das águas. O leito pode ser classificado como leito menor, o qual corresponde à parte do canal ocupada pelas águas e cuja frequência impede o crescimento da vegetação; leito de vazante, sendo aquele ocupado pelo escoamento das águas de vazante; leito maior, também denominado leito maior periódico ou sazonal, sendo este ocupado pela água do rio regularmente e, pelo menos uma vez ao ano durante as cheias e por fim o leito maior excepcional, que por sua vez é ocupado durante as grandes cheias. Tal leito é ocupado em intervalos irregulares, podendo se estender a algumas dezenas de anos (TRICART, 1966).

Cunha (2007) ressalta que o padrão de canais associa-se à fisionomia que os mesmos apresentam ao longo de seu perfil longitudinal, podendo ser classificados como: retilíneos, anastomosados ou meandrante. Tais formas são definidas como resultado do ajuste do canal à sua seção transversal, refletindo o relacionamento entre às variáveis, descarga líquida, carga sedimentar, declive, geometria do canal (largura e profundidade), velocidade do fluxo e rugosidade do leito (CUNHA, 2007).

Alguns autores, entre eles Schumm (1967) *apud* Cunha (2007), relacionam as diferentes sinuosidades do canal muito mais com o tipo de carga detrítica do que com a descarga fluvial. De modo que os canais meândricos associam-se aos elevados teores de silte e argila, e os canais anastomosados a uma carga mais arenosa, enquanto que a sinuosidade diminui com o aumento da granulometria e com a carga detrítica. Ressalta-se que o padrão expressado pelos canais pode variar de acordo com as mudanças das condições em que o mesmo encontra-se ajustado. Dessa forma, um setor do canal pode ser anastomosado em período de ausência de chuva, quando há um excesso de carga sólida em relação à descarga, e exibir a fisionomia meandrante nos períodos de cheia (CUNHA, 2007). Destacam-se ainda, trabalhos de outros autores, relacionados a classificações do padrão de canais, entre eles, Jakson (1834), Peale (1879), Leopold e Wolman (1957), Leopold (1964), Keller (1971; 1972;1978) *apud* (CUNHA, 2007).

Entre os diversos trabalhos no sentido de hierarquizar os canais fluviais destaca-se o sistema de Horton (1945), modificado por Strahler (1952), o qual se encontra em uso corrente (SUGUIO e BIGARELLA, 1990). Neste sistema, os canais de primeira ordem são os que não possuem tributários; os de segunda ordem recebem somente afluentes de primeira ordem, já os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também podem receber afluentes de primeira ordem, os canais de quarta ordem por sua vez, recebem tributários de terceira ordem e, também de ordem inferior (SUGUIO e BIGARELLA, 1990) e assim sucessivamente.

No que diz respeito à dinâmica desempenhada pelos canais fluviais, torna-se de significativa importância o entendimento dos aspectos hidrológicos e da geometria hidráulica. Tais fatores envolvem desde o ciclo hidrológico e abastecimento dos canais fluviais pelas águas superficiais e subterrâneas, até os estudos da relação entre vazão, velocidade do fluxo, forma do canal, carga de sedimentos e declividade, sendo estes fatores, os responsáveis pelo ajuste do canal (CUNHA, 2007).

A velocidade das águas, por exemplo, é resultado da relação entre declividade do perfil longitudinal, volume das águas, forma da seção transversal, coeficiente de rugosidade do leito e viscosidade da água. Já as alterações na eficiência do fluxo é resultado do aparecimento de obstáculos no interior dos canais,

de modo que quanto mais lisa for à calha maior será a eficiência do fluxo. A modificação granulométrica do material do leito também serve como indicador de alterações na energia do fluxo (CUNHA, 2007) e conseqüentemente no potencial erosivo do rio.

CHRISTOFOLETTI (1980) aponta que, em direção à jusante, há aumento proporcional da largura, da profundidade e da velocidade das águas. O autor indica o aumento da profundidade e da largura como responsáveis pelo incremento nos valores de raio hidráulico e, concomitantemente, na diminuição relativa da influencia exercida pela rugosidade no que diz respeito à obstrução e resistência do fluxo devido à granulometria dos sedimentos, da topografia do leito e do perfil transversal do canal.

As formas resultantes da erosão do leito e das margens de canais refletem o ajustamento aos débitos que fluem através de determinada seção transversal. Tendo em vista a ação exercida pelo fluxo sobre os materiais rochosos que compõe o leito e a margem, as dimensões do perfil transversal do canal são controladas pelo equilíbrio entre as forças erosivas de entalhamento e os processos agradacionais que depositam materiais no leito e em suas margens (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As flutuações da vazão e a conseqüente ampliação da área do barranco em contato com o fluxo, esta associada às características da precipitação e à resposta hidrológica do rio. Quando a vazão do canal atinge todo o limite da calha disponível, dá-se o nome de nível de margens plenas ou débito de margens plenas.

Christofoletti (1980) define débito de margens plenas (*"bankfull discharge"*) como o débito que preenche, na medida justa, o canal fluvial, e acima do qual ocorrerá transbordamento para a planície de inundação.

Leopold *et al.* (1964), indicam a altura da planície de inundação como limite do estágio de margens plenas. O nível de margens plenas também pode ser definido pelo limite em que a vegetação se estabelece de maneira continua e definitiva. O nível de margens plenas corresponde ao estágio das cheias que ocorrem com frequência de 1,58 anos de intervalo (CHRISTOFOLETTI, 1980).

De acordo com Fernandez (2003) o nível de margens plenas demarca o limite entre os processos fluviais que modelam o canal e os que constroem a planície de inundação (FIGURA 1).

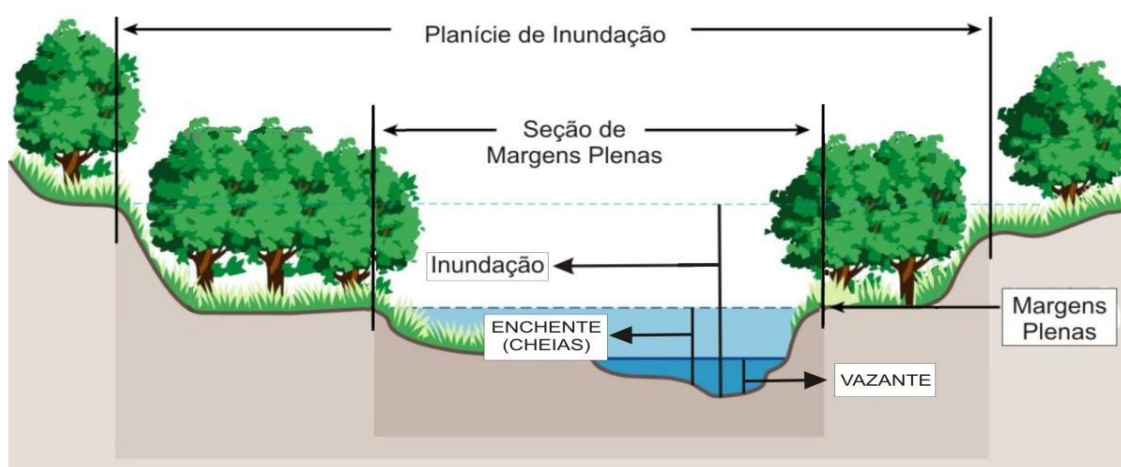


Figura 1 – Representação de níveis de leito e de margem ocupados pela vazão.

Fonte: Fiswg (1998) adaptado por (DIAS-OLIVEIRA,2011).

Novo (2008), a partir do conceito de diversos autores define nível de inundação de margens plenas até o nível de erosão ativa das margens do canal. Apresenta limite de ocupação por vegetação de forma perene, mesmo que inundada. O fluxo de inundação dominante no canal em períodos de recorrência é de 1 a 2 anos. A autora ressalta ainda a existência do nível de inundação excepcional, porém este ocorre com baixa frequência (3 a 4 vezes por século).

Assim, a flutuação do nível da vazão ao longo do tempo, e consequentemente o contato com maior ou menor porção da margem dependendo das condições hidrológicas, vai influenciar nos processos geomórficos que ocorrerá na mesma.

Neste sentido, os barrancos localizados em setor de margens plenas, em período de vazante são influenciados muito mais pelos processos erosivos de encostas, do que pelos processos fluviais. Muitas vezes, algumas porções das margens plenas são submetidas a processos fluviais apenas em ocasiões excepcionais e por pouco intervalo de tempo.

Em canais de grande porte, as características da dinâmica fluvial são mais determinantes na erosão, quando comparada com canais pequenos. Nos grandes rios um evento expressivo de cheia do canal pode levar em seu fluxo significativa

quantidade de materiais das margens sem levar em consideração as características das mesmas.

Nos canais fluviais menores, a degradação dos mesmos associa-se intimamente à dinâmica e à fragilidade das zonas ripárias. Assim a preservação destas áreas torna-se de grande importância para o equilíbrio da paisagem.

3.2. Zona ripária e ambiente fluvial

Dá-se o nome de zonas ripárias às áreas próximas aos corpos hídricos. De acordo com The Japan society of Erosion Control Engineering (2000) *apud* (KOBIYAMA e CHAFFE, 2009, p.181), as zonas ripárias podem ser definidas da seguinte forma:

Zona próxima a rios, lagos, pântanos, etc. Esta zona influencia fortemente a transferência de energia, nutrientes, sedimentos, etc, entre os ecossistemas terrestre e aquático. Incluem planície, vertente, vegetação, e a estrutura subterrânea onde a água subterrânea se movimenta.

Gregory *et al.* (1991), definem zona ripária como o local de interface entre os ecossistemas terrestre e aquático, sendo ela um ambiente ecótono. Tal área estende-se horizontalmente até o limite que a inundação alcança, e verticalmente até o topo da copa da vegetação. Esta área desempenha ainda a função de corredor para movimento de animais dentro do sistema de drenagem.

Devido à localização das zonas ripárias, muitos são os termos utilizados para se referir a tais áreas, entre eles, destaca-se mata ciliar, floresta de galeria, vegetação ripária, floresta de condensação, etc. Uma ampla discussão em torno da melhor terminologia para se referir a essas áreas foi realizada por Kobiyama (2003).

A importância das zonas ripárias destaca-se pela estabilização de taludes e encostas, a manutenção da morfologia do rio e proteção a inundações, retenção de sedimentos e nutrientes, mitigação da temperatura da água e do solo, fornecimento de alimento e habitat para criaturas aquáticas, manutenção de corredores

ecológicos, paisagem e recreação, fixação do gás carbônico e interceptação de escombros rochosos (SILVA, 2003 *apud* KOBIYAMA e CHAFFE, 2009).

As zonas ripárias apresentam significativa sensibilidade e ao mesmo tempo importância no equilíbrio dos ambientes fluviais. Além da importância ecológica desempenhada pelas zonas ripárias, as mesmas influenciam consideravelmente nos processos geomorfológicos dos rios e nas áreas adjacentes.

Tendo em vista a estreita relação entre a vertente e o canal fluvial, é o uso da terra nas margens dos corpos hídricos que definirá a característica dos materiais que adentrarão no canal. Neste sentido a vegetação disposta sobre a zona ripária merece atenção especial em tal discussão.

Para Benedito (2001) a cobertura vegetal promove a conservação da biodiversidade, gera benefícios sociais, fornece inimigos naturais contra pragas e doenças no cultivo agrícola, atenua mudanças climáticas, e auxilia no controle de enchentes.

A vegetação desempenha a função de filtro, barrando materiais das encostas (sedimentos e detritos orgânicos), contribui na agregação das partículas dos solos que compõem as margens dos rios, através das raízes e do acréscimo de matéria orgânica, aumentando a resistência frente aos processos erosivos e mantém a umidade do material evitando o rompimento de partículas do solo por meio de variações da temperatura. Por outro lado, ela fornece seus próprios detritos ao fluxo dos rios, o que influencia de forma significativa nos processos geomorfológicos dos canais e conseqüentemente na reestruturação da paisagem.

Vários estudos destacam a importância da vegetação ripária em diversas funções ecológicas, como por exemplo, na estabilização de ribanceiras do rio, no desenvolvimento e manutenção de um emaranhado radicular de raízes, que desempenha a função de filtro entre os materiais oriundos das encostas e o ecossistema aquático, contendo assim a erosão das margens. Proporciona ainda cobertura e alimentação para peixes e outros componentes da fauna aquática e, através de suas copas, intercepta e absorve a radiação solar, contribuindo para a estabilidade térmica dos pequenos cursos d'água (CICCO & ARCOVA, 1999 *apud* HINKEL, 2003).

Lisle (1986) mostra em seu trabalho uma série de estudos que analisaram a influência de grandes escombros (troncos, galhos e raízes superior a 10 cm de diâmetro) na natureza física de ecossistemas, sendo estes escombros o principal componente que afeta no comportamento das florestas e formas de riachos. Em termos de funcionalidade ecológica o trabalho de Lisle (1986) mostra que galhos e troncos em riachos melhoram a qualidade e a quantidade de habitat dos peixes fornecendo cobertura e pela variação da velocidade de fluxo e profundidade.

Montgomery *et al.* (2003), indica que os escombros lenhosos podem influenciar de três maneiras nos processos geomorfológicos em canais fluviais: alteração no armazenamento e transporte de sedimentos, na dinâmica hidrológica do canal e na morfologia fluvial. Estes diferentes processos são oriundos de efeitos diretos e indiretos que variam no tempo e no espaço

Os efeitos diretos da madeira no interior do rio podem ser frequentemente observados em pequenas escalas, pois os efeitos indiretos geralmente se manifestam em grandes espaços e escala temporal. Os efeitos indiretos têm sido mais amplamente ocasionados e agravados por mudanças históricas sendo geralmente bem menos reconhecidos (MONTGOMERY *et al.*, 2003).

Quando uma árvore cai em um rio ela pode permanecer intacta ou quebrar em partes menores, mais móveis. Dependendo do tamanho da árvore e do tamanho do canal em que caiu, a árvore pode permanecer estável no local que caiu ou próxima de onde entrou no canal ou pode ser transportada à jusante e se chocar contra um banco de sedimento ou mesmo contra a margem. Assim, muitos dos efeitos geomorfológicos de escombros lenhosos em canais fluviais, surgem a partir da influência dos grandes detritos na obstrução do fluxo e do transporte de sedimentos (MONTGOMERY *et al.*, 2003).

Os depósitos de escombros (folhas, galhos e troncos) dão origem a eficientes barragens que obstruem parcial ou totalmente a passagem de sedimentos de fundo, contribuindo de forma notável para a erosão e sedimentação. Estes detritos quando apresentam diâmetro superior a 10 cm recebem por alguns autores, entre eles Swanson e Lienkaemper (1978) o nome de grandes detritos orgânicos (GDO) (FERNANDEZ, 2003b).

A presença da madeira nos rios influencia na geomorfologia fluvial alterando tanto o sistema hidráulico quanto a distribuição de fluxo no canal, alterando assim a distribuição e transporte de sedimentos. Vários estudos descrevem os significativos efeitos geomorfológicos dos escombros em pequenos canais (ABBE *et al.*, 2003).

Nakamura e Swanson (1993) indicaram a função dos escombros lenhosos na alteração da microtopografia de canais associado às dimensões do trecho do rio. Quando uma árvore de grande diâmetro cai em um córrego de curso superior nas montanhas, acumula troncos oriundos da montante para formar uma represa natural (piscina). Esta formação de represas naturais é mais perceptível nos córregos com 5-10m de largura, e muitas vezes não é visto em rios de maiores dimensões.

Em grandes rios, os detritos orgânicos são geralmente mantidos perto de bancos ou nas barras de cascalho, orientadas no sentido longitudinal de acordo com o fluxo de água e o relevo do rio (NAKAMURA e YAMADA, 2005).

Para Binda e Lima (2008) a dinâmica de transporte, deposição e erosão intra-canal é comandada pela distribuição da tensão de cisalhamento no leito. Muitas variáveis coletivamente denominadas de rugosidade podem influenciar essa distribuição. A rugosidade do canal exerce resistência ao fluxo e pode ser atribuída a diversos elementos, sendo os principais: granulometria da carga de leito, formas de leito, vegetação subaquática e detritos lenhosos. Estes últimos têm sido considerados mais recentemente como elementos que podem condicionar a resistência do fluxo de modo substancial, implicando na própria caracterização granulométrica dos sedimentos do leito.

O efeito geral dos detritos sobre a dinâmica do fluxo e, conseqüentemente, sobre a distribuição locacional dos processos de sedimentação e erosão dependerá da relação entre as características geométricas do canal (largura, profundidade, retinidade) e das características dos detritos lenhosos (forma, orientação, tamanho e densidade de peças) (BINDA e LIMA, 2008).

Vários estudos mostram também que quando os escombros são retirados do leito dos córregos, a capacidade de transporte de sedimentos supera as forças de deposição, fazendo com que o leito volte à terra firme (ANDRUS *et al.*, 1988, ROBISON e BESCHTA 1990; MONTGOMERY *et al.*, 1995; ABBE e MONTGOMERY 1996; BEECHIE e SIBLEY, 1997 *apud* ABBE *et al.*, 2003).

As características da vegetação ripária influenciam diretamente na dinâmica da ocorrência dos processos geomorfológicos em ambientes fluviais. Os detritos lenhosos que atuam na morfologia fluvial e assim na dinâmica hidrológica e ecológica destas áreas, são oriundos da vegetação ripária, de forma que a quantidade de material que chega até o canal é resultado das características da vegetação e do tipo de atuação (impacto) sobre ela, determinando assim a aceleração ou a redução da entrada destes materiais nos leitos de rios.

Estudos realizados na bacia do rio Toikanbetsu no Japão buscou investigar a distribuição e a quantidade de grandes escombros lenhosos em zonas ribeirinhas em áreas sem cobertura florestal, floresta secundária e floresta de crescimento antigo. O volume e o número de grandes escombros lenhosos diferenciam significativamente entre as três classes: muito baixa nas áreas de não cobertura florestal, significativamente maior nas florestas antigas e, intermediária nas florestas secundárias em crescimento (NAKAMURA e YAMADA, 2005).

A presença de escombros no fluxo dos canais pode influenciar ainda nos processos de erosão das margens dos rios, pois o choque destes materiais sobre as margens pode levar ao colapso de grandes porções de materiais, levando assim a desestabilização dos barrancos (talude).

A criação de obstáculos ao fluxo por parte dos escombros leva o canal à busca de um novo ajuste. Tal processo foi descrito de forma inversa por Dias e Thomaz (2011), onde a partir da remoção de escombros do leito do rio, observou-se o rompimento do talvegue até então instaurado e um ajuste do canal às novas condições. Quando se trata da entrada de escombros no leito gerando grandes depósitos e conseqüentemente a formação de bancos de sedimentos e até mesmo ilhas no interior dos canais fluviais, faz com que a diminuição do volume da área de escoamento das águas leve uma maior pressão do fluxo sobre as margens, aumentando assim o potencial erosivo.

Mesmo reconhecendo a influência da vegetação ripária sobre os processos geomorfológicos de canais fluviais, admite-se a grande importância em preservá-las para manter o equilíbrio dos rios, pois os processos desencadeados a partir dos materiais fornecidos pela zona ripária apresentam maior naturalidade e equilíbrio quando comparado com áreas desnuda de tal vegetação e submetidas a outros usos do solo.

Nas áreas rurais observa-se com frequência a retirada da vegetação ripária para a implantação de culturas agrícolas e pastagens. Tal fato se manifesta tanto em grande, quanto em pequenas propriedades.

Sobrinho *et al.* (2008), comparou a produção de sedimentos e a consequente entrada destes materiais no leito do riacho Viana no município de Sobral – CE, em 3 áreas distintas ao longo do mesmo canal. Uma delas com faixa de mata ciliar de 3 m, outra com 1,5 m e por fim, uma sem cobertura vegetal ciliar. O autor constatou que a carga sedimentar diminui à medida que aumenta a faixa da vegetação. Neste estudo ficou evidente que a vegetação atua como barreira de proteção aos sedimentos, principalmente no sentido de reduzir a velocidade do escoamento e age como filtro, retendo parte dos sedimentos.

Dias e Thomaz (2011b), avaliaram os efeitos do gado em margens de canal fluvial em Sistema de faxinal no município de Guarapuava-PR. Com o experimento conduzido os autores concluíram que as atividades de pastoreio em sistema de Faxinal influenciam de forma considerável tanto na geomorfologia de encostas quanto na geomorfologia fluvial e por extensão na dinâmica dos rios. De acordo com os autores, as áreas ripárias utilizadas para pastoreio apresentam maior sensibilidade frente aos processos erosivos, pois o gado remove a vegetação das margens, eliminando assim a função de filtro exercida pela vegetação, tornando mais frequente a deposição de sedimentos oriundos da encosta no interior dos riachos (conectividade encosta/canal fluvial).

As estradas rurais também estão entre as formas de uso da terra que mais aceleram os processos fluviais. Em estudo realizado em uma cabeceira de drenagem na Bacia do Rio Guabiroba, Thomaz e Melquíades (2009), observaram que os materiais das estradas e do leito dos rios apresentam similaridade, indicando a contribuição das estradas na deposição de sedimentos no interior de canais fluviais. Thomaz *et al.* (2011) constataram que as estradas rurais representaram em torno de 46,5% da proveniência de sedimentos em uma cabeceira de drenagem.

As estradas influenciam consideravelmente nos processos fluviais devido à supressão de áreas de vegetação nas proximidades dos canais que foram substituídas pelas mesmas. Estas estradas conectadas com a rede de drenagem aceleram de forma significativa a entrada de materiais no leito dos rios. Dias *et al.* (2010), por meio de análise de coloração realizada entre materiais do leito do rio e

das estradas, concluíram que as estradas fornecem materiais grosseiros para o leito dos rios.

