



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ
Departamento de Engenharia Civil

**TOPOBATIMETRIA E GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE
TERRENO NO MONITORAMENTO DA DINÂMICA
FLUVIAL DO RIBEIRÃO GUARATINGUETÁ**

William Ribeiro Martins

Guaratinguetá
2013

WILLIAM RIBEIRO MARTINS

**TOPOBATIMETRIA E GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE
TERRENO NO MONITORAMENTO DA DINÂMICA FLUVIAL DO
RIBEIRÃO GUARATINGUETÁ**

Trabalho de Graduação apresentado
ao Conselho de Curso de Graduação
em Engenharia Civil da Faculdade de
Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos
para obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Isabel Cristina de Barros Trannin

Guaratinguetá
2013

M386t	Martins, William Ribeiro Topobatimetria e geração de Modelo Digital de Terreno no monitoramento da dinâmica fluvial do ribeirão Guaratinguetá / William Ribeiro Martins – Guaratinguetá : [s.n], 2013. 64 f. : il. Bibliografia : f. 46-51 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013. Orientadora: Prof^a Dr^a Isabel Cristina de Barros Trannin 1. Bacias hidrográficas 2. Meio ambiente I. Título CDU 556.51
-------	---



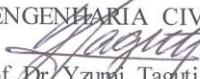
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

**TOPOBATIMETRIA E GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO
NO MONITORAMENTO DA DINÂMICA FLUVIAL DO RIBEIRÃO
GUARATINGUETÁ**

WILLIAM RIBEIRO MARTINS

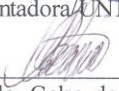
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL

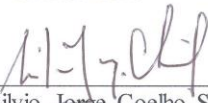
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Prof. Dr. Yzumi Taguti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof.^ª Dr.^ª Isabel Cristina de Barros Trannin
Orientadora/UNESP-FEG


Doutorando Celso de Souza Catelani
UNESP-FEG


Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões
UNESP/FEG

Novembro de 2013

DADOS CURRICULARES**WILLIAM RIBEIRO MARTINS**

NASCIMENTO	28.12.1987 – Guarulhos/SP
FILIAÇÃO	Afonso Martins Filho Maria José Ribeiro Martins
2008/2013	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista

Aos meus pais,
Afonso e Maria José.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Afonso Martins Filho e Maria José Ribeiro Martins, e irmão, Wagner Ribeiro Martins, pelo suporte e carinho.

À Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.

À Prof. Isabel C. B. Trannin pela orientação, conhecimentos e a oportunidade de trabalhar neste projeto.

Ao Prof. Silvio J. C. Simões pelo aprendizado e oportunidades.

Ao Celso S. Catelani pelo aprendizado e colaboração no trabalho.

Ao Matheus R. N. Vilanova pelo aprendizado.

Ao David D. Neto e ao Danilo Brandão pela ajuda e companheirismo nos levantamentos.

E a todos os professores que passaram pela minha vida.

MARTINS, W.R. **Topobatimetria e geração de Modelo Digital de Terreno no monitoramento da dinâmica fluvial do ribeirão Guaratinguetá**. 2013. 64 f. Monografia (Graduando em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de criar um Modelo Digital de Terreno (MDT), a partir de levantamento topobatimétrico, que possibilite o monitoramento da dinâmica fluvial de um trecho do ribeirão Guaratinguetá, onde avaliações preliminares identificaram mudanças intensas em seu leito em curto período de tempo. Para os levantamentos topobatimétricos foram aplicadas técnicas e ferramentas modernas de topografia, como o uso de GPS geodésico e de Estação Total. O MDT foi fundamental para o projeto e execução das obras de desassoreamento do trecho estudado do ribeirão, sendo utilizado para estimar o volume de terra a ser movimentado. A comparação entre os modelos digitais de terreno gerados antes e após o desassoreamento evidenciou a eficácia e a aplicabilidade desta técnica no monitoramento das mudanças da dinâmica fluvial do ribeirão Guaratinguetá.

PALAVRAS-CHAVE: Topografia, Recursos hídricos, Assoreamento, Erosão, Monitoramento ambiental.