Atividades distintas podem ainda influenciar nos ambientes ripários, como é o caso apresentado por Souza *et al.* (2008), onde a atividade garimpeira às margens do rio Peixoto de Azevedo, no município do mesmo nome em Mato Grosso, está ocasionando sérios danos ambientais (erosão e assoreamento).

Assim, tendo em vista a atuação do homem sobre os ambientes naturais por meio das atividades de uso do solo, torna-se perceptível a influência do mesmo na aceleração de processos erosivos e consequentemente na dinâmica de canais fluviais, podendo ser evidenciado principalmente com a degradação das zonas ripárias, as quais por sua vez se portam como reguladores naturais dos ambientes fluviais.

No âmbito legislativo, o Código Florestal Brasileiro em vigência define zonas ripárias como áreas de preservação permanente (APP). A Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965, em seu artigo 1º, no § 2º, entende-se por: II - Área de preservação permanente: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas. Porém, cabe aqui ressaltar que estas áreas encontram-se em meio a um conflito jurídico, econômico e ambiental (SOUZA e MILLS, 1995), poucas vezes sendo preservadas como indica a legislação.

3.3. Erosão de Margens

A dinâmica morfológica da bacia hidrográfica é controlada pelos processos de remoção, transporte e deposição de sedimentos. A conectividade entre as vertentes e o canal fluvial faz com que os sedimentos de um ambiente sejam transferidos a outro.

Os sedimentos das encostas tendem a ser transferidos para o fundo de vales e consequentemente para os canais fluviais. Após adentrar no canal, o sedimento

da encosta pode ser depositado no leito ou mesmo transportado à jusante. Se tal sedimento chegar a ser transportado até a foz pelo fluxo do rio o mesmo passará a fazer parte de um sistema ainda maior e mais complexo.

O transporte ou a deposição dos sedimentos no leito será determinado pelas características das partículas e do potencial erosivo do fluxo, sendo necessário superar o limite da velocidade crítica para colocar partículas de diferentes tamanhos em movimento (HJULSTROM, 1935).

Os sedimentos disponíveis no canal também podem ser provenientes de processos erosivos ocorridos no próprio rio. De acordo com Tuysuz (2005) *apud* (SILVA *et al*, 2007), a erosão fluvial pode ocorrer no leito, nas margens, ou nas cabeceiras dos rios. A erosão do leito é denominada erosão vertical e a das margens, erosão marginal (“lateral erosion”).

A erosão nas margens está entre os processos mais dinâmicos da paisagem, de modo que o entendimento dos mecanismos de atuação é fundamental para a explicação da evolução dos diversos elementos da geomorfologia fluvial, que por sua vez é determinante na evolução dos ecossistemas de canais fluviais e das planícies de inundação (ROCHA, 2002; SOUZA e CUNHA, 2007).

Os estudos dos processos de erosão marginal têm suma importância no entendimento da dinâmica dos canais fluviais, ao longo do tempo e do espaço. O estudo das magnitudes e variabilidade espacial na ocorrência destes processos têm também possibilitado o entendimento do relacionamento com a intensidade das alterações antrópicas na bacia hidrográfica (ARAUJO e ROCHA, 2009).

As taxas de erosão das margens são resultado de processos geomórficos que envolvem característica das margens e dos aspectos fluviais, de modo que o potencial erosivo do fluxo frente à capacidade do solo em resistir é o que determina a maior ou menor erosão.

Para Thorne e Tovey (1981) o processo de erosão é importante na definição da forma da margem, que por sua vez associado a outros fatores condicionam a erosão, como as propriedades físicas e químicas dos materiais das margens, o tamanho, a geometria e estrutura dos barrancos, as características hidrodinâmicas do fluxo, as condições climáticas, o alargamento e, algumas vezes, a migração do canal.

Desta forma, a capacidade de erosão das águas depende da velocidade e turbulência, do volume e das partículas transportadas em suspensão, saltação e rolamento, podendo a erosão das margens e do leito ser caracterizada pelas ações corrasiva, corrosiva e pelo impacto hidráulico, de modo que o equilíbrio fluvial será definido pela relação de igualdade entre a atuação da erosão, do transporte e da deposição de sedimentos (CUNHA, 2007).

A corrasão ou efeito abrasivo das partículas em transporte sobre as rochas e sobre as outras partículas tende a reduzir a rugosidade do leito, enquanto a ação corrosiva resulta da dissolução de material solúvel no decorrer da percolação da água ainda no solo (CUNHA, 2007).

O processo de corrasão se caracteriza pela retirada lenta e contínua de dos sedimentos das margens de forma gradativa pela ação das correntes e ondas. O atrito existente entre o fluxo de água e a face dos barrancos constitui este processo, assim pode ocorrer um aumento da erosão marginal caso exista um volume intenso do fluxo (ARAUJO e ROCHA, 2009).

De acordo com Christofolletti (1980), a erosão fluvial é realizada através dos processos de corrosão, corrasão e cavitação.

A *corrosão* engloba todo e qualquer processo químico que se realiza como reação entre a água e as rochas superficiais que com ela estão em contato. A *corrasão* é o desgaste pelo atrito mecânico, geralmente através do impacto das partículas carregadas pela água. A *abrasão* da superfície pela qual a água escoar é assinalada pelo suave polimento das rochas aflorantes no canal. A *evorsão* representa um tipo especial de corrasão, originada pelo movimento turbilhonar sobre as rochas do fundo do leito. Depressões de vários tamanhos podem ser escavadas, geralmente de forma circular, tais como as conhecidas “marmitas de gigante”. O terceiro processo, a *cavitação*, ocorre somente sob condições de velocidades elevadas de água, quando as variações de pressão sobre as paredes do canal facilitam a fragmentação das rochas (CHRISTOFOLLETTI, 1980., p.75).

Os processos de erosão das margens podem ocorrer ainda em forma de solapamentos, fendas e desmoronamentos. O processo de solapamento se caracteriza pela remoção dos sedimentos na base dos barrancos ou criação de pequenas cavidades localizadas aleatoriamente nas margens dependendo apenas do nível que o fluxo atinge nas cheias, enquanto que as fendas ou trincas resultam da ação erosiva dos fluxos sobre as margens, que ao remover os sedimentos podem

provocar fendas/trincas por alívio de pressão sobre as mesmas, podendo estes sedimentos desmoronar (ARAUJO e ROCHA, 2009b).

O desmoronamento por sua vez é a queda livre de blocos de sedimentos das margens, por efeito da gravidade a partir de faces verticais. Os desmoronamentos podem ocorrer por basculamento ou cisalhamento. O desmoronamento por basculamento ocorre quando o bloco desmorona sem ocorrer prévio solapamento. Já o desmoronamento por cisalhamento ocorre quando o bloco de terra desmorona seguindo o plano vertical do barranco (ARAUJO e ROCHA, 2009b).

Para Souza e Cunha (2007), o monitoramento da erosão das margens tem sua importância social como prevenção de desmoronamentos de barracos em áreas urbanizadas, bem como importância econômica, evitando a perda de terrenos em áreas rurais e urbanas, além de mostrar a dinâmica do canal em termos de erosão.

A distribuição da erosão marginal pode variar, notadamente, de um ponto para outro da margem porque as características morfológicas e sedimentológicas do talude podem variar e, além disso, quase sempre o ângulo de incidência da corrente na margem varia de um local para outro devido ao traçado do rio (HOLANDA *et al.*, 2007).

Para Cunha (2007), ao longo do perfil transversal, a velocidade e a turbulência das águas são também variáveis, definindo locais preferenciais de erosão e deposição das partículas. A autora também indica variação da velocidade do fluxo em diferentes profundidades do canal devido ao atrito.

De acordo com Carvalho (1994) a variabilidade da velocidade da corrente influencia também na variação da distribuição dos sedimentos ao longo da seção transversal, considerando que a velocidade é menor próximo às margens, além da disponibilidade de sedimentos e sua granulometria (FIGURA 2).

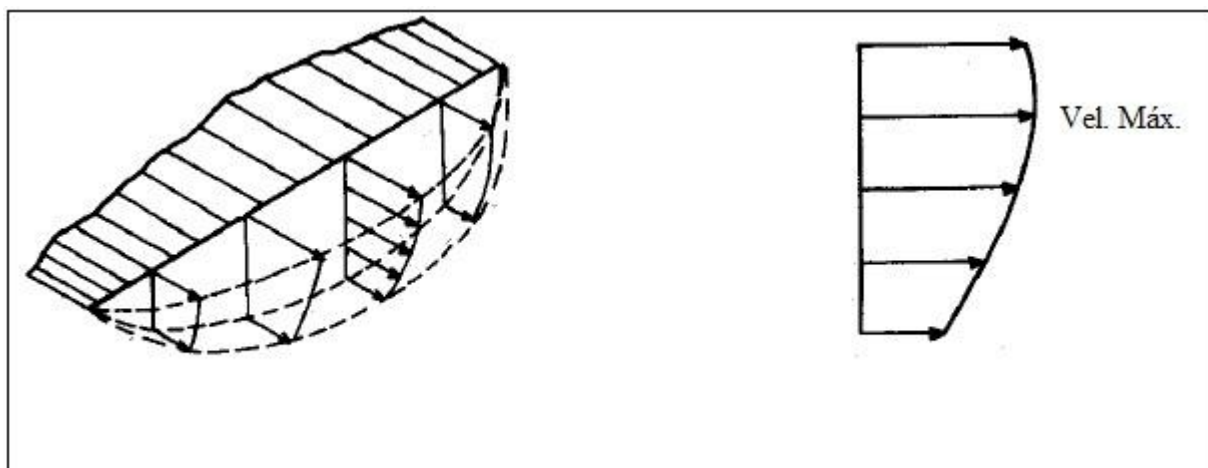


Figura 2 – Representação da variabilidade da velocidade do fluxo em um perfil transversal.

Fonte: Adaptado de Carvalho (1994).

Em canais de leito simétrico, em geral de padrão retilíneo, a velocidade máxima ocorre no centro do canal, diminuindo em direção às margens. Em leito assimétrico, de padrão meândrico, a zona de máxima velocidade e turbulência localiza-se nas proximidades das margens côncavas, decrescendo de valor em direção à margem de menor profundidade (convexa). Junto ao fundo do leito e as paredes laterais do canal localizam-se as menores velocidades e turbulências. As áreas de maiores turbulência refletem os desníveis representados pelas soleiras, depressões e obstáculos, como troncos de árvores e blocos rochosos, sendo ladeadas, em geral por uma zona de máxima velocidade (CUNHA, 2007).

4. ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Freitas (1999), bacia hidrográfica pode ser definida como 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.

A bacia hidrográfica é uma unidade física com limites definidos podendo estender-se por várias escalas espaciais, tornando-se um ecossistema hidrologicamente integrado, com componentes e subsistemas interativos (NASCIMENTO e VILAÇA, 2008).

A bacia do Rio Guabiroba possui uma área de 23,635 km², localizada a leste do centro urbano do município de Guarapuava – PR (LUIZ, 2008). De acordo com Binda (2009), a bacia situa-se entre as coordenadas (UTM): X: 45768 e 465816 e Y: 7186995 e 7191820 (FIGURA 3).

A bacia do Rio Guabiroba faz divisa ao Norte com a do Rio das Pedras e ao Sul com a dos Rios Iratim-Banas. A disposição predominante da bacia é de Leste para Oeste. Em uma escala de 1: 10000, a bacia do rio Guabiroba apresenta hierarquia fluvial de 4ª ordem com canais fluviais perenes (THOMAZ, 2005).

De acordo com o IAPAR (2000), o clima de Guarapuava e consequentemente da bacia do Rio Guabiroba pode ser classificado como subtropical mesotérmico úmido, sem estação seca, com verões frescos e inverno moderado. A temperatura média anual está entre 16 e 17°C. Com essas características, o clima regional, é classificado segundo Köppen, como Cfb - “Clima temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico) com verões frescos, temperatura média no mês mais quente (abaixo de 22°C) e sem estação seca”.

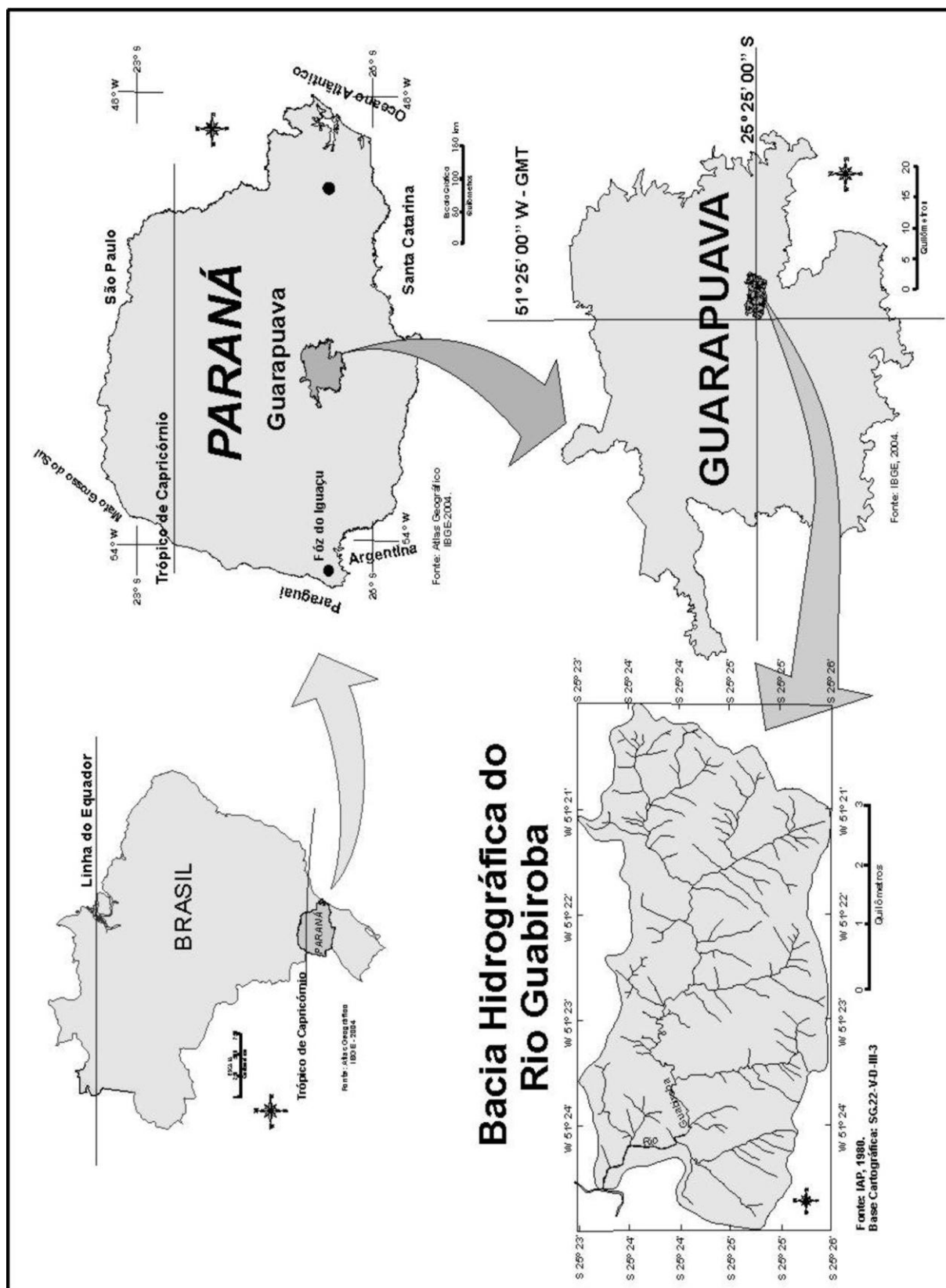


Figura 3 - Localização da área de estudo no âmbito da bacia do rio Guabirola
 Fonte: Thomaz (2005)

Binda (2009), analisando os dados da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) código 02551000, monitorada pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERSHSA), localizada a aproximadamente 7 Km da foz do Rio Guabiroba, referente ao período de 1954 a 2006 (exceção do ano de 1961 por falta de dados), constatou que a pluviosidade média no período avaliado foi de 1821,41 mm, distribuídos numa média de 116 dias com chuva.

Os anos mais chuvosos foram: 1983 (2644,4 mm), 1954 (2428,1 mm) e 1998 (2422,9 mm), enquanto os anos menos chuvosos foram: 1968 (1140,3 mm), 1985 (1261 mm) e 1978 (1278,7 mm). A amplitude entre a pluviosidade anual máxima (1983) e mínima (1968) foi de 1504,1 mm, valor muito próximo do precipitado no ano de 1962 (1505,3 mm), e superior ao total anual de 11 anos da série (1958, 1959, 1966, 1967, 1968, 1977, 1978, 1981, 1985, 1988 e 2006) (BINDA, 2009).

No que tange aos eventos pluviométricos excepcionais em 24 horas, ocorreram, no período estudado, 225 eventos acima de 50 mm. Desses eventos cerca de 153 (68%), estiveram entre 50 e 70 mm, 56 (25%) variaram entre 70 e 90 mm, 9 (4%) alcançaram entre 90 e 120 mm e apenas 7 (3%) foram superiores a 120 mm. Considerando as chuvas máximas em 24 horas, o evento excepcional ocorreu em 29 de maio de 1992, quando a precipitação foi de 184 mm, o que correspondeu a 8,16% da pluviosidade anual, em apenas um dia. Outros eventos de chuvas máximas ocorreram em 2 de abril de 1998 (128,2 mm), em 3 de setembro de 1957 e em 20 de dezembro de 1958 (126,2 mm) (BINDA, 2009).

Dias-Oliveira, (2011), após analisar os dados da Estação Agrometeorológica de Guarapuava (IAPAR) referente ao período de 1974 a 2009, constatou que a temperatura média anual de Guarapuava foi de 17,1°C e a pluviosidade média anual de 1923 mm. A partir do climatograma organizado pelo autor, pode-se observar a distribuição média da precipitação e da temperatura ao longo dos meses do ano (FIGURA 4).

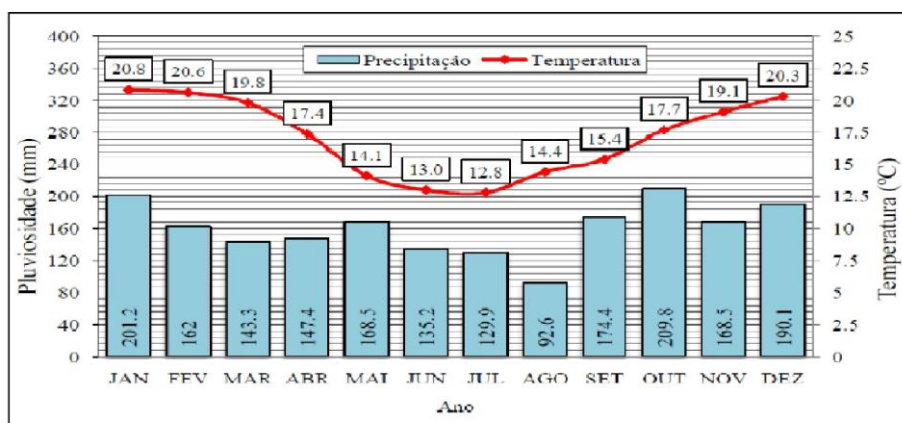


Figura 4 - Climatograma do município de Guarapuava entre os anos de 1976-2009.

Fonte: Dias-Oliveira (2011).

Luiz (2008) analisando o Atlas Geológico do estado do Paraná (MINEROPAR, 2001, CD-ROM), destaca que a litologia da área é composta por rochas pertencente ao grupo São Bento, formação Serra Geral, constituída por extensos derrames de rochas ígneas, predominando basaltos de idade jurássica-cretácica.

Nardy (1995) *apud* (BINDA, 2009) estudando a região central da Bacia do Paraná identificou e classificou as rochas da Formação Serra Geral em quatro unidades litoestratigráficas: 1) Unidade Básica Inferior (UBI); 2) Membro Chapecó – Unidade Ácida; 3) Membro Palmas – Unidade Ácida e 4) Unidade Básica Superior (UBS).

A bacia do Rio Guabiroba por sua vez está sendo esculpida mais especificamente na Unidade Básica Inferior, em rochas de natureza básica intermediária, normalmente basaltos toleíticos (de granulação muito fina a média) hipocristalinos (de coloração cinza escura a negra) maciços ou vesiculares/amigdalóides e acamamento ígneo mal desenvolvido (NARDY *et al*, 2002 *apud* BINDA, 2009). O mapa geológico da área em questão não fora aqui apresentado tendo em vista a incompatibilidade de escala, pois o mapa disponível que abrange a bacia não seria capaz de representar as áreas avaliadas.

A bacia do Rio Guabiroba encontra-se, mais especificamente sobre o Planalto da Foz do Areia, caracterizada por apresentar dissecação alta, topos alongados, vertentes retilíneas e côncavas, e vales estruturados em degraus (SANTOS *et al*, 2006 *apud* BINDA, 2009).

Thomaz (2008), também relatou a significativa dissecação do relevo da bacia do Rio Guabiroba, destacando a presença de vertentes côncavas, convexas e retilíneas, com presença de pequenas mesetas no topo. No geral, boa parte das áreas possui restrições morfopedológicas (solos rasos em encostas declivosas, impróprios para a agricultura), o que significa que os melhores solos estão nos fundos de vales onde é praticada a agricultura mecanizada.

Luiz (2008), a partir da análise integrada da litologia, relevo, solos e, uso da terra da bacia do Rio Guabiroba, delimitou 6 unidades de paisagem. As diferentes formas de combinação desses elementos se materializam como espaços morfológicos e fisionomicamente distintos. Cada um dos compartimentos delimitados, apresentou ainda 3 sub-divisões (alta vertente, média vertente e baixa vertente).

No que diz respeito às características pedológicas nas adjacências do Rio Guabiroba (setores de baixa vertente), destaca-se a presença de 4 situações distintas: Cambissolo, Neossolo Litólico, Gleissolo e Latossolo, podendo muitas vezes se manifestar em associação. Em alguns locais ocorre pedregosidade superficial e afloramento de rochas em grau variado (LUIZ, 2008). Tanto quanto o mapeamento geológico, o mapa pedológico que abrange a área também não se faz presente devido à incompatibilidade de escala do mapa existente, o qual não possibilita observar as características pedológicas da bacia do Rio Guabiroba em detalhe.

Na bacia hidrográfica do Rio Guabiroba ocorrem também depósitos aluvionares inconsolidados, os quais estão presentes em trechos com baixa declividade, o que permite o desenvolvimento de planícies de inundação, constituídas por materiais finos (silte e argila) e matéria orgânica (LIMA, 1999 *apud* BINDA 2009). O mesmo autor afirma que essas planícies de inundação, normalmente estreitas, apresentam interdigitações laterais com depósitos coluvionares das encostas.

Thomaz (2005), levando em consideração a variabilidade das formas do relevo e material, delimitou a bacia do Rio Guabiroba em 7 unidades geomorfopedológicas: Terraço Fluvial (TF) (8,65%); Vertente convexa I (VcI) (38,51%); Vertente convexa II (VcII) (17,60%); Vertente retilínea (Vr) (20,37%); Patamar (Pt) (6,64%); Patamar convexo (Pc) (5,46%) e Topo convexo (Tc) (2,79%).

Em termos de distribuição das unidades, verifica-se que os topos são mais frequentes no setor de Margem Esquerda (ME), entre o divisor das bacias dos Rios Guabiroba e Bananas. No setor de ME ocorrem mais os Pc, mais longos e declivosos, enquanto que no setor de Margem Direita (MD) predomina a unidade de Pt amplos e com menor declividade. O seguimento Vcl está presente em todos os setores da bacia. De modo contrário, a Vcll se estende em especial, de médio para alto curso. A unidade Vr também é mais frequente no setor de médio a alto curso, apesar de serem significativas às áreas existentes nos demais setores da bacia (THOMAZ, 2005).

Thomaz (2005) caracteriza o TF como a unidade mais bem definida, que se estende de médio para o baixo curso do rio Guabiroba. Essa unidade é interrompida por um “estrangulamento estrutural” no baixo curso (corredeira e formação de cachoeiras). Esta unidade se amplia novamente, próximo à confluência com o Rio das Pedras. Esse desnível de aproximadamente 40m em certa medida forma um compartimento suspenso (vale) marcando a transição abrupta entre os estratos de basalto (THOMAZ, 2005) (FIGURA 5).



Figura 5 – Formação de cachoeiras no Rio Guabiroba, caracterizando ruptura de declive no terraço fluvial.

Foto do autor

Thomaz (2005) indica as características morfométricas da bacia do Rio Guabiroba da seguinte forma: altitude média do terreno é em torno de 1050 m; a amplitude é de 310 m, sendo que 980 m é o ponto mais baixo no setor de confluência com o Rio das Pedras; a extensão aproximada do Rio Guabiroba é 9,2 Km; o desnível do rio é de 260 m conferindo um gradiente hidráulico de 0,028 m/m (2,8%); a densidade de drenagem é 3,18 Km/Km; a largura média da bacia é de 3,3 Km e o comprimento médio é de 7,0 Km.

O padrão do relevo e drenagem na bacia do Rio Guabiroba apresenta assimetria entre as margens. A margem direita possui distância menor (1,117 Km) entre o divisor da bacia e o canal fluvial principal. Em certos casos, essa distância chega a ser de apenas 0,6 Km. Em contrapartida, na margem esquerda essa distância é bem superior (2,412 Km) (THOMAZ, 2005).

Thomaz (2005) apresenta uma compartimentação da bacia do Rio Guabiroba em 16 sub-bacias, distribuídas ao longo dos diferentes setores da bacia definidos por diferenciações internas. As sub-bacias definidas por Thomaz (2005) se dispõe da seguinte maneira: setor do canal principal (sub-bacia 1); setor de nascentes (sub-bacias 3 e 4); setor de margem direita (sub-bacias 2, 7, 8, 12 e 16) e setor de margem esquerda (sub-bacias 5, 6, 9, 10, 11, 13, 14, e 15).

Tendo em vista a assimetria do vale, as sub-bacias da margem direita somam 3,248 Km² (13,7%) e as da margem esquerda 12,869 Km² (54,3%), o vale e as nascentes somam 7,607 Km² (32,0%). A amplitude altimétrica da margem direita é de 140 m, enquanto na margem esquerda, este valor atinge em média 164 m. A maior amplitude altimétrica das sub-bacias da margem esquerda indica que nesse setor as vertentes são mais longas. Esse comportamento se reflete na declividade média das vertentes que no setor direito é de 13% e no setor esquerdo é de 10%. Da mesma forma, a rede de drenagem é mais desenvolvida no setor esquerdo 40,90 Km (54,3%), contra 10,95 Km (14,5%) no setor direito. Ao todo a rede de drenagem do Rio Guabiroba soma em torno de 75,38 Km (THOMAZ, 2005).

A densidade de drenagem da bacia do Rio Guabiroba é de 3,18, enquanto a densidade das sub-bacias da margem direita é de 3,83 e na margem esquerda 3,41, nas nascentes 3,77 e no canal principal 2,78 (THOMAZ, 2005). O mesmo autor constatou que as densidades das sub-bacias são superiores ao valor da bacia,

quando esta é considerada no seu todo. Por outro lado, a densidade de drenagem das sub-bacias da margem direita é superior a dos demais setores.

A hipsometria da bacia apresentou 76,6% da área entre as altitudes de 1040 a 1200 m. Altitudes em torno de 1200 m somaram 8,2%, sendo mais frequentes nos setores de médio para alto curso, onde são restritas aos divisores principais da bacia. As menores altitudes ≤ 1040 seguem ao longo do Terraço Fluvial e perfaz 15% da área da bacia (THOMAZ, 2005) (FIGURA 6).

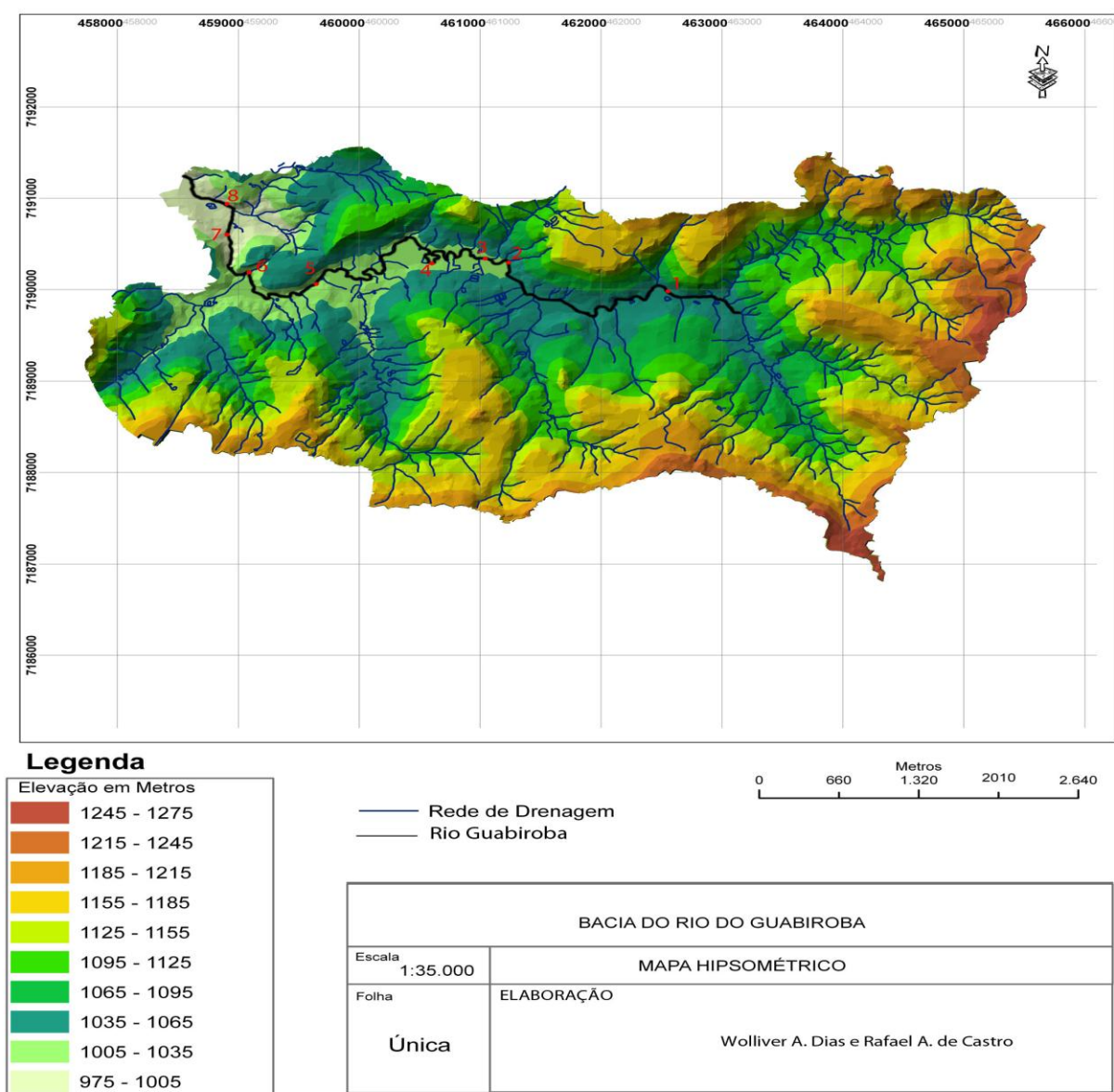


Figura 6 – Mapa hipsométrico da bacia do rio Guabiroba.

Quanto às declividades, ressalta-se que as classes entre 0 a 12% ($\leq 7^\circ$), as quais estão presentes em 30% da área da bacia, principalmente nos setores de Terraço Fluvial, Patamares, Topos e subsidiariamente em alguns setores de vertente convexa (I e II). As classes de declividade que estão entre 12 a 30% (7° a 17°), respondem por 49,7% da área da bacia, sendo mais frequentes nos seguimentos de vertentes convexas (I e II), geralmente em setores laterais aos Patamares (THOMAZ, 2005). As declividades $\geq 30\%$ ($\geq 17^\circ$) ocupam 20,25% da área da bacia. Essas declividades são representadas em geral por vertentes curtas, marcando ruptura brusca de declive entre um estrato de basalto e outro, dessa forma, elas formam extensas faixas contornando os Patamares estruturais. Os terrenos da bacia do Rio Guabiroba possuem declividade média predominante de (12 a 20%), a média/alta (20 a 30% e $\geq 30\%$). Essas três classes acumulam 70% da área da bacia (THOMAZ, 2005)..

Tendo em vista à extensão da Bacia sedimentar do Paraná, ocorrem variados domínios morfoclimáticos, a região Centro-Sul do estado do Paraná e, por extensão, Guarapuava está inserida no Domínio dos Planaltos Subtropicais com Araucárias (AB'SABER, 1970).

No que diz respeito à cobertura vegetal, ressalta-se que a vegetação da área de estudo é composta por formação florística de campo e da floresta de araucárias (LIMA, 1999 *apud* BINDA, 2009). Guarapuava caracteriza-se por uma paisagem composta pela associação de campo limpo (Estepe-gramíneo-lenhosa) e capões e matas de galeria com florestas de araucária (Floresta Ombrófila Mista) (MAACK, 1981 *apud* BINDA, 2009).

O Domínio da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) é subdividida por meio de dois critérios: Formação da superfície de dissecação e formação da superfície de acumulação. A área de estudo encontra-se em altitude superior a 900 m, nesse caso, dentro da “Superfície de Dissecação”, tendo como representantes possíveis a Formação Altomontana e Formação Montana (LEITE, 1995 *apud* THOMAZ, 2005).

A bacia do Rio Guabiroba encontra-se no subdomínio da Floresta Altomontana (altitude ≥ 800 m), sendo esta a mais típica e representativa da Floresta Ombrófila Mista na região Centro-Sul do Paraná. A presença da vegetação nestas áreas é controlada pelo clima (LEITE, 1995 *apud* THOMAZ, 2005), Para o autor, nas

condições da Floresta Altomontana, dois grupos distintos de formação podem ser caracterizados:

a) “comunidades com lauráceas onde o pinheiro se distribuía de forma esparsa por sobre bosque contínuo, onde 70% a 90% das árvores pertenciam às espécies: imbuía (*Ocotea porosa*), mais representativa, canela-amarela (*Nectranda lanceolata*), canela-preta (*Nectranda megapotamica*), canela-fogo ou canela pururuca (*Cryptocarya aschersoniana*) acompanhadas de sapopema (*Sloanea monosperma* e *S. Lasiocoma*) (por vezes bastante frequente), guabirobeira (*Campomanesia xanthocarpa*) e da erva-mate (*Ilex paraguariensis*).

b) grupo formando um estrato superior bastante denso, sobre um estrato de 60% a 80% de folhosas, principalmente das espécies: canela-lageana (*Ocotea pulchella*), espécie dominante, canela-amarela (*Nectranda lanceolata*), canela-guicá (*Ocotéa peberula*), canela-fedida (*Nectranda grandiflora*) camboatá-vermelho (*Cupania Vernalis*), e camboatá-branco (*Matayba eleagnoides*), acompanhadas da cascada-anta (*Drimys brasiliensis*), do pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*), pimenteira (*Capsicodendron dinisii*) guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*) e diversas mirtáceas e aquifoláceas” (LEITE, 1995, p. 127-128 *apud* THOMAZ, 2005)

De acordo com Thomaz (2005) 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 de faxinal e agricultura comercial. Desta forma a apropriação de tais recursos fez com que em muitas áreas, a vegetação característica da região fosse suprimida por outros usos do solo.

O uso da terra na bacia do Rio Guabiroba é extremamente dinâmico, prova disto está no fato de encontrar-se comumente capoeira em diversos estágios de regeneração, áreas mecanizadas em pousio (classificadas como campos) e rotação de terra praticada pela agricultura de subsistência ou de toco. Portanto, o uso da terra muda de um ano para outro, e mesmo de uma estação para outra. Essa variabilidade têmporo-espacial no uso da terra resulta em um padrão em mosaico (manchas, corredores e faixas) difícil de ser representado no mapeamento. Da mesma forma que os solos, os usos da terra possuem inclusões, além disso, muitos desses usos são transitórios. Desta maneira o uso da terra aparece entre os principais elementos controladores da dinâmica hidrológica da bacia (THOMAZ, 2005) (FIGURA 7).

A distribuição da ocupação do uso da terra na bacia do Rio Guabiroba ocorre da seguinte forma: floresta secundária (40,12%), pastagem e campo em regeneração (33,10%), capoeira e agricultura de subsistência (18,93%), Agricultura mecanizada (6,23%), construções (edificações) (1,24%) e água e áreas úmidas (0,39%) (THOMAZ, 2005) (FIGURA 8).

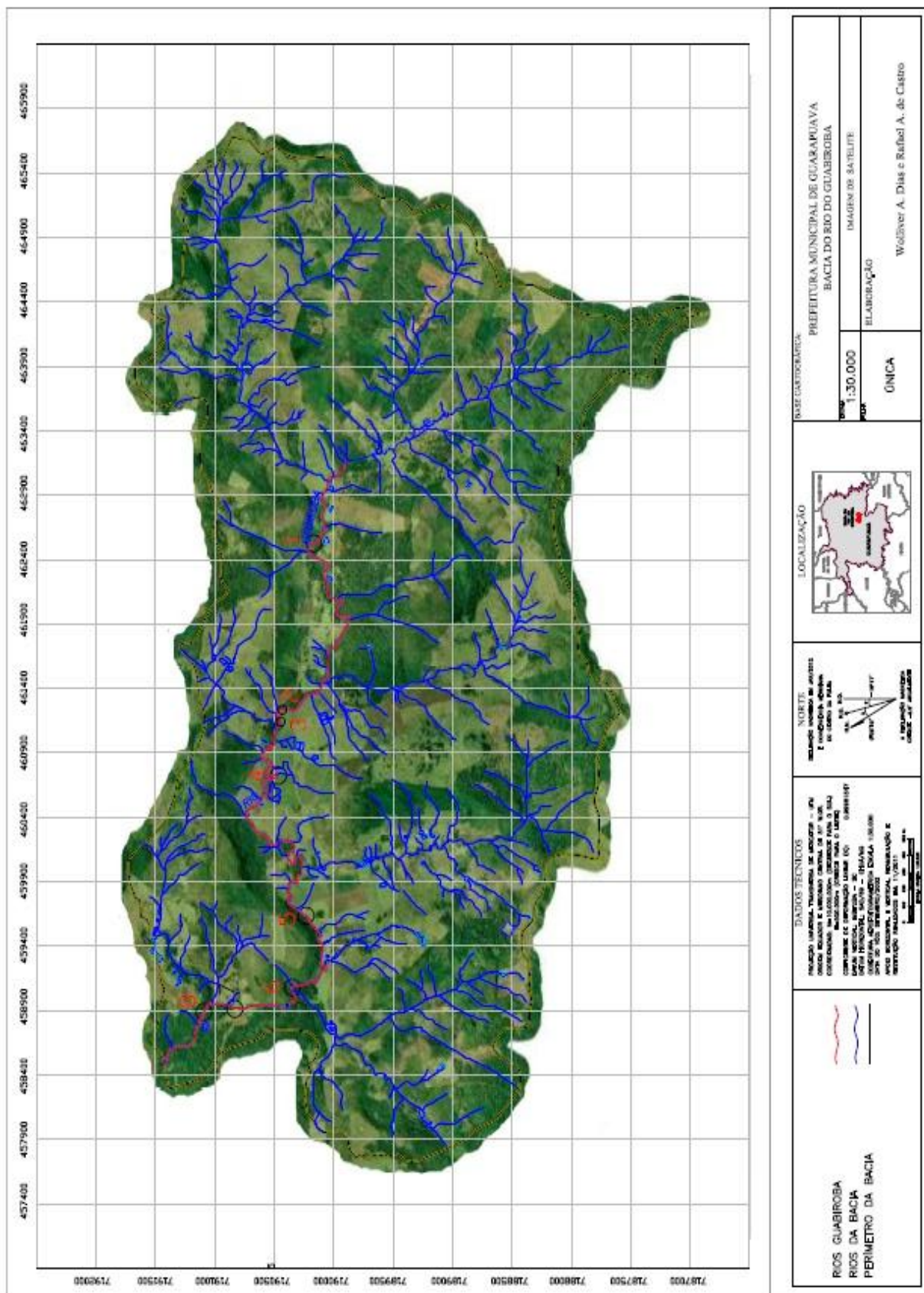


Figura 7 - Imagem de satélite da bacia do rio Guabirola

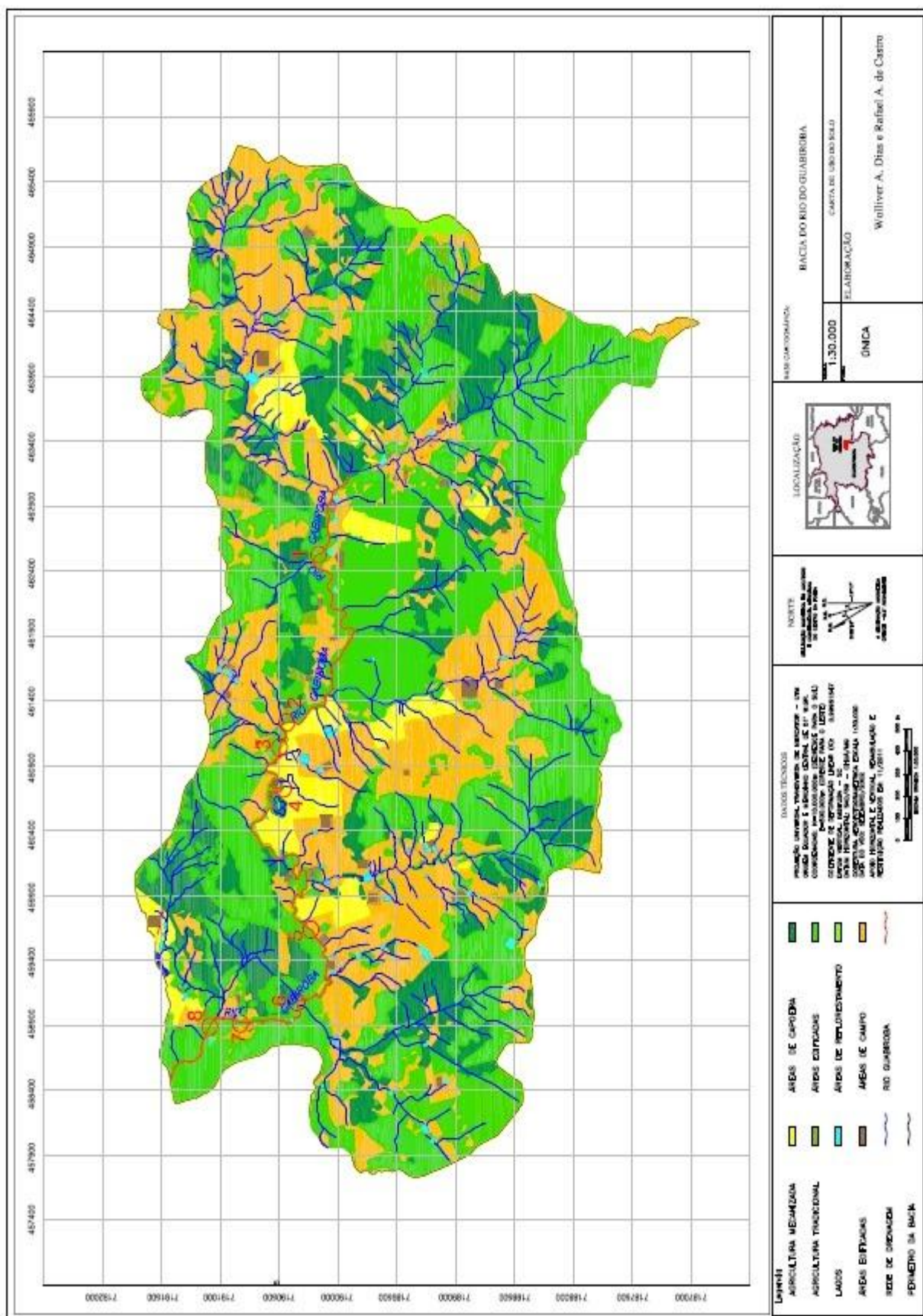


Figura 8 - Carta de uso da terra da bacia do rio Guabiroba

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Muitos estudos foram realizados na bacia hidrográfica do Rio Guabiroba nos últimos anos, de modo que uma série de informações já fora levantadas. Desta forma a caracterização da área de estudo foi feita a partir do levantamento da bibliografia disponível.

Os produtos cartográficos para melhor visualização e caracterização da área foram atualizados a partir de imagem disponível no Google Maps, extraída em 05/10/2011. Os Mapas foram gerados com auxílio do SIG ArcMap 9.2 e com o programa AutoCad® Map 2010, em escala de 1:30000.

5.1. Descrição geral das seções avaliadas

Os parâmetros avaliados a fim de compreender a dinâmica da erosão de margens do rio Guabiroba foram obtidos ao longo de 8 barrancos em setores de margens plenas, distribuídos pela extensão longitudinal do canal (FIGURA 9).

Os barrancos das margens monitorados e submetidos a avaliações foram aqui denominados de seções. A descrição geral das características das seções foi realizada a partir de informações existentes e observações em campo, levando em consideração às particularidades de cada uma delas (QUADRO 1).

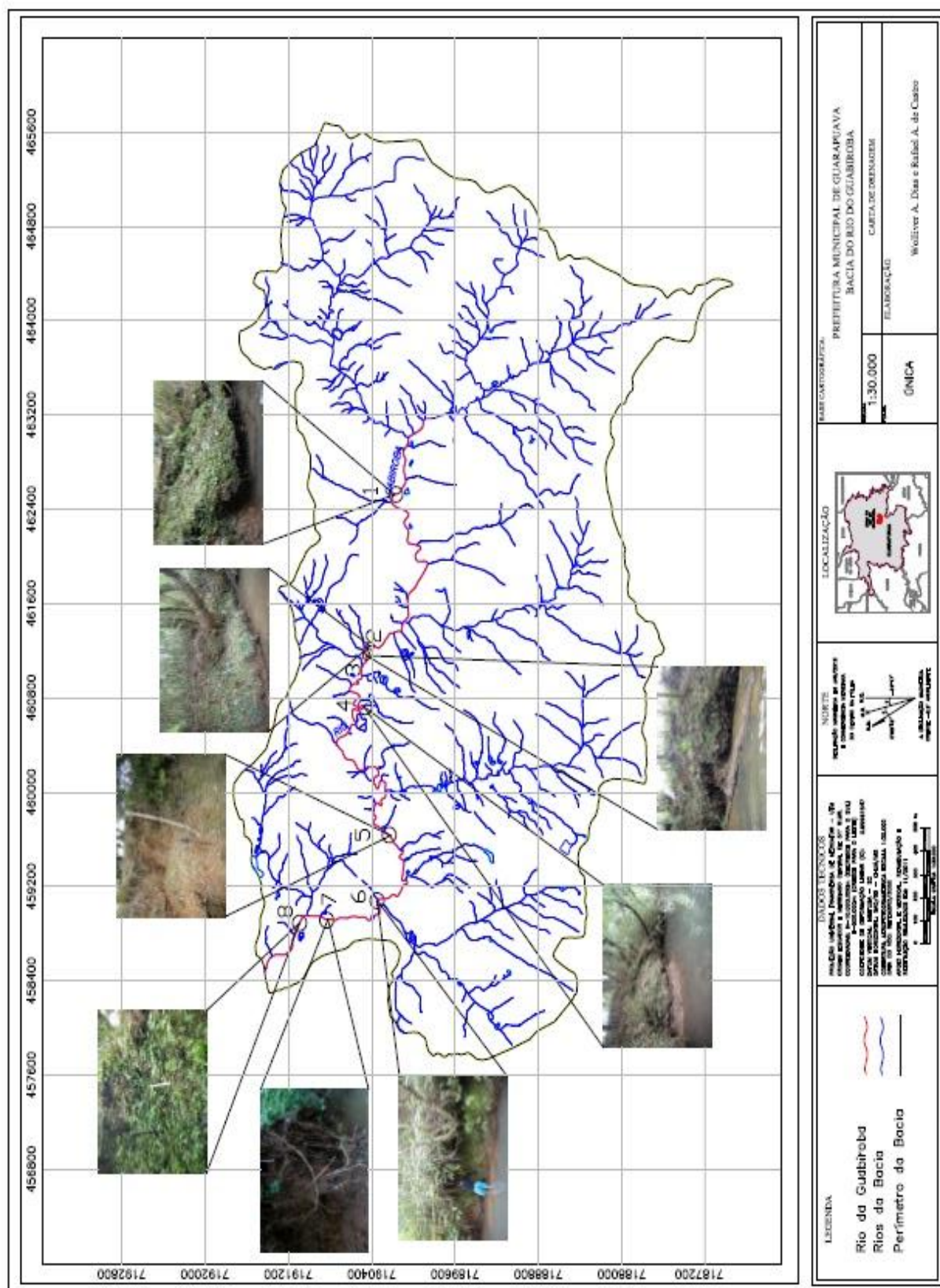


Figura 9 - Rede de drenagem da bacia do rio Guabirola com localização e foto das seções

Seção/Características	Coordenadas (UTM)	Altitude (m)	Uso da terra (adjacências)	Características da vegetação ciliar e da face do barranco	Altura média do barranco (m)	Área da seção (m²)
1 (Margem esquerda)	X:462527 Y:7190167	1069	Reflorestamento	Faixa de aproximadamente 15 metros, composta por pequena quantidade de árvores de grande porte. Clareiras em meio a vegetação e predomínio de bambu.	1,83	4 m² (4m comp. e 1m alt.)
2 (Margem direita)	X:461231 Y:7190439	1051	Reflorestamento por cercado por pastagem	No contato direto com a margem ocorre uma espessa faixa com predominância de bambu e pouca presença de espécies remanescentes da mata nativa (<i>Ilex Tizans</i> , <i>Ilex Paraguariensis</i> , <i>Araucária Angustifolia</i> , entre outras).	2,30	4,5 m² (4,5m comp. e 1m de alt.)
3 (Margem esquerda)	X:461222 Y:7190464	1042	Agricultura mecanizada	Faixa de vegetação ciliar de aproximadamente 2 metros de largura que separa a margem da área cultivada. Observou-se significativa presença de raízes neste barranco.	1,41	5,25 m² (3,5m comp. e 1,5m alt.)
4 (Margem esquerda)	X:4480725 Y:7190464	1036	Agricultura mecanizada	Faixa de vegetação de aproximadamente 2 metros com predominância de bambu. Significativa presença de raízes na face do barranco.	1,41	6 m² (6m comp. e 1m alt.)
5 (Margem esquerda)	X:460725 Y:7190464	1024	Pastoreio (caprinos e bovinos)	Sem vegetação ciliar	3,33	8 m² (4m comp. e 2m alt.)
6 (Margem direita)	X:459079 Y:7190348	1032	Capoeira e mata nativa utilizada por sistema de faxinal	Faixa de cobertura vegetal superior a 30 metros. Significativa presença de musgos e raízes na face do barranco e ocorrência de dutos.	2,33	3,75m² (2,5m comp. e 1,5m alt.)
7 (Margem esquerda)	X:458914 Y:7190832	991	Pastagem	Aproximadamente 1 metro de vegetação ciliar e pouca presença de raízes na face do barranco.	3,03	3m² (2m comp. e 1,5m alt.)
8 (Margem esquerda)	X:458990 Y:7190832	969	Mata nativa utilizada por sistema de faxinal	Vegetação nativa utilizada por sistema de faxinal e presença de uma estrada abandonada.	1,79	2m² (2m comp. e 1m alt.)

Quadro 1 - Características das seções avaliadas
Org. Wolliver A. Dias (2012)

5.2. Mensuração da erosão das margens

Os dados de precipitação referente ao período monitorado (10/2010 à 01/2012), também foram levados em consideração. Os dados utilizados são oriundos da Estação Agrometeorológica do (IAPAR) de Guarapuava, localizada no *campus* (Cedeteg) da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). A distância entre a estação que coletou os dados e a área de estudo é de aproximadamente 13 km, portanto podem ocorrer variações.

Vários são os métodos utilizados para se mensurar e quantificar a erosão das margens. Entre os principais, se destacam as perfilagens sucessivas, método das estacas e método dos pinos de erosão (ROCHA E SOUZA FILHO, 2008).

Os pinos de erosão se apresentam como a técnica volumétrica mais utilizada no monitoramento e quantificação da erosão das margens. Tal técnica apresenta eficiência desde sua aplicação nos estudos pioneiros de Wolman (1959) até os dias de hoje, sendo vasta a quantidade de pesquisadores que a utilizaram. No Brasil, destaca-se o uso de tal método por Fernandez (1990), que o modificou para aplicação em rios tropicais.

Essa técnica consiste na inserção de pinos metálicos na face da margem do rio, objetivando medir o valor da erosão através da superfície de exposição dos pinos (CASADO *et al.*, 2002). Através desta técnica é possível realizar estudos de volume de material erodido da margem, bem como avaliar a intensidade das taxas erosivas e analisar a distribuição espaço-temporal da erosão ao longo do canal fluvial (BORGES, 2004) (FIGURA 10 e 11).

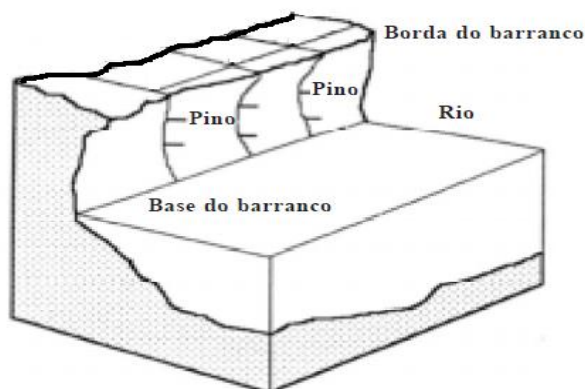


Figura 10 - Representação esquemática do método dos pinos instalados nas margens.

Fonte: Adaptado de Fernandez (1995).



Figura 11 - Pinos de erosão instalados nas margens

Foto do autor

Os pinos instalados nas margens do rio Guabiroba foram distribuídos nas 8 seções. Os pinos são vergalhões de ferro de 4,2 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento, dos quais 45 cm eram enterrados na face do barranco e apenas 5 cm permaneciam expostos. Os pinos foram instalados nas margens do rio Guabiroba em outubro de 2010, de modo que o monitoramento fora conduzido até janeiro de 2012.

Os pinos foram dispostos em linhas ao longo de cada seção avaliada. As linhas de pinos de erosão fora separadas em 0,5 m uma da outra no sentido vertical,

de forma que a quantidade de linhas de pinos era definida de acordo com a altura da seção, e a quantidade de pinos que cada linha compunha, era definido pelo comprimento da seção. Em cada uma das linhas, a distância entre um pino e outro também era de 0,5 m no sentido lateral. Ressalta-se que os pinos de uma linha e outra foram instalados de forma intercalada, ou seja, se na linha do topo os pinos foram instalados ao longo da extensão da seção, se dispondo a 0 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2 – 2,5 metros, na linha abaixo os pinos foram instalados aos 0,25 – 0,75 – 1,25 – 1,75 e assim sucessivamente, enquanto que na linha subsequente, os pinos foram instalados novamente aos 0 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2 sucessivamente.

Tal procedimento foi repetido em todas as seções avaliadas, com exceção da seção 8, onde devido a menor dimensão da área, optou-se por reduzir o intervalo entre as linhas bem como lateralmente entre um pino e outro para 0,25 m.

Ao todo, foram instalados 247 pinos nas margens do Rio Guabiroba, distribuídos ao longo das 8 seções avaliadas. Na seção 1 foram instalados 26 pinos, os quais foram distribuídos em 3 linhas, a seção 2 contou com 28 pinos, também dispostos em 3 linhas, já na seção 3 a quantidade de pinos instalados, foi de 30 ao longo de 4 linhas, na seção 4 por sua vez, ocorreu a instalação de 38 pinos distribuídos em 3 linhas, a seção 5 contou com 43 pinos instalados ao longo de 5 linhas, nas seções 6 e 7, a quantidade de pinos foi 22 e 18 respectivamente, em ambos os casos os pinos foram distribuídos ao longo de 4 linhas, por fim, na seção 8 foram instalados 42 pinos dispostos em 5 linhas (FIGURA 12).

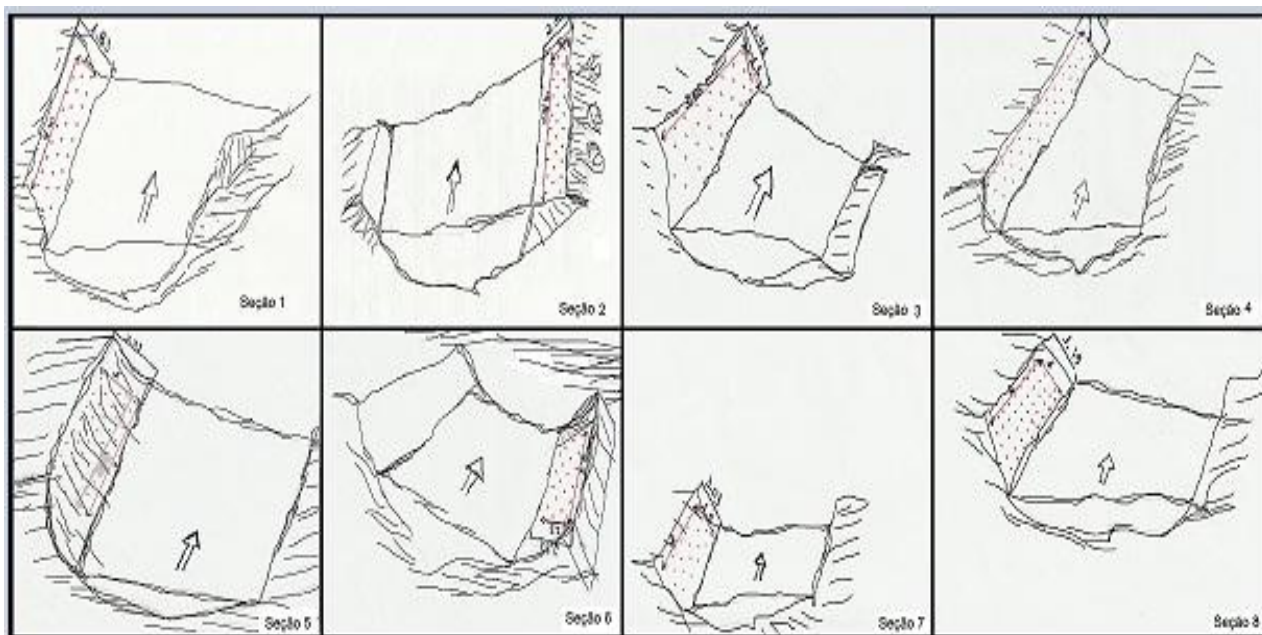


Figura 12 – Esboço gráfico das 8 seções avaliadas (fora de escala).

Os pinos foram instalados nas margens do Rio Guabiroba no dia 24/10/2010, posteriormente os pinos foram mensurados nas seguintes datas: 28/04/2011, 21/06/2011, 10/07/2011, 29/09/2011, 08/12/2011 e 11/01/2011. O maior intervalo apresentado entre os monitoramentos foi o referente à instalação dos pinos de erosão e o primeiro monitoramento (6 meses). Após analisar os dados do primeiro monitoramento optou-se por reduzir o intervalo entre as mensurações a fim de se obter um detalhamento ainda maior nas análises, tendo em vista as altas taxas de remoção obtida no período. Desta forma, após o primeiro monitoramento as mensurações passaram a ser realizadas com intervalos de aproximadamente 2 meses.

A densidade do solo corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo os espaços porosos. Esse parâmetro é registrado em g/cm^3 ou kg/m^3 (THOMAZ, 2008). Assim a partir da aplicação da técnica dos pinos relacionada com os dados de densidade aparente do solo, foi possível estimar as taxas de erosão para as margens do rio Guabiroba em kg/m^2 . Utilizou-se a seguinte equação:

Equação 1. Avaliação da remoção ou acúmulo de sedimentos (THOMAZ, 2008).

$$E = R \times Ds$$

E = Erosão ou acúmulo de sedimento (kg/m²)

R = Rebaixamento da superfície (mm)

Ds = Densidade do material (g/cm³)

Após obter o valor da densidade média para os barrancos das margens do rio Guabiroba, multiplicou tal valor por toda a área de barranco do rio a fim de se obter a estimativa do valor de perda de solo nas margens ao longo do período monitorado. A área total de barranco do rio foi calculada a partir do valor da altura média dos barrancos (2,18m) multiplicado pelo dobro da extensão do canal (9,2 Km), tendo em vista as duas margens.

A análise da densidade aparente foi realizada com as mesmas amostras utilizadas para a classificação textural, a qual será apresentada no item subsequente (5.3.1). Nos barrancos de aparência homogênea eram retiradas 3 sub amostras. Já nos barrancos onde foram identificadas camadas heterogêneas na face do barranco, era coletado 3 sub amostras em cada uma das camadas presentes (seções 2, 4, 6 e 7).

Os dados obtidos no monitoramento dos pinos de erosão permitiram ainda a representação gráfica da distribuição espacial e intensidade da erosão nas seções avaliadas. Para tanto o programa utilizado foi o Surfer© versão 8.0 (Golden Software™ Inc.) Em tal programa a interpolação espacial dos dados é realizada por meio do método de Krigagem, o qual pode ser um interpolador tanto exato como suavizador entre os pontos.

Para gerar a representação os dados utilizados foram da primeira e da última mensuração dos pinos após a instalação (28/04/2011 e 11/01/2011), a fim de se constatar a evolução da erosão através da imagem.

5.3. Parâmetros físicos das seções avaliadas (textura do material do barranco, resistência da face do barranco ao cisalhamento, declividade do barranco e características do canal fluvial).

5.3.1. Análise textural do material dos barrancos (granulometria).

A classificação granulométrica tem como base as dimensões dos grãos ou partículas que constituem o solo. Os diferentes tipos são agrupados de acordo com sua textura, ou seja, o tamanho de suas partículas através de ensaios de granulometria (HOLANDA *et al.*, 2008).

A textura dos materiais é determinante na resistência e na erodibilidade das margens. Essa característica influencia na coesão e na agregação de partículas do solo. Para análise granulométrica do material das margens do rio Guabiroba as amostras foram coletadas ao longo das 8 seções monitoradas.

Nos barrancos de material aparentemente homogêneo, foram retiradas 3 sub amostras, as quais eram posteriormente homogeneizadas e encaminhadas para laboratório credenciado de acordo com as normas previstas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático divulgado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)¹, para realização das análises granulométricas.

Já nos barrancos que foi possível identificar camadas heterogêneas no material componente, o mesmo procedimento foi repetido para cada uma das camadas identificadas. Tal fato ocorreu nas seções 2, 4, 6 e 7.

Na seção 2, observou-se a presença de 2 camadas, onde a primeira se estendia desde o topo do barranco até 1 m de profundidade e a segunda, de 1 a 1,4 m. A seção 4, apresentou uma camada que se estendia do topo do barranco até 0,7 m de profundidade e uma que iniciava em 0,7 a 1,5 m. Esta última, por sua vez, circundava um material também com aspectos distintos; tal camada apresentava uma espessura de aproximadamente 30 cm. A seção 6 foi a que apresentou maior heterogeneidade no material, neste barranco foi possível identificar 6 camadas, a

1 Instrução Normativa nº. 10 de 14/06/2005, publicada no DOU de 16/06/2006, Seção 1, página 12, alterada para instrução Normativa nº.12 através de retificação publicada no DOU de 17/06/2005, Seção 1, página 6.

primeira se estendia do topo do barranco até 0,4 m de profundidade, a segunda de 0,4 a 0,87 m, a terceira de 0,87 a 0,93 m, a quarta de 0,93 a 1 m, a quinta de 1 a 1,4 m e a sexta é uma espessa camada (13 cm) circundada pela camada que se estende de 1 a 1,4 m.

Posteriormente, os valores obtidos nas análises granulométricas, foram submetidos a um Diagrama Triangular para classificação textural do material (FIGURA 13).

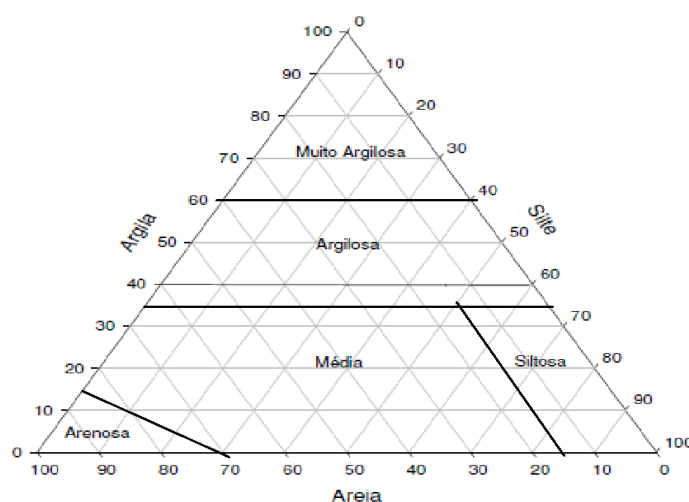


Figura 13 - Diagrama Triangular Simplificado para classificação textural do material do barranco.

Fonte: Adaptado da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (EMBRAPA, 1999).

Tal classificação é composta pelos seguintes agrupamentos de classes texturais:

a) Textura Arenosa: Compreende as classes texturais areia e areia franca.

b) Textura Média: Compreende as classes texturais ou parte delas, nas quais a composição granulométrica contenha menos de 35 % de argila e mais de 15 % de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca.

c) Textura argilosa: Compreende classes texturais ou parte delas tendo na composição granulométrica de 35 a 60 % de argila.

d) Textura Muito Argilosa: Compreende classe textural com mais de 60 % de argila.

e) Textura Siltosa: Compreende parte de classes texturais que tenham menos de 35 % de argila e menos de 15 % de areia.

5.3.2. Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento dos solos pode ser expressa pela equação de Coulomb, $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$ (VARGAS, 1989 *apud* ROCHA et al., 2002), em que τ é a máxima pressão cisalhante suportada pelo solo, σ_n é a tensão normal a que a superfície de falhamento está submetida, c é o intercepto de coesão ou coesão aparente do solo e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo, definido como sendo o ângulo que a força normal faz com a resultante das forças que o maciço terroso está submetido. Esta equação define a envoltória de resistência, que é a linha-limite de resistência dos solos, ou seja, qualquer força cisalhante que esteja acima desta linha promoverá a ruptura do solo.

O equipamento utilizado para testar a resistência do solo foi o *Pocket Tor Vane Tester*. Tal equipamento é utilizado para medir a resistência à força de cisalhamento, ou seja, a força necessária para romper a estrutura do solo. O equipamento é indicado para testar faces de perfil ou superfície (FIGURA 14).



Figura 14 - Foto do *Pocket Tor Vane Tester* e suas palhetas de amostragem.

Fonte: Manual de instrução do equipamento.

O curto período de tempo para a realização do teste proporciona a coleta de muitas amostras no mesmo solo ou em diferentes camadas ou setores, que por sua vez permite o cálculo de um valor médio, além de possibilitar o conhecimento detalhado da área.

O equipamento apresenta 3 opções de palhetas de amostragem (CL100, CL101 e CL102), de modo que cada palheta possui um limite de mensuração em (kg/cm^2). Tendo em vista as características do material das margens do rio Guabiroba, optou-se por utilizar o amostrador de maior limite (CL102). A aste de palhetas utilizada neste amostrador era para uma faixa de medição de $0\text{-}2,5\text{kg}/\text{cm}^2$

Os testes de resistência de barranco nas margens do Rio Guabiroba foram realizados em todas as seções avaliadas (topo, centro e base da seção), a fim de se avaliar a resistência dos barrancos de forma setorizada. Foram realizados 24 testes em cada seção, sendo 8 no setor de topo, 8 no centro e 8 na base da seção. A única exceção foi à seção 3, onde por sua vez não foi permitido realizar os testes na base da seção devido à erosão avançada neste setor, de modo que nesta seção foram realizados apenas 16 testes (topo e centro).

5.3.3. Declividade

Para se mensurar o grau da inclinação das margens utilizou-se de um Clinômetro tipo Abney. Esse equipamento consiste em um sistema de pêndulo vertical e/ou de bolha de nivelamento horizontal como referencial e uma escala graduada que mede o ângulo do plano ou linha, em graus ou em porcentagem do desnível (FIGURA 15).



Figura 15 – Mensuração da declividade do barranco

Foto do autor

Da mesma forma que o *Pocket Tor Vane Tester*, o clinômetro de Abney também permite a realização de várias medidas ao longo das margens e setorizadas quando necessário, podendo assim se conhecer a variabilidade nas taxas de inclinação do barranco em seu perfil vertical.

A mensuração da declividade dos barrancos, tanto quanto os testes de resistência, também foi realizada em 3 linhas com 8 mensurações em cada uma delas, portanto na seção 3 as mensurações da declividade foram realizadas apenas no topo e no centro da seção.

5.3.4. Características do canal fluvial

As características do canal fluvial avaliadas foram: altura do barranco em nível de margens plenas, seção transversal do canal (larg./prof.), velocidade do fluxo e vazão.

Os valores de altura do barranco foram obtidos por meio de mensurações realizadas com uma trena, desde a base ao topo do barranco, distribuídas longitudinalmente pelas margens do rio (8 seções). Foram realizadas 8 mensurações nos barrancos onde cada uma das seções se localizam.

Já os dados referentes à largura do canal na linha da água, profundidade média, velocidade do fluxo e vazão foram obtidos por meio de um Sonar do tipo ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) (FIGURA 16). Tais características foram mensuradas nas 8 seções avaliadas em período de vazante (07/07/2011).



Figura 16 – Realização de avaliações com a ADCP

Foto do autor

Em cada seção realizou-se ao menos 8 mensurações com a ADCP. Na seção 1 realizou-se 9 e nas seções 7 e 8 foram realizados 10 mensurações. Para tanto, o barco que transporta o sonar é deslocado lentamente de uma margem à outra em velocidade constante.

Para Filho *et al.* (1999), a ADCP é um aparelho desenvolvido para medir a vazão dos cursos d' água através do efeito Doppler, sendo este, a mudança na frequência de uma onda sonora causada por um movimento relativo entre o aparelho transmissor do som (chamado de transdutor) e o material em suspensão na água. O material ao ser atingido por um feixe de ondas sonoras muda a frequência de retransmissão. Como esse material se desloca na mesma velocidade da corrente de água, a magnitude do efeito *Doppler* é diretamente proporcional a esta velocidade.

O ADCP apresenta entre suas vantagens, a significativa rapidez na mensuração da velocidade da água. Além disso, mede muito mais pontos na seção transversal de um rio do que equipamentos convencionais como molinetes. O ADCP também possui a facilidade de comunicar-se diretamente com microcomputadores, transferindo os dados de velocidade em tempo real e calculando a vazão automaticamente (GRISON *et al.*, 2008) (FIGURA 17)

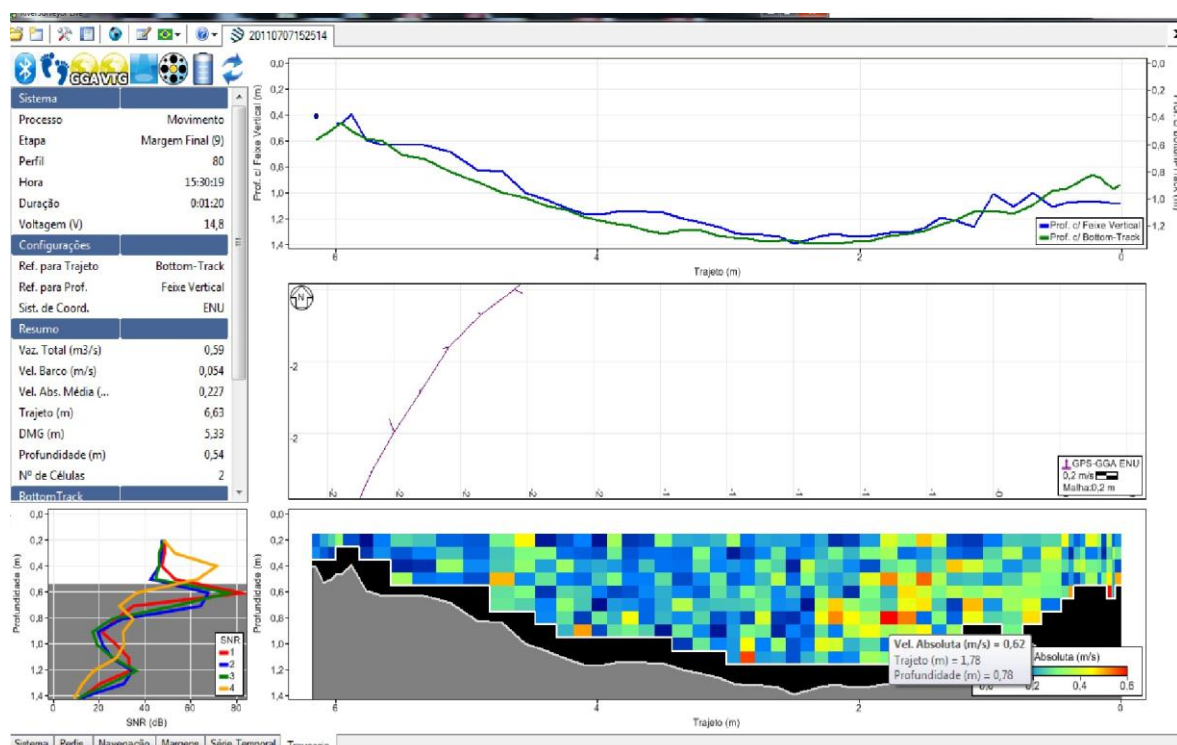


Figura 17 – Exemplo de perfil transversal obtido com o ADCP (seção 6).

Esse tipo de aparelho permite um grande avanço na precisão das previsões de descarga líquida, diminuindo consideravelmente a dispersão dos resultados desse tipo de levantamento (CASTANHARO e BUBA, 2008).

5.3.5. Análise dos dados

Por fim, todos os dados obtidos foram tabulados e submetidos à estatística descritiva (VIEIRA, 1999), priorizando as análises de médias e desvio padrão. Para tanto, utilizou-se o programa Microsoft Excel/98-2003.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Quantificação da erosão das margens

Para se avaliar a erosão das margens do rio Guabiroba levou em consideração os dados pluviométricos referentes ao período de monitoramento, os valores de erosão das margens por sua vez foram calculados a partir do recuo da face do barranco multiplicado pela densidade do material.

6.1.1. Precipitação ao longo do período de monitoramento da erosão

O monitoramento dos pinos de erosão ocorreu entre outubro de 2010 e janeiro de 2012. O monitoramento ocorreu predominantemente nos anos de 2010 e 2011. O ano de 2010 apresentou um total acumulado de 1691,7 mm, e a média mensal foi de $140,9 \pm 8$ mm. Dezembro foi o mês que registrou maiores valores de precipitação (282 mm), já os menores valores foram obtidos no mês de agosto (38 mm), de modo que a amplitude registrada neste ano foi de 244 mm.

O ano de 2011 por sua vez apresentou um total de 1986,6 mm, e média mensal de $165,5 \pm 98,7$ mm. Neste ano o mês de agosto foi o mais chuvoso (363,6 mm), divergindo assim no ano anterior, onde tal mês apresentou as menores taxas de precipitação. O menor valor mensal obtido para 2011 foi 50,4 mm. Neste ano a amplitude entre os meses mais e menos chuvosos foi de 313 mm.

No que diz respeito à precipitação referente apenas ao período de monitoramento (10/2010 a 01/2012), constatou-se um valor total acumulado de 2860,5 mm, a média mensal para o período foi de $178,7 \pm 97,6$ mm. Os meses que registraram as maiores precipitações no período em questão, foi agosto de 2011 (363,6 mm); janeiro de 2011 (333,8 mm); janeiro de 2012 (295,2 mm) e dezembro de 2010 (282 mm). Já os meses que registraram as menores precipitações foram: maio de 2011 (50,4 mm); abril de 2011 (67,6 mm); novembro de 2010 (85,9 mm) e março de 2011 (92,8 mm). A amplitude da precipitação ao longo do período monitorado foi de 313,2 mm (QUADRO 2).

Período monitorado (mês/ano)	Dia dos eventos pluviométricos de maior expressividade (mm)			Total (mm)	N. de dias com chuva
	30 a 50	50 a 100	≥ 100		
Out/2010	7 – 16 – 30			210,08	15
Nov/2010				85,9	10
Dez/2010	4 – 5 – 11 – 13			282	20
Jan/2011	19 – 20 – 29	12 – 13		333,8	20
Fev/2011	5			211,8	16
Mar/2011	31			92,8	8
Abr/2011				67,6	13
Mai/2011				50,4	7
Jun/2011		30		144,2	9
Jul/2011	2 – 3			184,8	11
Ago/2011	2 – 20		1 – 19	363,6	12
Set/2011		9		125,8	8
Out/2011	14 – 30			188,2	12
Nov/2011	13			130	10
Dez/2011				93,6	14
Jan/2012		14	1	295,2	13
Total acumulado				2860,5	198
Média mensal				178,78±97,69	12,37±3,93

Quadro 2 – Total precipitado e dia dos principais eventos ao longo do período monitorado.

Ao longo do período monitorado apenas 8 eventos apresentaram precipitação superior a 50 mm concentrados em 24 horas. Tais eventos ocorreram nas seguintes datas: 12/01/2011 (67,8 mm), 13/01/2011 (51,4 mm), 30/06/2011 (64,4mm), 01/08/2011 (115,6), 19/08/2011 (112 mm), 09/09/2011 (63,8 mm), 01/01/2012 (158 mm) e 14/01/2012 (69 mm). Os maiores valores registrados (158, 115,6 e 112 mm) em apenas 1 dia, apresentam taxas superiores aos totais acumulados em 5 dos meses avaliados na série: 11/2010, 03/2011, 04/2011, 05/2011 e 12/2011.

6.1.2. Erosão de margens plenas

Conhecendo-se previamente a densidade aparente do solo das margens, foi possível estimar a perda ou acúmulo de sedimentos nas seções avaliadas (TABELA 1).

Tabela 1 - Média da densidade aparente em cada uma das seções avaliadas.

Número da Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	Média Geral
Média da densidade aparente(g/cm³)	0,87±0,09 n(3)*	0,87±0,05 n(3)	0,92±0,1 n(3)	1,02±0,08 n(5)	0,75±0,03 n(3)	1,08±0,1 n(10)	1,02±0,11 n(3)	0,89±0,26 n(3)	0,93±0,11 n(8)

Nota: (n) = número de amostras utilizadas na média.

Analisando todo período monitorado, observou-se que em todas as seções avaliadas ocorreu perda de material dos barrancos (TABELA 2).

Tabela 2 - Síntese da erosão e deposição de sedimentos nas seções monitoras entre 10/2010 à 01/2012

Nº da seção/ área m²	Nº de pinos	Pinos c/ remoção	Pinos c/ acúmulo	Balanço global (cm)*	Estimativa de perda de sedimento (Kg/m²)	Erosão total na seção (Kg)
1 (4m²)	26	25 (96,15%)	1 (3,85%)	11,58±15,31	100,7	402,8
2 (4,5m²)	28	23 (82,14%)	5 (17,86%)	0,88±2,08	7,7	34,65
3 (5,25 m²)	30	30 (100%)	0 (0%)	9,9±12,59	91,1	478,28
4 (6 m²)	38	37 (97,37%)	1 (2,63%)	2,27±2,17	23,2	139,2
5 (8 m²)	43	40 (93,02%)	3 (6,98%)	6,01±6,17	45,1	360,8
6 (3,75 m²)	22	22 (100%)	0 (0%)	2,45±1,57	26,5	99,38
7 (3 m²)	18	17 (94,44%)	1 (5,56%)	1,86±2,79	19,0	57,0
8 (2m²)	41	40 (95,24%)	1 (2,38%)	1,52±0,88	13,0	26,0
Estimativa da remoção total das margens do Rio Guabiroba	246	234 (95,12%)	12 (4,88%)	4,56±4,13	42	1.684.704 (1684,7 ton)

Nota: * Balanço global significa a média de rebaixamento ou acúmulo considerando-se todos os pontos avaliados acompanhados de desvio padrão.

As seções que apresentaram as maiores perdas de material foram às seções 1 e 3 (100,7 e 91,1 kg/m²) respectivamente. As taxas de erosão destas seções refletem as características das mesmas. Em ambos os casos as margens apresentam erosão em sua parte inferior, deixando o barranco situado acima sujeito a desmoronamentos. Destaca-se que nas seções em questão a maioria dos pinos instalados próximos à linha da água foram removidos pela erosão ocorrente neste setor.

As demais seções apresentaram taxas de erosão significativamente inferior. Na seção 2 foi registrada a menor taxa de erosão (7,7 kg/m²), seguida pelas seções 8, 7, 4, 6 e 5 sucessivamente.

O balanço global médio referente às 8 seções e consequentemente ao rio Guabiroba, indicou um recuo na face do barranco de 4,56±4,13 cm, refletindo em uma perda de sedimentos média em setores de margens plenas para o Rio

Guabiroba de $42 \pm 35,85 \text{ kg/m}^2$. Assim, tendo em vista a altura média das margens (2,18 m) e o comprimento do canal (9,2 km), estimou-se uma perda de material de aproximadamente 1684,7 toneladas ao longo do período monitorado.

A partir do monitoramento da erosão, os barrancos avaliados foram representados de forma gráfica para melhor visualização da distribuição espacial e intensidade da erosão. As tonalidades de coloração mais escura representam as maiores intensidades da erosão em um plano tridimensional (FIGURA 18).

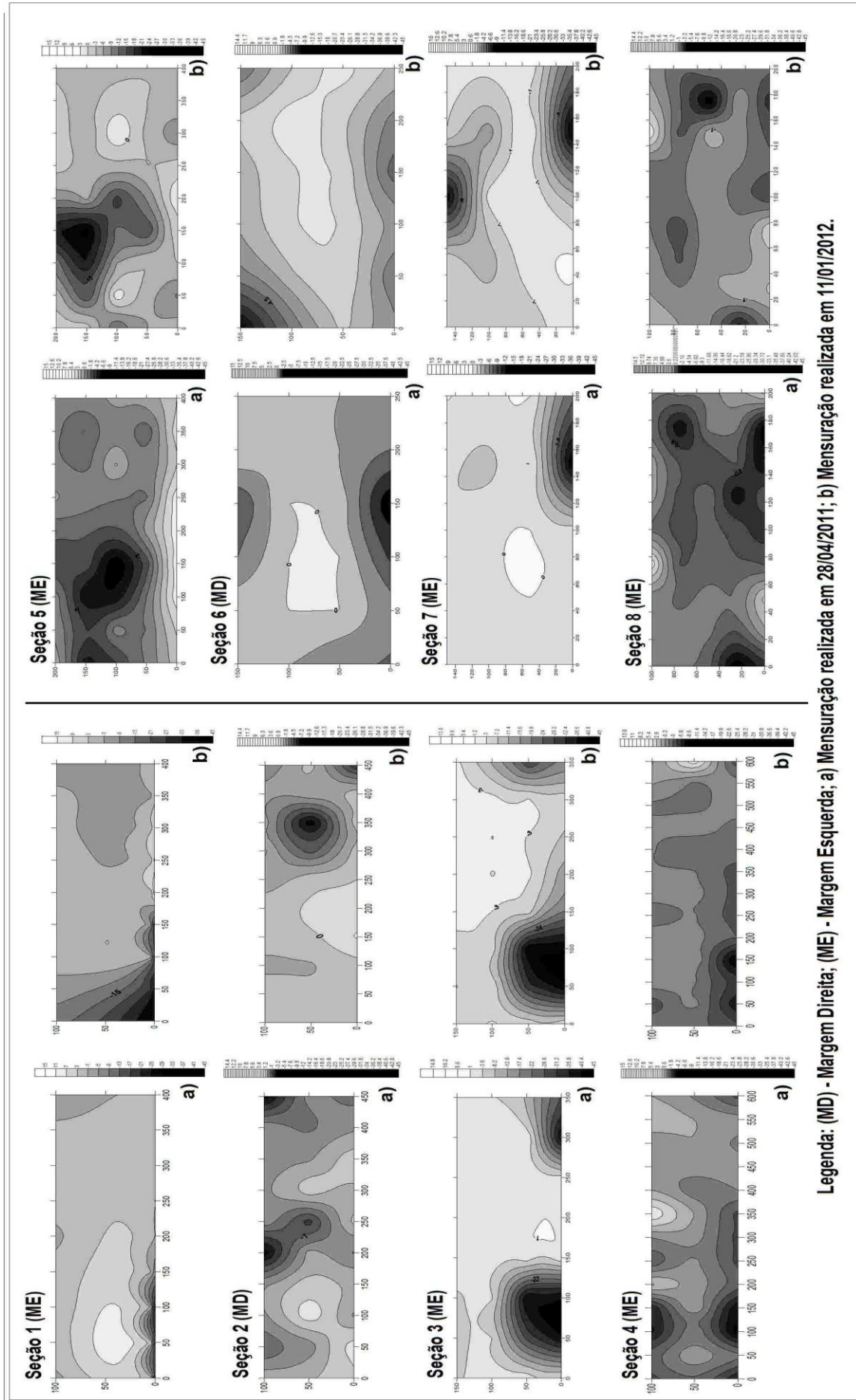


Figura 18 - Representação espacial e intensidade da erosão

A figura apresentada facilita a compreensão dos valores obtidos com o monitoramento dos pinos de erosão. Nas seções que apresentaram as maiores perdas de material (seção 1 e 3), nota-se que a erosão se dispõe da base em direção ao topo. No caso da seção 1, fica evidente a ampliação tanto da área, quanto da intensidade que a erosão se manifesta no interior da seção. Já na seção 3, embora a erosão também ocorra de forma mais acentuada na base da seção, pode se observar também, que na parte a jusante, a mancha que aparece na primeira imagem (a), diminui de intensidade, chegando quase a desaparecer na segunda imagem (b), indicando a ocorrência de solapamento do material situado acima.

A seção 5 também apresentou taxa de erosão significativa se comparado às demais seções. Com o auxílio da imagem é possível observar que as áreas de maior intensidade erosiva localizam-se próximas ao topo da seção, manifestando-se de forma distinta das seções 1 e 3. Nesta seção, a imagem indica que o setor de margens plenas analisado, sofre maior impacto erosivo por parte do gado do que do fluxo do canal.

De modo geral, a imagem permite constatar que, mesmo com taxas de erosão variadas, com exceção das seções 2 e 5, todas apresentam as maiores intensidades de erosão na base da seção.

O monitoramento realizado permitiu ainda conhecer o processo de evolução da erosão das margens de forma detalhada, pois foi possível obter as taxas de erosão de cada intervalo entre as mensurações (TABELA 3).

Tabela 3 - Dinâmica da remoção/deposição de sedimentos ao longo do período monitorado.

Intervalo entre as mensurações	Precipitação (mm)	Nº de eventos pluviométricos acima de 50 mm	Dinâmica da remoção/deposição de sedimentos ao longo dos intervalos monitorados (kg/m²)								
			Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 5	Seção 6	Seção 7	Seção 8	Média Geral (n 8)
24/10/2010 - 28/04/2011	1138,1	2	44,4■	0,9●	71,6■	10,1▲	0,9●	7,7●	10,3▲	2,7●	18,57±25,67■
28/04/2011 - 21/06/2011	117,2	0	+0,3○	0,4●	1,1●	2,8●	15,3■	0,2●	+3,7○	0,1●	1,98±5,68●
21/06/2011 - 10/07/2011	180,8	1	0,3●	+0,3○	5,5●	2,7●	+2○	0,3●	+3,8○	0,4●	+0,29±2,82○
10/07/2011 - 29/09/2011	570,2	3	37,6■	3,1●	4,8●	4,8●	17,6■	11,6▲	10,3▲	2,3●	11,5±11,75▲
29/09/2011 - 08/12/2011	325,6	0	+5,4○	5,3●	7,7●	7,7●	3,5●	3,7●	2,7●	6,2●	3,86±4,15●
08/12/2011 - 11/01/2012	271,4	2	24,4■	+1,7○	0,6●	0,9●	9,7▲	3,1●	3,2●	1,6●	5,21±8,43●

Nota: Os valores que não acompanham sinal indicam valores negativos, de modo que os valores positivos estão indicados com sinal (+). **Legenda:** ○ < 0; ● 0 a -8; ▲ -8; a -15; ■ < -15.

No primeiro intervalo (24/10/2010 – 28/04/2011), as taxas de erosão foram as maiores apresentadas ao longo de todo o monitoramento. Neste intervalo ocorreu também os maiores valores de precipitação acumulada e 2 eventos pluviométricos acima de 50 mm. Todas as seções apresentaram remoção de material. As seções 3 e 1 foram as que apresentaram maiores taxas de erosão (71,6 e 44,4 kg/m²) respectivamente, seguidos pelas seções 7, 4, 6, 8, 2 e 5 (TABELA 3). Após analisar os dados referentes ao primeiro intervalo, optou-se por reduzir o intervalo entre as mensurações a fim de se obter um detalhamento ainda maior, tendo em vista às altas taxas apresentadas na perda de material.

O segundo intervalo (28/04/2011 – 21/06/2011), apresentou taxas de erosão muito inferiores ao primeiro. A precipitação acumulada deste intervalo, também foi a menor avaliada ao longo do monitoramento. Em alguns casos (seções 1 e 7), ocorreu deposição de material sobre os pinos, indicando acréscimo de sedimentos de outros setores da margem para o trecho do barranco monitorado. Ao longo deste intervalo não foi registrado nenhum evento pluviométrico superior a 50 mm (TABELA 3).

Nestes casos os sedimentos depositados sobre os pinos de erosão podem ser oriundos até mesmo das encostas situadas nas suas adjacências. A ausência de eventos pluviométricos significativos permitiu que os materiais alocados nas margens se estabilizassem, de modo a serem removidos somente com um novo evento pluviométrico suficiente para aumentar o fluxo do canal ao ponto de dar-lhe potencial erosivo para remover os sedimentos depositados.

O acréscimo de materiais nas margens pode ainda estar associado a outro fator observado em campo. Devido aos longos períodos sem agressividade erosiva por parte do fluxo sobre as margens, a vegetação se desenvolve sobre elas, encobrindo parte dos pinos de erosão. Essa vegetação que se desenvolve nas margens plenas juntamente com a presença de raízes, faz com que aumente a estabilidade das margens diminuindo a erosão.

Neste intervalo a maior taxa de erosão foi registrada na seção 5. Tal fato justifica-se pela constante atividade de pastoreio desempenhada sobre a área monitorada. Nesta seção a erosão das margens está subordinada muito mais aos processos ocorrentes na vertente do que no próprio canal.

O terceiro intervalo é referente ao menor período entre um monitoramento e outro (21/06/2011 – 10/07/2011), porém foi de significativa importância para se observar as taxas erosivas em menor intervalo temporal. Neste intervalo a seção 3 apresentou as maiores taxas de erosão, seguida pela seção 4, as seções 1 e 6 apresentam as mesmas taxas de erosão. Já as seções 2, 5 e 7 apresentaram deposição. Destaca-se que a precipitação total ao longo deste intervalo foi de 180,8 mm, e registrou apenas um evento de chuva superior a 50 mm em 24 horas.

No quarto intervalo (10/07/2011 – 29/09/2011), todas as seções apresentaram erosão, as taxas mais expressivas foram obtidas na seção 1 (37,6 kg/m²), seguida pelas seções 5, 6, 7, 3, 4, 2 e 8 sucessivamente. Neste intervalo o total precipitado foi 570,2 mm. Ao longo deste período ocorreu 3 eventos acima de 50 mm, inclusive 2 deles foram superiores a 100 mm registrados em 24 horas (115,6 e 112 mm).

Já no quinto intervalo (29/09/2011 – 08/12/2011), com exceção da seção 1 que apresentou um acúmulo de 5,4 kg/m², todas as outras apresentaram taxas de remoção. A maior erosão foi observada nas seções 3 e 4 (7,7kg/m²), seguido pelas

seções 8, 2, 6 e 5. O total de precipitação referente a este período foi de 325,6 mm e, nenhum dos eventos ocorridos superou as taxas de 50 mm em 24 horas.

No último intervalo avaliado a exceção desta vez foi à seção 2, que apresentou uma deposição de $1,7 \text{ kg/m}^2$, enquanto que as outras seções apresentaram remoção de material. As maiores taxas foram obtidas novamente na seção 1 ($24,4 \text{ kg/m}^2$), posteriormente a ordem sequencial em que as maiores taxas de erosão se manifestam é: seções 5, 7, 6, 8, 4 e 3. Ao longo deste intervalo, apenas um evento pluviométrico atingiu valor superior a 50 mm (158 mm), e o total acumulado em todo o período foi 271,4 mm.

No que diz respeito à média geral para cada intervalo de monitoramento, notou-se que com exceção do terceiro intervalo, todos os outros apresentaram remoção de material nas margens.

As maiores taxas médias de erosão obtidas para o rio Guabiroba foram registradas no primeiro e no quarto monitoramento respectivamente ($18,58 \pm 25,67$ e $11,5 \pm 11,75 \text{ kg/m}^2$). O sexto intervalo apresentou uma remoção de $5,21 \pm 8,43 \text{ kg/m}^2$, seguido pelo quinto intervalo ($3,86 \pm 4,15 \text{ kg/m}^2$) e por fim o segundo intervalo, apresentando uma remoção de solo de $1,98 \pm 5,68 \text{ kg/m}^2$.

Quando comparada as taxas de erosão e as características pluviométricas ao longo do período monitorado, pôde-se constatar a necessidade de se conhecer a curva chave da vazão do rio em cada um dos trechos avaliados. Os totais pluviométricos e a perda de material das margens não apresentou relação direta, pois em alguns casos, ocorreram maiores perdas de solo em intervalos que registraram menores totais pluviométricos e vice versa (TABELA 3).

Por outro lado pode se perceber que nos intervalos que apresentaram as maiores taxas de remoção de material, ocorreram também os eventos pluviométricos mais expressivos. Entre os 8 eventos que registraram valores superiores a 50 mm em 24 horas, 7 deles foram registrados nos 3 intervalos que mais apresentaram remoção de material (intervalo 1, 4 e 6 sucessivamente).

Tal fato pode estar relacionado com a resposta hidrológica do canal frente aos eventos pluviométricos, fazendo com que o contato entre o fluxo do canal e a face do barranco ocorra por pouco tempo. Porém, a precipitação atua de forma ativa nos

setores de margens plenas pelo impacto direto nas áreas de solo exposto, tornando essas áreas condicionadas a processos similares aos de vertentes.

Neste caso, constata-se que algumas características da precipitação são mais determinantes, é o caso da intensidade, que pode influenciar mais nos processos erosivos das margens do que a quantidade total de chuva, pois as características da precipitação, somado à resposta do canal vão determinar o aumento da vazão e velocidade do fluxo, aumentando a área de contato do barranco (margens plenas) com o escoamento da água.

6.2. Caracterização textural do material dos barrancos (granulometria).

Com a análise granulométrica realizada no material componente dos barrancos das margens do rio Guabiroba foi possível classificar a textura dos mesmos de acordo com o teor de areia, silte e argila (EMBRAPA, 1999).

Observou-se que o valor obtido com a média entre todas as amostras coletadas nos barrancos das margens do rio Guabiroba apresentaram textura argilosa (TABELA 4).

Tabela 4 - Análise textural do material das margens do Rio Guabiroba.

Seção	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação textural
1 (n1)	37±0	28±0	35±0	argilosa
2 (n2)	39,5±4,24	29,5±3,54	35±0,71	argilosa
3 (n1)	34±0	30±0	36±0	argilosa
4 (n3)	32,67±0,58	22,67±6,03	44,67±6,51	argilosa
5 (n1)	36±0	29±0	35±0	argilosa
6 (n6)	32,33±10,75	25±2,97	42,67±12,99	argilosa
7 (n3)	33±2	25±2	42±4	argilosa
8 (n1)	38±0	19±0	43±	argilosa
Média Geral	34,81±2,12	26,02±3,84	39,17±4,27	argilosa

Os barrancos que apresentaram as maiores proporções de argila se localizavam nas seções 4, 8, 6 e 7, todas localizadas de médio a baixo curso do rio Guabiroba. Neste caso, chama-se atenção para a seção 5, que embora também se localize no mesmo setor apresenta teor de argila inferior às demais seções, de modo que os valores obtidos para a porção argila nesta seção se assemelha às taxas constatadas nas seções 1, 2 e 3.

O menor teor de argila constatado na seção 5, quando comparado com as taxas obtida nos barrancos a montante e a jusante da mesma (seção 4 e 6), pode estar associado às peculiaridades da seção, como por exemplo: uso do solo praticado nesta área, tendo em vista a ausência da vegetação e a intensa atividade de pastagem, bem como a ausência de contato da face do barranco com o escoamento do fluxo.

A partir da média obtida entre os valores da granulometria realizada entre as 8 seções, pode-se constatar que as margens do rio Guabiroba apresentam textura argilosa, onde a argila representa $39,17 \pm 4,27\%$ da amostra, seguido pela classe denominada areia, $34,81 \pm 2,12\%$ e por silte, $26,02 \pm 3,84\%$. Observou-se também, que os materiais das seções 1, 2, 3 e 5 apresentaram-se no limite da classe argilosa (35 à 60 % de argila).

Nas seções 2, 4, 6 e 7, os barrancos avaliados apresentaram variabilidade de coloração que se distinguem em diferentes camadas. Neste caso as coletas e análises foram realizadas em cada uma das camadas a fim de constatar a variabilidade textural de forma setorizada.

A seção 2 apresentou duas camadas distintas diferenciadas pela coloração, na camada referente ao topo da margem até 1 metro de profundidade o material apresentou textura argilosa enquanto que na porção do barranco que se estende de 1 a 1,4 metros em sentido a linha da água, obteve-se textura média (TABELA 5).

Tabela 5 - Análise granulométrica setorizada (seção 2).

Setor do barranco (profundidade)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação textural
Até 1 (m)	32	31	37	argilosa
De 1 à 1,4 (m)	39	28	33	média

Na seção 4 observou-se em campo 3 setores (camadas) que se distinguiam pela coloração, porém com a análise granulométrica dos materiais, não se constatou diferença na classe textural (argilosa), variando apenas em proporção. No setor entre 0,7 e 1,5 metros observou-se uma camada com aproximadamente 30 cm de espessura em seu interior, de modo que embora esta camada espessa também apresente textura argilosa, sua composição de argila apresenta-se em menores proporções se comparado ao material adjacente (TABELA 6).

Tabela 6 - Análise granulométrica setorizada (seção 4).

Setor do barranco (profundidade)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação textural
Até 0,7 (m)	33	20	38	argilosa
De 0,7 à 1,5 (m)	32	17	51	argilosa
Camada circundada pelo setor acima (30 cm)	33	22	45	argilosa

A seção 6 apresentou 6 camadas distintas que se diferenciavam pela coloração. A primeira camada correspondente à porção entre o topo da margem até 0,4 metros em direção à linha da água, este setor apresenta textura argilosa, enquanto que de 0,4 a 0,87 metros, observou-se a textura média, posteriormente, as duas camadas subsequentes apresentaram textura argilosa (0,87 a 1 m. A camada entre 1 a 1,4 metros foi a que apresentou o maior teor de argila, enquadrando-se assim na classe textural muito argilosa, porém destaca-se a presença de uma camada de aproximadamente 13 cm de espessura introduzida no interior deste setor. Esta camada (intrusão) apresenta características bem distintas se comparada ao material adjacente, pois apresenta textura média com teor de argila bem inferior dos setores localizados acima e significativa quantidade de areia (TABELA 7).

Tabela 7 - Análise granulométrica setorizada (seção 6).

Setor do barranco (profundidade)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação textural
Até 0,4 (m)	36	26	38	argilosa
De 0,4 a 0,87 (m)	37	29	34	média
De 0,87 a 0,93 (m)	26	22	52	argilosa
De 0,93 a 1 (m)	28	26	46	argilosa
De 1 a 1,4 (m)	18	21	61	muito argilosa
Camada circundada pelo setor acima (13 cm)	49	26	25	média

A seção 7 por sua vez apresentou textura argilosa nos 3 setores identificados, porém o teor de argila aumentava em direção a linha da água. (TABELA 8).

Tabela 8 - Análise granulométrica setorizada (seção 7).

Setor do barranco (profundidade)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação textural
Até 1 (m)	35	27	38	argilosa
De 1 a 1,5 (m)	33	25	42	argilosa
De 1,5 a 3 (m)	31	23	46	argilosa

Embora o material das margens do rio Guabiroba apresente textura argilosa de forma predominante, as variabilidades na textura observadas em alguns setores pode refletir no comportamento erosivo destas áreas.

Assim, reconhecendo-se a importância da textura do material na agregação e coesão do solo e conseqüentemente na maior ou menor estabilidade do mesmo frente à erosão, constata-se que variabilidade textural pode repercutir na erosão diferencial das margens, podendo desencadear diversos processos. Tal atributo dos barrancos deve ser analisado em conjunto com os outros parâmetros avaliados nas margens.

Embora o material analisado classifica-se como argiloso, ressalta-se que o teor de argila obtido em algumas amostras encontra-se no limite inferior da textura argilosa e apresentou porções significativas de areia. Essa análise indica que o solo da margem pode ser oriundo de processos de deposição e consolidação de sedimentos transportados pelo canal ou mesmo ter sofrido alterações no próprio local.

6.3. Resistência dos barrancos frente ao cisalhamento

As partículas de areia, principalmente as de menor tamanho, quando submetidas a forças externas ocupam mais facilmente os espaços vazios do solo, aumentando assim a área de contato entre agregados e solos com maiores quantidades de areia, onde as partículas não apresentam uma distribuição uniforme quanto ao tamanho, tendem a apresentar maior resistência ao cisalhamento, (ORTIGÃO, 1995 *apud* ROCHA *et al.*, 2002) .

No caso de solos argilosos, o estudo da resistência ao cisalhamento torna-se mais complexo, pelo fato de ser a argila a fração mais ativa do solo, e os processos físicos e químicos, tais como: sucessivas arações e gradagem, flutuação do lençol freático através de drenagens, adubações fosfatadas e calagem, que atuam no sentido de aumentar ou reduzir o contato entre partículas do solo, aumentarão ou reduzirão a resistência ao cisalhamento (TERZAGHI *et al.*, 1997 *apud* ROCHA *et al.*, 2002).

A resistência ao cisalhamento do solo pode também ser usada como um indicador de compactação do solo. Em geral, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (AYERS & PERUMPRAL, 1982; SCHJONNING, 1991 e AZEVEDO, 1999 *apud* ROCHA *et al.*, 2002).

A média geral da resistência ao cisalhamento das margens do Rio Guabiroba foi de $149,79 \pm 39,65$ Kpa/cm², contudo, avaliou-se também a média da resistência para cada uma das seções (TABELA 9).

Tabela 9 - Média da resistência do cisalhamento em cada uma das seções avaliadas.

Número da Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	Média Geral
Média da Resistência (Kpa/cm ²)	131,46±45,78 n(24)	126,22±23,65 n(24)	191,55±19,75 n(16)	183,18±7,23 n(23)	80,2±13,76 n(24)	186,82±49,62 n(24)	172,24±44 n(24)	126,68±16,48 n(24)	149,79±39,65 n(8)

Ressalta-se, que a maior resistência ao cisalhamento foi obtida na seção 3, seguida pelas seções 6, 4, 7, 1, 8, 2 e 5 sucessivamente.

A umidade e o teor de matéria orgânica podem influenciar a resistência ao cisalhamento do solo, de forma que em solos com baixos valores de umidade, a matéria orgânica tende a reduzir a resistência ao cisalhamento dependendo da menor densidade do solo conferida por ela (EKWUE & STONE, 1995 *apud* ROCHA *et al.*, 2002), sendo a resistência ao cisalhamento dos solos uma variável importante na caracterização das alterações estruturais do solo (CRUSE & LARSON, 1977; DAVIES, 1985; GANTZER *et al.*, 1987 *apud* ROCHA *et al.*, 2002).

No que diz respeito à variabilidade vertical da resistência dos setores de margens plenas avaliados no Rio Guabiroba, na média entre todas as análises realizadas ao longo do rio constatou-se que o setor que apresenta maiores taxas de resistência ao cisalhamento é o centro (163,14±48,08) Kpa/cm², enquanto que o topo e a base das seções apresentam valores pouco distintos (145,2±34,09 e 140,21±38,33) sucessivamente (TABELA 10).

Tabela 10 - Variação da resistência do barranco ao longo do perfil vertical dos setores avaliados das margens do rio Guabiroba

Sector da Margem	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 5	Seção 6	Seção 7	Seção 8	Média Geral
Topo	138,07± 37,37 n(8)	126,11± 15,08 n(8)	191,72± 20,27 n(8)	175,32± 19,36 n(8)	79,97± 30,78 n(8)	161,31± 36,68 n(8)	136,36± 52,46 n(8)	152,76± 22,44 n(8)	145,2± 34,09 n(8)
Centro	157,89± 41,66 n(8)	140,46± 22,97 n(8)	191,38± 20,61 n(8)	169,85± 28,58 n(8)	69,03± 21,11 n(8)	236,49± 24,1 n(8)	154,81± 33,16 n(8)	185,23± 21,95 n(8)	163,14± 48,08 n(8)
Base da seção	98,42± 40,71 n(8)	112,1± 24,97 n(8)	-	158,18± 53,7 n(8)	99,11± 13,77 n(8)	174,29± 26,42 n(8)	195,82± 45,91 n(8)	143,54± 15,22 n(8)	140,21± 38,33 n(8)

Na análise detalhada entre as 8 seções avaliadas observou-se que em 4 delas (50%), o setor central das margens apresenta-se como mais resistente (1, 2, 6 e 8), sendo que nas seções 1, 2 e 8, a ordem em que os setores de maior resistência se manifesta segue o mesmo padrão obtido para o canal, e na seção 6, após o setor central, o setor de maior resistência é próximo à base, divergindo da ordem manifestada pelas seções descritas anteriormente, porém nesta seção os valores obtidos no topo do barranco e na base não apresentam significativas diferenças se comparado ao centro da seção.

Nas seções 3 e 4 o setor mais resistente da margem é o topo, seguido pelo centro, sendo as proximidades com a linha da água (base da seção), a porção menos resistente. No caso da seção 3, não foi possível realizar as mensurações neste setor, devido à erosão em estágio avançado.

Por fim, nas seções 5 e 7, os setores mais resistentes foram próximos à linha da água, porém na seção 5 o topo apresenta maior resistência que o centro, enquanto que na seção 7 tal ordem se inverte.

Os resultados dos testes de resistência, somado às características das seções avaliadas indicam que tanto o topo das margens quanto os setores próximos à linha da água sofrem maiores dinâmicas se comparado com o centro. Tal dinâmica pode ser explicada pela relação de proximidade com o topo da margem e a conexão com o uso de solo da vertente na sua adjacência e pela variação do nível da água no canal e seu contato com a margem.

No primeiro caso, pode se dar o exemplo das seções 6 e 7, onde as menores taxas de resistência obtidas próximo ao topo pode apresentar associação à significativa presença de raízes nas margens, que por sua vez pode levar a redução da resistência e desestabilização das mesmas. Já o segundo caso apresenta-se mais frequente, de modo que nas seções 1, 2, 4 e 8 as taxas de resistência foram menores nas proximidades da base. Tal fato pode ter relação com a variação do nível da água em contato com a margem que pode levar a oscilação da umidade na mesma, fazendo com que a presença da água em contato com as partículas de argila constituinte do solo sejam submetidas à contração e expansão, de modo que tal processo pode influenciar na resistência da margem e consequentemente na sua instabilidade.

O conhecimento da resistência das margens nos diferentes setores facilita o entendimento da dinâmica geomorfológica de canais, pois as diferentes taxas de resistência do barranco indicam a heterogeneidade da margem frente às forças cisalhantes que consequentemente somado a outros parâmetros, influenciará na variabilidade da erosão ao longo dos diversos setores das margens (topo, centro e base).

A análise da resistência dos barrancos permite constatar que a maior fragilidade na base dos barrancos se comparada ao centro, faz com que as bases sofram maior erosão. Tal fato é ainda potencializado pelo contato mais frequente da base do barranco com o fluxo (efeito abrasivo). A partir dos processos de erosão na base dos barrancos a parte situada acima (centro do barranco) fica mais susceptível à queda por gravidade (solapamento). A resistência do topo também se apresentou inferior a do centro do barranco. Neste caso a menor resistência deste setor se comparado ao centro indica a instabilidade decorrente do contato com a encosta, onde a presença de raízes e influencia do uso da terra se fazem mais presentes. Em ambos os casos pode-se perceber que a maior resistência do barranco nos setores centrais associa-se a maior proteção deste setor frente às variabilidades.

6.4. Declividade do barranco

A declividade do barranco, bem como a forma (perfil transversal) que o mesmo apresenta é resultado do processo erosivo/deposicional que a margem está sofrendo (relação entre a resistência do solo e erosividade do fluxo). Desta forma, as características de declividade que a margem adquirir como resultado dos processos atuantes sobre ela vai influenciar nos próximos processos erosivos que ocorrerão no canal.

A declividade média obtida para os trechos avaliados nas margens do rio Guabiroba foi de $53,63 \pm 10,4^\circ$, porém, avaliou-se também a declividade média de cada uma das seções (TABELA 11).

Tabela 11 - Média da declividade do barranco em cada uma das seções avaliadas.

Número da Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	Média Geral
Média da declividade ($^\circ$)	56,96 $\pm 22,2$ n(24)	55,67 $\pm 15,5$ n(25)	48,69 $\pm 14,6$ n(16)	58,44 $\pm 24,1$ n(24)	36,42 $\pm 11,6$ n(24)	72,54 $\pm 17,3$ n(24)	53,88 $\pm 24,2$ n(24)	46,46 $\pm 14,7$ n(24)	53,63 $\pm 10,4$ n(8)

Com as mensurações realizadas de forma setorizada ao longo das margens (topo, centro e base da seção), pode-se conhecer a inclinação das margens de forma mais detalhada, facilitando a compreensão dos aspectos morfométricos que predominam.

De acordo com os valores obtidos, a seção 7 apresenta a maior variabilidade, seguida pelas seções 4, 1, 6, 2, 8 e 3 sucessivamente.

Os valores médios obtidos com a análise setorizada das margens do rio Guabiroba indicaram maior inclinação no centro dos barrancos ($60,86 \pm 11,07^\circ$), enquanto que no topo e próximo à base da seção a inclinação do barranco reduz em mais de 10° (aprox. 17%). Os valores de inclinação média para os setores de topo e próximos à base dos barrancos nas margens do rio Guabiroba é $50,49 \pm 21,64^\circ$ e $49,69 \pm 18,4^\circ$ sucessivamente (TABELA 12).

Tabela 12 - Variação da declividade da margem ao longo do perfil vertical do barranco

Setor da Margem	Seção 1 n(8)*	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 5	Seção 6	Seção 7	Seção 8	Média Geral
Topo	40,13± 13,62	57± 4,17	38,13± 8,13	38 ±11,7	33,13± 8,79	91± 2,78	74± 12,99	32,38± 5,07	50,49± 21,64
Centro	52,25± 13,2	69,25± 9,41	59,25±1 1,66	71,75± 9,92	39± 17,24	71,13± 12,53	63,75± 11,13	60,5± 12,59	60,86± 11,07
Base da seção	78,5± 19,76	40,75± 14,8		65,58± 30,71	37,13± 7,06	55,5± 9,89	23,88± 5,89	46,5± 8,57	49,69± 18,4

Nota: * (n) corresponde ao número de amostras utilizadas para todas as médias.

Os valores de desvio padrão indicam ainda que a variabilidade entre as 8 seções avaliadas é mais expressiva nos setores de topo e próximo a base das seções. Este comportamento dinâmico das margens esta condicionado principalmente à peculiaridade do uso do solo desempenhado nas suas adjacências e às características hidrodinâmicas expressadas pelo canal frente à resistência do material que compõe a margem em cada uma das seções de monitoramento.

No primeiro caso a dinâmica morfológica e por extensão a declividade do setor de topo pode ser resultado do potencial erosivo do fluxo da encosta, devido à ausência da vegetação e da função de filtro e proteção desempenhada pela mesma, porém, em áreas vegetadas a declividade do topo pode estar associada à ação física das raízes sobre a estrutura dos agregados levando a ruptura da margem, podendo gerar até mesmo queda de blocos por solapamento, suavizando assim a inclinação do topo do barranco.

A declividade no sopé da margem por sua vez, reflete o processo de erosão ou deposição da mesma, em casos de deposição comumente se observa baixas taxas de inclinação, enquanto que em áreas de alto potencial erosivo podem apresentar inclinações com ângulo negativo, neste caso a parte superior do barranco pode estar sujeita a um desmoronamento.

No caso dos barrancos que se encontram na maior parte do tempo fora do contato com a água, a declividade pode exercer fator ainda mais importante, pois nestes casos a declividade somada à altura e forma dos barrancos, compõe as características da encosta. De acordo com Guerra (2007) as características das encostas juntamente com outros fatores controladores (erosividade da chuva,

propriedades do solo e cobertura vegetal), podem determinar as variações nas taxas de erosão.

6.5. Características do canal fluvial nos trechos monitorados

O rio Guabiroba apresentou uma profundidade média de $0,51 \pm 0,12$ metros enquanto que a largura média estimada foi de $5,35 \pm 1,46$ metros, já a área do perfil transversal médio é de $2,73 \pm 1,06 \text{ m}^2$. A velocidade média absoluta do fluxo do rio obtida nas mensurações efetuadas foi de $0,228 \pm 0,07 \text{ m/s}$ e a vazão média constatada foi $0,603 \pm 0,16 \text{ m}^3/\text{s}$. Já a altura média dos barrancos do rio Guabiroba em nível de margens plenas foi de $2,18 \pm 0,70 \text{ m}$ (TABELA 13).

Tabela 13 - Características do Rio Guabiroba nas seções monitoradas

Seção	Profundidade (m)	Largura (m)	Área (m^2)	Vel. Abs. Média (m/s)	Vazão total (m^3/s)	Altura do barranco (Margens plenas)
1	$0,53 \pm 0,06$ (n 9)	$3,21 \pm 0,13$ (n 9)	$1,7 \pm 0,21$ (n 9)	$0,210 \pm 0,03$ (n 9)	$0,300 \pm 0,05$ (n 9)	$1,83 \pm 0,36$ (n8)
2	$0,43 \pm 0,01$ (n 8)	$3,74 \pm 0,11$ (n 8)	$1,6 \pm 0,04$ (n 8)	$0,342 \pm 0,02$ (n 8)	$0,521 \pm 0,03$ (n 8)	$2,30 \pm 0,42$ (n8)
3	$0,38 \pm 0,15$ (n 8)	$5,36 \pm 0,36$ (n 8)	$2,07 \pm 0,78$ (n 8)	$0,169 \pm 0,03$ (n 8)	$0,520 \pm 0,08$ (n 8)	$1,41 \pm 0,21$ (n8)
4	$0,42 \pm 0,06$ (n 8)	$4,49 \pm 0,04$ (n 8)	$1,90 \pm 0,28$ (n 8)	$0,224 \pm 0,01$ (n 8)	$0,559 \pm 0,02$ (n 8)	$1,45 \pm 0,22$ (n8)
5	$0,55 \pm 0,25$ (n 8)	$6,31 \pm 0,55$ (n 8)	$3,44 \pm 1,57$ (n 8)	$0,205 \pm 0,02$ (n 8)	$0,763 \pm 0,06$ (n 8)	$3,33 \pm 0,33$ (n8)
6	$0,77 \pm 0,26$ (n 8)	$5,90 \pm 0,14$ (n 8)	$4,54 \pm 1,51$ (n 8)	$0,112 \pm 0,02$ (n 8)	$0,634 \pm 0,11$ (n 8)	$2,33 \pm 0,20$ (n8)
7	$0,52 \pm 0,22$ (n 10)	$6,13 \pm 0,4$ (n 10)	$3,19 \pm 1,39$ (n 10)	$0,250 \pm 0,04$ (n 10)	$0,770 \pm 0,10$ (n 10)	$3,03 \pm 0,28$ (n8)
8	$0,45 \pm 0,03$ (n 10)	$7,64 \pm 0,37$ (n 10)	$3,42 \pm 0,25$ (n 10)	$0,310 \pm 0,04$ (n 10)	$0,760 \pm 0,26$ (n 10)	$1,79 \pm 0,12$ (n8)
Média Geral	$0,51 \pm 0,12$ (n 8)	$5,35 \pm 1,46$ (n 8)	$2,73 \pm 1,06$ (n 8)	$0,228 \pm 0,07$ (n 8)	$0,603 \pm 0,16$ (n 8)	$2,18 \pm 0,70$ (n8)

No que diz respeito à profundidade, a seção 6 foi a que apresentou os maiores valores, posteriormente as maiores profundidades aparecem nas seções (5, 1, 7, 8, 2, 4 e 3) sucessivamente.

Quanto à largura das seções avaliadas, os maiores valores foram obtidos na seção 8. A média entre as larguras obtidas de uma margem a outra ao longo das seções se manifestaram na seguinte sequência: (seção 8, 5, 7, 6, 3, 4, 2, 1). Nota-se que os maiores valores referentes à largura foram obtidos predominantemente de médio a baixo curso do rio Guabiroba (seções 8, 5, 7 e 6).

Em relação à área do perfil transversal das 8 seções, a maior área foi obtida na seção 6, seguida pelas seções 5, 8, 7, 3, 4, 1 e 2 sucessivamente. Tanto quanto no caso das larguras, os perfis transversais de maior área também se encontram de médio a baixo curso (seções 6, 5, 8 e 7).

Já a velocidade média absoluta apresenta os maiores valores nas seções 2, 8, 7, 4, 1, 5, 3 e 6 sucessivamente, enquanto que a ordem em relação aos dados de vazão se expressa da seguinte maneira: seções 7, 5, 8, 6, 4, 2, 3 e 1. O aumento da vazão em direção à foz do rio Guabiroba é resultado da maior área de abrangência na captação de água, bem como do acréscimo de água vindo de seus afluentes, que por sua vez força o canal a um novo ajuste, repercutindo nas variáveis geométricas (largura/profundidade).

Além das avaliações realizadas com a ADCP mensurou-se também a altura dos barrancos em nível de margens plenas. Os barrancos foram mensurados nas proximidades das 8 seções avaliadas (montante e jusante). Os barrancos que apresentaram os maiores valores de altura foram nas seções 5, 7, 6, 2, 1, 8, 4 e 3 sucessivamente.

Os dados obtidos indicaram que a altura do barranco, bem como as características morfométricas das seções transversais, também apresentam maiores valores no setor de médio a baixo curso, pois entre as seções que obtiveram os maiores valores estão às seções 5, 6 e 7.

As características físicas dos canais fluviais, juntamente com as características do barranco da margem e o uso do solo nas suas adjacências são os responsáveis pela dinâmica e intensidade dos processos erosivos ocorrentes.

Embora fora possível evidenciar as características do Rio Guabiroba nas proximidades das seções, ressalta-se que se tratando de análises em setores de margens plenas não foi possível estabelecer uma relação direta entre as condições do canal e os processos de erosão das margens neste setor, pois para se avaliar a contribuição efetiva do fluxo do canal nos processos erosivos de margens plenas faz-se necessário um controle hidrológico mais rígido, levando-se em consideração a curva chave de vazão e o tempo de contato entre o fluxo e as margens em cada uma das seções.

6.6. Classificação dos processos erosivos ocorrentes nas margens

Observou-se que a dinâmica erosiva das margens do rio Guabiroba apresenta processos diversificados, embora predomine o processo de corrasão (ação abrasiva).

Em 5 das 8 seções avaliadas notou-se tal processo (2, 4, 6, 7 e 8). Nestas seções a erosão representou um recuo da face do barranco inferior a 2,5 cm e perda de solo inferior a 30 Kg/m².

Nos barrancos referentes às seções 1 e 3, foram identificados processos de solapamento (FIGURA 19). Este processo por sua vez ocorre em decorrência e concomitantemente ao processo de abrasão. Nas seções 1 e 3 as taxas de recuo e perda de sedimentos foram significativamente maiores se comparada às demais seções. Nestas seções os valores de perda de solo foram superiores a 90 Kg/m², mais que 3 vezes o valor obtido nas margens onde ocorre apenas o efeito abrasivo (corrasão). No que diz respeito ao rebaixamento médio, o setor da margem localizado na seção 1, apresentou um recuo de $11,58 \pm 15,31$ cm e na seção 3 o recuo foi de $9,9 \pm 12,59$ cm, aproximadamente 4 vezes superior ao apresentado nos barrancos onde não ocorre o processo de solapamento.



Figura 19 - Ocorrência de processos erosivos no barranco (Seção 3).

Foto do autor.

A seção 5 por sua vez apresentou ocorrência de processos geomorfológicos distintos dos ocorrentes nas outras seções avaliadas. Nesta seção, a porção monitorada do barranco está submetida à atividade de pastagem, condicionada a processos de vertente na maior parte do tempo. O recuo da face do barranco nesta seção foi de $6 \pm 6,17$ cm enquanto que a perda de solo foi de $45,1 \text{ kg/m}^2$. Neste caso, o pisoteio excessivo do gado sobre o solo da margem, aumenta a compactação do solo, e conseqüentemente o potencial erosivo do fluxo da encosta sobre a margem.

Dias e Thomaz (2011), comparando as características físicas de solos das margens de afluente do rio Guabiroba em áreas de ocorrência e não ocorrência do efeito do pastoreio observaram características similares em relação às aqui apresentadas. Os autores constataram que as margens sobre efeito do pisoteio animal apresentou maiores taxas de densidade, resistência e menor porosidade, refletindo em maior erosão causada pelo próprio animal.

Dias e Thomaz (2011), destacam ainda o desbarrancamento do topo da margem devido ao gado se aproximar destas áreas em busca de água. Estes

materiais quando depositados no sopé das margens se não forem transportados rapidamente pelo fluxo do canal, pode dar origem a depósitos inconsolidados, os quais alteram significativamente a dinâmica fluvial.

Embora o processo de corrasão predomine nas margens do rio Guabiroba, o processo de solapamento é o responsável por mobilizar as maiores quantidades de solo dos barrancos. Tal fato pode explicar a baixa relação da perda de material dos setores de margens plenas com a precipitação, pois os processos erosivos por solapamento podem ocorrer até mesmo em condições de baixa vazão.

Nas seções 1 e 3, o processo de solapamento se caracteriza devido à ocorrência dos processos de corrasão na base do barranco (contato com a linha da água), onde ocorre a remoção gradativa dos sedimentos das margens pela ação de correntes e ondas (ARAUJO e ROCHA, 2009).

As análises de resistência ao cisalhamento realizadas nos barrancos das margens do rio Guabiroba indicaram que as porções menos resistente dos barrancos são o topo e a base. Tendo em vista o permanente contato do fluxo com a base do barranco a erosão torna-se mais ativa neste setor. Desta forma, a concavidade gerada a partir da erosão leva o barranco a apresentar ângulo negativo de inclinação na sua base, potencializando a ocorrência de movimentos de massa através do processo de solapamento.

Thomaz *et al.* (2011) analisando a perda de solos de canal fluvial em cabeceira de drenagem na bacia do rio Guabiroba, observou que o canal fluvial em questão contribuiu com aproximadamente 6% do balanço de sedimento da cabeceira de drenagem

Os autores também observaram que no canal fluvial estudado à erosão ocorre por corrasão desgastando a base do barranco, posteriormente ocorre o solapamento da parte superior (centro e topo) do barranco. No estudo realizado os solapamentos ocorrem principalmente no baixo curso onde as margens são mais desenvolvidas e o canal apresenta declive menor, resultando em maior acúmulo de material para ser erodido. Por sua vez, a corrasão é mais frequente de médio para alto curso principalmente em margens formadas por rocha alterada e leito rochoso, nesses locais não ocorre acúmulo de sedimento (THOMAZ *et al.*, 2011) .

7. CONCLUSÕES

Embora seja reconhecida a influencia da vegetação ripária e consequentemente do uso da terra nos ambientes fluviais, seja na proteção da margem frente aos fluxos da encosta, na proteção dos raios do sol ou mesmo pela presença de raízes que influenciam na estabilidade dos materiais, a presente pesquisa permitiu constatar que em alguns casos as condições físicas das margens somadas às características hidrológicas são determinantes nos processos geomorfológicos ocorrentes.

O monitoramento e as análises realizadas a fim de se avaliar a erosão nas margens do rio Guabiroba, permitiram quantificar e classificar os processos erosivos ocorrentes nos setores de margens plenas.

Pôde-se constatar a ocorrência dos processos de corrasão (efeito abrasivo), processo de solapamento e os processos erosivos decorrentes de efeitos de pastagem, embora, este último por sua vez ocorreu em apenas uma das seções avaliadas.

Na maioria das vezes um ou mais processos ocorrem de forma simultânea, agravando assim a perda de material das margens. No período avaliado (out/2010 – jan/2012), o rio Guabiroba apresentou uma perda de sedimento média de $42 \pm 35,85$ kg/m², o que corresponde uma perda estimada de aproximadamente 1684,7 toneladas de material ao longo das margens. O recuo médio das margens foi de $4,56 \pm 4,13$ cm, porém, em alguns pinos o recuo superou 45 cm.

No caso aqui apresentado, pode-se afirmar que o efeito abrasivo ocorre em todas as seções avaliadas, porém nas seções 1 e 3 a ocorrência de tal efeito na base do barranco (nível da água em período de vazante) dá origem aos processos erosivos por solapamento nas partes situadas acima (margens plenas).

As significativas taxas de erosão consequente de solapamentos expressa a importância de tal processo na erosão em setores de margens plenas do rio Guabiroba.

O material removido da margem deposita-se no sopé do barranco criando uma proteção para a margem em relação ao fluxo. Neste caso, dependendo das

características do fluxo o sedimento pode ser transportado ou depositado, passando assim a influenciar em um novo ajuste da seção do canal e posteriormente a uma sequência contínua de processos influenciados também pelos aspectos climáticos atuantes. No caso do material erodido ser transportado pelo fluxo, o mesmo passará a fazer parte de um sistema mais complexo envolvendo erosão, transporte e deposição, onde por sua vez o material ora erodido passa a potencializar a erosão.

Observou-se que os processos de solapamento e consequentemente o processo mais ativo de erosão das margens do rio Guabiroba predominam no alto curso do rio (seções 1 e 3), tal processo pode ter relação com a textura do material das margens, que nestes locais apresentam valores estabelecidos entre os limites das classes texturais: Argilosa e Média. Tal fato, associado à presença de ângulos negativos na base dos barrancos torna as margens mais propícias a erosão por tal processo (solapamento). Outro fator que também pode apresentar relação com a erosão da base do barranco nestes setores é o fato do canal se apresentar de forma mais encaixada exercendo maior pressão do fluxo sobre as margens nos locais de contato, enquanto que a jusante conforme a largura do canal aumenta, a pressão exercida pelo fluxo passa a ser diluída por uma área de contato maior.

A textura do material das margens permitiu também identificar camadas distintas que apresentam variabilidade granulométrica, o que por sua vez indica que a composição das mesmas associa-se à possibilidade de depósitos com origem holocênica, indicando assim a intensa dinâmica da paisagem ao longo do tempo.

Assim, uma importante lacuna é evidenciada no sentido de avaliar as características texturais e a presença de escombros em meio às camadas (depósitos) do barranco, associado a dinâmicas morfológicas que se estende desde o Holoceno.

Desta maneira, o monitoramento da erosão das margens do rio Guabiroba carece de um detalhamento ainda maior. Pois as atividades conduzidas não possibilitaram concluir qual a contribuição efetiva da corrosão nas margens, tendo em vista que na maior parte do tempo tal processo ocorre apenas na base do barranco (contato com a água).

Para tanto, as próximas pesquisas devem incluir um detalhado controle da resposta do canal frente à relação chuva/vazão a fim de identificar as ocasiões em

que o fluxo do canal atinge o nível de margens plenas e conseqüentemente gera o processo de corrasão nestes setores.

Ressalta-se ainda a importância da escala de análise na compreensão dos fenômenos naturais aqui apresentados. A partir do significativo grau de detalhe obtido nas análises, pode-se constatar a dinâmica e interação entre os elementos que compõe a erosão das margens, o que por sua vez pode facilitar a compreensão do processo em menores escalas. Neste sentido a presente pesquisa apresenta uma significativa contribuição para um melhor entendimento da dinâmica fluvial.

8. REFERÊNCIAS

ABBE, T. B.; BROOKS, A. P.; MONTGOMERY, D. R. Wood in River Rehabilitation and Management. **American Fisheries Society Symposium**. American Fisheries Society, p 1-25, 2003.

AB'SABER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. USP – IG, **Geomorfologia**, n20, p1-26, 1970.

ARAUJO, A. P.; ROCHA, P. C. Avaliação espaço-temporal de erosão de margens no córrego do Cedro em Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. In: 12 Encontro de geógrafos de America Latina, **ANAIS...** Montevideo: 2009, p. 1-9.

ARAUJO, A. P.; ROCHA, P. C. Aplicação de Métodos para Identificação e Quantificação dos Processos de Erosão de Margens em Rios: o Caso do Córrego do Cedro em Presidente Prudente/SP. In: 8º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, **ANAIS...** São Paulo, 2009b.

BENEDITO, C. O município e o meio ambiente: das áreas de preservação permanente. 2001. 29 p. **Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)** – Escola de Engenharia de Piracicaba, Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba, 2001.

BINDA, A. L. & LIMA, A. G. Morfologia e processos fluviais: O papel dos escombros lenhosos. **Boletim Goiano de Geografia**. v.28, n.2, p. 59–74, 2008..

BINDA, A. L. A influencia de detritos lenhosos na morfologia e na sedimentologia de leito no Rio Guabiroba, Guarapuava-PR. 2009. 120 f. **(Dissertação de Mestrado)**. UNIOESTE, Francisco Beltrão-PR, 2009.

BORGES, C. Z. Erosão marginal no rio Paraná após a conclusão do reservatório da UHE Sérgio Motta (Porto Primavera) à jusante da barragem. 2004. 50 f. **(Dissertação de Mestrado)**. UEM, Maringá -PR, 2004.

BRASIL, **Código Florestal**, Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. CPRM/Eletróbrás. Rio de Janeiro, 352p. , 1994.

CASADO, A. P. B., HOLANDA, F.S.R., ARAUJO FILHO, F.A.G. & YAGUIU, P. Evolução da erosão marginal no Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, Brasil, n.26, p 231-239, 2002.

CASTANHARO, G.;BUBA, H. Revisão do comportamento hidráulico do rio Iguaçu na região de União da Vitória e seu impacto na operação hidráulica dos reservatórios de Foz do Areia e Segredo. **Espaço Energia**. N. 8, p. 28–39, 2008.

CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, v.2, 188p. 1980.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. T. G. & CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. Cap. 5, p 211-252.

DIAS-OLIVEIRA, É. Impactos da urbanização na geometria hidráulica de canais fluviais da bacia hidrográfica do rio Cascavel, Guarapuava/PR. 2004. 158p. (**Dissertação de Mestrado**) Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, 2011.

DIAS, W. A. THOMAZ, E. L. Influência de escombros lenhosos na dinâmica de riachos em área de faxinal. **Revista Terr@ plural**, v. 5, n.2, p 229-248, 2011.

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** (UFU. Impresso), v. 23, p. 23-35, 2011b.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa, 412p. 1999.

FERNANDEZ, O. V. Q., Mudanças no Canal Fluvial do Rio Paraná e Processos de Erosão das Margens: Região de Porto Rico-PR. 1990. 96p. (**Dissertação de Mestrado**) IGCE/UNESP, Rio Claro-SP, 1990.

FERNANDEZ, O.V.Q. Erosão marginal no lago da UHE Itaipu (PR). 1995. 107p (**Tese de Doutorado**) UNESP, Rio Claro – SP, 1995.

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

FERNANDEZ, O. V. Q. O papel dos grandes detritos orgânicos na morfologia e sedimentologia em canais de cabeceira de drenagem. In: X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, **Anais...** Rio de Janeiro, 2003b. (CD-rom), 20.

FILHO, D. P.; SANTOS, I. Dos; FILL, H. D.; Sistema de ajuste e extrapolação de curva de descarga – Stevens. In: XV Simpósio Brasileiro de recursos Hídricos, **Anais...** Curitiba – Paraná, 2003.

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. rev. Curitiba Sanepar – 2a ed., 184p. 1999.

GREGORY, S. V.; SWANSON, F. J.; MCKEE, W. A., CUMMINS, K. W. An ecosystem perspective of riparian zones Focus on links between land and water. **Bioscience**. V 41, p. 540- 551, 1991.

GRISON, F.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I.; CUNHA, H.D. Uso do ADCP para construção de curva-chave. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. **Anais...** UFMG, Belo Horizonte 2008. 11p. (CD-rom).

GUERRA, A . J. T. Processos Erosivos nas Enconstas. In: GUERRA, A. T. G. & CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 7.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. Cap. 4, p149-209.

HINKEL, R. Vegetação Ripária: Função e Ecologia. In: Seminário de Hidrologia florestal: Zonas Ripárias. **Anais...** UFSC/PPGEA, Florianópolis 2003, p. 40-48.

HJULSTROM, F. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river fyris. Univ. Upsala. **Geol. Inst. Bull.** 25: p.221 – 527, 1935.

HOLANDA, F. S. R.; SANTOS, C. M.; CASADO, A . P. B.; BANDEIRA, A . A .; OLIVEIRA, V. S.; FONTES; L.C.S.; ROCHA, I. P.; ARAÚJO FILHO, R. N. GÓIS, S. S.; VIEIRA, R. S. Análise multitemporal e caracterização dos processos erosivos no baixo São Francisco Sergipano. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.8, n.2, p.87-96, 2007.

HOLANDA, F. S. R.; SANTOS, C. M.; GUIMARÃES, M. F. R.; ROCHA, I. P.; SANTOS, T. T.; ARAÚJO FILHO, VIEIRA, T. R. S.; CHAGAS, R. M. Monitoramento da erosão em margens de cursos d'água: O caso do Rio São Francisco. **Revista da Fapese**. v.4, n.2, p.37-52, 2008.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletins of the Geological Society of America**. v. 56, p.275-370, 1945.

IAPAR. **Cartas Climáticas do Paraná**. Versão 1. 0. Londrina: IAPAR, 2000.

KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: Seminário de Hidrologia florestal: Zonas Ripárias (1: 2003 Alfredo Wagner) Florianópolis: UFSC/PPGEA, **Anais**, 2003 p. 1-13.

KOBIYAMA, M. & CHAFFE, P. **Geração de Vazão no Rio**. In: KOBIYAMA, M.; GRISON, F.; MOTA, A. A. Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais. 2ª edição – Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, Cap. 13. p. 179-204, 2009.

LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. e MILLER, J. P., **Fluvial processes in Geomorphology**. W. H. Freeman & Co., San Francisco - EUA, 1964.

LISLE, T. E. Effects of Woody Debris on Anadromous Salmonid Habitat, Prince of Wales Island, Southeast Alaska. **North American Journal of Fisheries Management** 6: p. 538-550, 1986.

LUIZ, J. C. As unidades de paisagem na bacia do rio Guabiroba – Guarapuava- PR – e a fragilidade ambiental. **Revista Estudos Geográficos**. Rio Claro, v. 6 (1), p. 63-88, 2008.

MONTGOMERY, D.R.; COLLINS, B.D.; BUFFINGTON, J.M.; ABBE, T. B. Geomorphic effects of wood in rivers. **American Fisheries Society Symposium**. American Fisheries Society, p. 1-27, 2003.

NASCIMENTO, W. M. & VILAÇA, M. G.. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento. **Revista eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiro, Três Lagoas**, n 7, p.102-121, 2008.

NAKAMURA, F., SWANSON, F.J. Effects of coarsewoody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon. **Earth Surf. Proc. Land**. 18, p. 43–61, 1993,.

NAKAMURA, F. & YAMADA, H. Effects of pasture development on the ecological functions of riparian forests in Hokkaido in northern Japan. **Ecological Engineering**, 24, p. 539–550, 2005.

NOVO, E. M. L. M. Ambientes Fluviais In: FLORENZANO, T. G. (org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, Cap. 8, p. 219-246.

ROCHA, P. C. Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR. 2002. **(Dissertação de Mestrado)** NUPELIA – UEM, Maringá, Brasil, 2002.

ROCHA, W. W.; DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V.; SILVA, A. R. Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. 26: p. 297-303, 2002.

ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E. de. Erosão marginal e evolução hidrodinâmica do sistema rio-planície fluvial do Alto Paraná – Centro-Sul do Brasil. In: João Osvaldo Rodrigues Nunes; Paulo César Rocha. (Org.). **Geomorfologia: aplicação e metodologias**. 1 ed. São Paulo: Expressão Popular, 2008, v. 1, p. 133-154.

SILVA, A.; SOUZA, C. A.; ZANI, H.; FREITAS, D. R. Avaliação da erosão da margem esquerda do rio Paraguai a jusante da praia do Julião município de Cáceres – MT. **Revista Geografia Acadêmica**. v. 1, n.1, p. 5-19, 2007.

SOBRINHO, J. F.; ARAUJO FILHO, J. A ., COSTA FALCÃO, C. L. Erosão e mata ciliar as margens do canal fluvial das sub-bacia do riacho Viana, distrito de Taperuaba (CE). **Revista da Casa de Geografia de Sobral**. V 10, n.1, p 53 – 68, 2008.

SOUZA, P. R. P.; MILLS, J.. **Conflitos jurídicos, econômicos e ambientais**. Maringá: EDUEM. 204p, 1995.

SOUZA; C. A . e CUNHA, S. B. Pantanal de Cáceres – MT: Dinâmica das margens do Rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da ilha de Taiaimã-MT. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas- MS**. V1, n.5, p. 18-42, 2007.

SOUZA, L. C. D.; de; CARVALHO, M. A . C.; CORRÊA, B. S.; SILVA, M. P.. Consequências da atividade garimpeira nas margens do Rio Peixoto de Azevedo no perímetro urbano do município de Peixoto de Azevedo-MT. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 220-231, 2008..

STRAHLER, A. N. Dinamic basis of geomorphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 63, p. 923-938, 1952.

SUGUIO, K; BIGARELLA, J. J. **Ambientes Fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC: Editora da UFPR, 183p, 1990.

THOMAZ, E. L. Processos hidrogeomorfológicos e o uso da terra em ambiente subtropical – Guarapuava – PR. 2005. 297f. **(tese de doutorado)**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

THOMAZ, E. L. Geomorfologia e Agrossistemas: indicadores de degradação de solo. In: João Osvaldo Rodrigues Nunes; Paulo César Rocha. (Org.). **Geomorfologia: aplicação e metodologias**. 1 ed. São Paulo: Expressão Popular, 2008, v. 1, p. 33-56.

THOMAZ, E. L.; MELQUIADES, F. L. Discriminação de marcadores de proveniência de sedimento em bacia rural por meio de EDXRF. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V.10 n1: p. 95-102, 2009.

THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V. ; DIAS, W. A. . Estimativa de Proveniência de Sedimento em Cabeceira de Drenagem com. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, p. 25-37. 2011.

THORNE, C.R. & TOVEY, N.K. Stability of composite river banks. **Earth Sur. Proc. Landforms**, 6: p.469-484, 1981.

TRICART, J. Os tipos de leitos fluviais. **Noticias Geomorfológicas**, São Paulo, 6 (11): p. 41-49, 1966.

VIEIRA, S. **Estatística Experimental**. São Paulo: Atlas, 185p. 1999.

WOLMAN, M. G. Factors influencing erosion of a cohesive river bank. **American Journal science**. 257, p.204-216. 1959.

ANEXOS

ANEXO 1 - Características dos barrancos das margens

Média geral entre os 8 pontos					
Seção	Densidade	Porosidade	Umidade (%)	Resistência	Declividade (°)
1,00	0,87	0,67	44,88	131,46	56,96
2,00	0,87	0,67	37,90	126,22	55,67
3,00	0,92	0,65	32,92	191,55	48,69
4,00	1,02	0,61	31,63	183,18	58,44
5,00	0,75	0,72	12,25	80,20	36,42
6,00	1,08	0,59	36,25	186,82	72,54
7,00	1,02	0,62	33,98	172,24	53,88
8,00	0,89	0,66	23,47	126,68	46,46
Média Gera	0,93	0,65	31,66	149,79	53,63
desv. Pad	0,11	0,04	9,90	39,65	10,47

Fonte: Dados de campo (2010 – 2012).

Org. Wolliver Anderson Dias (2012).

ANEXO 3 – Exemplo de conversão (Kpa) dos valores de resistência obtidos em campo (seção 2)

Tabulação Vane		Conversão (Kg/cm ²		Kpa
	CI102			
3,40	3,40	0,27	0,93	92,96
4,60	4,60	0,27	1,26	125,76
4,20	4,20	0,27	1,15	114,83
4,50	4,50	0,27	1,23	123,03
5,40	5,40	0,27	1,48	147,64
4,00	4,00	0,27	1,09	109,36
5,00	5,00	0,27	1,37	136,70
4,40	4,40	0,27	1,20	120,30
4,20	4,20	0,27	1,15	114,83
4,60	4,60	0,27	1,26	125,76
3,80	3,80	0,27	1,04	103,89
4,00	4,00	0,27	1,09	109,36
5,00	5,00	0,27	1,37	136,70
5,20	5,20	0,27	1,42	142,17
4,00	4,00	0,27	1,09	109,36
5,00	5,00	0,27	1,37	136,70
5,40	5,40	0,27	1,48	147,64
5,40	5,40	0,27	1,48	147,64
4,40	4,40	0,27	1,20	120,30
6,40	6,40	0,27	1,75	174,98
4,80	4,80	0,27	1,31	131,23
5,00	5,00	0,27	1,37	136,70
5,90	5,90	0,27	1,61	161,31
2,20	2,20	0,27	0,60	60,15
média	4,62			126,22
	0,87			23,65

Fonte: Dados de campo (2010 – 2012).

Org. Wolliver Anderson Dias (2012).

ANEXO 4 – Exemplo de dados coletados no monitoramento (seção 2)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	5	5	5	5	5	5	13	5	26	5	5	instalação dos pinos		
2		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	24/10/10		
3		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
4														
5	5	5	5	5,2	5,5	17	5	27,6	6,5	7	04/03/11	média	-0,7392857	
6		5,2	5,3	5	6	7	6	7,5	6	6		desv.	1,04539175	
7		5,2	5	6	5,2	5	3,5	5	6	6		total	28	
8												remoção	19	
9	0	0	0	-0,2	-0,5	-4	0	-1,6	-1,5	-2	Evolução	acumulo	1	
10		-0,2	-0,3	0	-1	-2	-1	-2,5	-1	-1		nulo	8	
11		-0,2	0	-1	-0,2	0	1,5	0	-1	-1				
12														
13	Seção 2		<								24/10/10			
14	5	5	5	5	5	13	5	26	5	5				
15		5	5	5	5	5	5	5	5	5				
16		5	5	5	5	5	5	5	5	5				
17														
18	4,5	6	5	5	8	13	5	26,4	5	8	28/04/11			
19		5,2	3,4	4	4,7	6,8	4	5	5,6	5,2		média	-0,0964286	
20		3,5	5	4,5	5,5	4,2	4,5	4	5	5,7		desv.	1,09898342	
21												total	28	
22	0,5	-1	0	0	-3	0	0	-0,4	0	-3	Evolução	remoção	5	
23		-0,2	1,6	1	0,3	-1,8	1	0	-0,6	-0,2		acumulo	19	
24		1,5	0	0,5	-0,5	0,8	0,5	1	0	-0,7		nulo	4	
25														
26	4,5	6	5	5	8	13	5	26,4	5	8	28/04/11			
27		5,2	3,4	4	4,7	6,8	4	5	5,6	5,2				
28		3,5	5	4,5	5,5	4,2	4,5	4	5	5,7				
29														
30	4,5	5,8	4,5	4,9	5	14	5	26	5,5	6,5	21/06/11			
31		5,5	3,6	4,2	5	6,5	4,6	5,5	5,8	5				
32		4	5,5	5,5	5,5	4,7	4	5,4	5,2	6		média	-0,0535714	
33												desv.	0,81671526	
34	0	0,2	0,5	0,1	3	-1	0	0,4	-0,5	1,5	Evolução	total	28	
35		-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	0,3	-0,6	-0,5	-0,2	0,2		remoção	16	
36		-0,5	-0,5	-1	0	-0,5	0,5	-1,4	-0,2	-0,3		acumulo	9	
37												nulo	3	
38	4,5	5,8	4,5	4,9	5	14	5	26	5,5	6,5	21/06/11			
39		5,5	3,6	4,2	5	6,5	4,6	5,5	5,8	5				
40		4	5,5	5,5	5,5	4,7	4	5,4	5,2	6				
41														
42	4,4	4,9	4,5	4,9	5,4	13,5	3,5	26,8	5,9	6,8	10/07/2011			
43		5,6	4,2	4,3	5,2	6,7	3,5	7,3	6	5,3		média	0,02857143	

Fonte: Dados de campo (2010 – 2012)

Org. Wolliver Anderson Dias (2012)

ANEXO 5 - Quantificação das taxas de erosão

36	Quantificação das taxas de erosão						
37	Seção	Rebaixament	Densidade		Kg/m²	Dimensão (m	Erosão total
38	1,00	-11,58	0,87	-10,07	-100,70	4,00	-402,80
39	2,00	-0,88	0,87	-0,77	-7,70	4,50	-34,65
40	3,00	-9,90	0,92	-9,11	-91,10	5,25	-478,28
41	4,00	-2,27	1,02	-2,32	-23,20	6,00	-139,20
42	5,00	-6,01	0,75	-4,51	-45,10	8,00	-360,80
43	6,00	-2,45	1,08	-2,65	-26,50	3,75	-99,38
44	7,00	-1,86	1,02	-1,90	-19,00	3,00	-57,00
45	8,00	-1,52	0,89	-1,35	-13,00	2,00	-26,00
46	Rio Guabiob	-4,56	0,93	-4,23	-42,00		
47	desv. Pad	4,13	0,11	3,58	35,85		
48	% Pontos	remoção	acumulo	total	c/remoção%	s/remoção%	GERAL
49	1,00	25,00	1,00	26,00	96,15	3,85	
50	2,00	23,00	5,00	28,00	82,14	17,86	
51	3,00	30,00	0,00	30,00	100,00	0,00	
52	4,00	37,00	1,00	38,00	97,37	2,63	
53	5,00	40,00	3,00	43,00	93,02	6,98	
54	6,00	22,00	0,00	22,00	100,00	0,00	
55	7,00	17,00	1,00	18,00	94,44	5,56	
56	8,00	40,00	1,00	41,00	97,56	2,44	
57	total	234,00	12,00	246,00	95,12	4,88	

Fonte: Dados de campo (2010 – 2012)

Org. Wolliver Anderson Dias (2012).

ANEXO 6 – Análise textural do material coletado

1	Gleba	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	*	Tipo **
2	P1	37,00	28,00	35,00	média	3
3	P2 até 1 mt	32,00	31,00	37,00	média	3
4	P2 de 1 a 1,4 mt	39,00	28,00	33,00	média	2
5	P3 até 1,7 mt	34,00	30,00	36,00	média	3
6	P4 até 0,7 mt	33,00	29,00	38,00	média	3
7	P4 até 1,5 mt	32,00	17,00	51,00	Argilosa	3
8	P4 até 1,5 mt (0,30 cm esp.)	33,00	22,00	45,00	Argilosa	3
9	P5	36,00	29,00	35,00	média	3
10	P6 A – Até 0,40	36,00	26,00	38,00	média	3
11	P6 B – Até 0,87	37,00	29,00	34,00	média	2
12	P6 B1 – até 0,93	26,00	22,00	52,00	Argilosa	3
13	P6 B2 – até 1 mt	28,00	26,00	46,00	Argilosa	3
14	P6 B3 – Até 1,4 mt	18,00	21,00	61,00	Muito Argilos	3
15	P6 Intrusão	49,00	26,00	25,00	média	2
16	P7 A	35,00	27,00	38,00	média	3
17	P7 B	33,00	25,00	42,00	Argilosa	3
18	P7 C	31,00	23,00	46,00	Argilosa	3
19	P8 Até 1,0	42,00	19,00	39,00	média	3
20	P8 Até 1,5 mt	38,00	19,00	43,00	Argilosa	3
21	* Classificação textural de solo (EM	34,16	25,11	40,74		
22		6,38	4,14	8,18		

Fonte: Dados de campo (2010 – 2012)

Org. Wolliver Anderson Dias (2012).