MARTINS, W.R. **Topo-bathymetry and generation of the Digital Terrain Model in Guaratinguetá's creek dynamics fluvial monitoring.** 2013. 64 f. Monograph (Civil Engineering Graduate) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

This research was developed with the goal of creating a Digital Terrain Model(DTM),through a topo-bathymetric data gathering that allows the monitoring of the fluvial dynamics of part of Guaratinguetá's creek, where preliminary evaluations identified, in a short period of time, intense changes on its riverbed. Modern topography technics and tools were used for the data gathering, such as the use of geodesic GPS and Total Station. The DTM was primal for the project e execution of the desilting works of the researched part of the creek, being used to estimate the amount of soil to be moved. The comparison between the digital terrain models generated before and after the desilting has showed the efficiency and aplicability of this technique in the monitoring of the fluvial dynamics changes of Guaratinguetá's creek.

KEYWORDS: Topography, Water Resources, Siltation, Erosion, Enviromental Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A bacia hidrográfica como unidade de planejamento (Modificada de Dobson & Beck 1999).	3
Figura 2 - Padrões de drenagem em cursos de água (Bigarella; Suguio; Becker, 1979)	6
Figura 3 - Teodolito óptico, onde VV representa o eixo principal, HH o eixo secundário, ZZ o eixo óptico do teodolito e LL o eixo do nível da alidade (FONTE, Textos de apoio de Topografia).	11
Figura 4 - Teodolito Eletrônico ET 05 Ruide (Antunes, 1995).	12
Figura 5 - Estação Total Ruide RTS 862/R e prisma	12
Figura 6 - Exemplo de um perfil batimétrico.	13
Figura 7 - Mapa planialtimétrico e de uso e ocupação do solo da propriedade rural do município de Laurentino-SC, com a delimitação das áreas destinadas à recuperação e à reposição florestal (Testoni, 2010).	14
Figura 8 - Perspectiva do terreno construída de um MDT de um trecho do ribeirão Guaratinguetá, Vale do Paraíba (SP).	18
Figura 9 - Curvas de nível interpoladas de um MDT de um trecho do ribeirão Guaratinguetá, Vale do Paraíba (SP).	18
Figura 10 - Localização da bacia do ribeirão Guaratinguetá (Soares, 2005).	19
Figura 11 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, com recorte da área da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (IPT, 1981).	20
Figura 12 - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, com recorte da bacia do ribeirão Guaratinguetá (CPTI, 2001).	21
Figura 13 - Mapa da rede de drenagem da bacia do ribeirão Guaratinguetá (Soares, 2005).	22
Figura 14 - a) Ilhotas e outros depósitos no interior do ribeirão Guaratinguetá. b) Seixos transportados no ribeirão Guaratinguetá	24
Figura 15 - Formas meandantes com margem de agradação (deposição) e margens côncavas com degradação (erosão) no Ribeirão Guaratinguetá.	25
Figura 16 - Gráfico de velocidade média considerando o diâmetro das partículas e a condição do material particulado em um curso de água (SUGUIO & BIGARELLA, 1990).	26
Figura 17 - Solo preparado para o plantio de milho (a) e plantio de arroz irrigado por inundação (b).	27
Figura 18 - Gleissolo em área de várzea, ocupada com rizicultura, altamente susceptível a processos erosivos.	27
Figura 19 - Mapa topográfico regional e esboço topográfico da área experimental selecionada 1) Assoreamento; 2) processos erosivos em estágio avançado; 3) Formas meandantes com margem de agradação e margens côncavas com degradação e 4) variações fluviais provocadas pelo anastomosamento e meandramento do canal (TERRAFOTO, 1978).	29
Figura 20 - Estação Total Ruide RTS 862/R	30
Figura 21- GPS Geodésico L1 - L2 ProMark 200, da marca ASHTECH	31
Figura 22 - Total Station Dispose – (Software fornecido pelo fabricante).	32
Figura 23 - Levantamento topobatimétrico da área experimental do ribeirão Guaratinguetá, empregando Estação Total e GPS geodésico.	35

Figura 24 - Modelo Digital de Terreno (MDT) da área experimental do ribeirão Guaratinguetá, destacando o padrão meandrante e anastomosado e as áreas mais afetadas pelo processo de assoreamento. _____	36
Figura 25 - Modelo Digital do Terreno de um trecho da área experimental com curvas de nível _____	37
Figura 26 - Início do desassoreamento do leito do ribeirão Guaratinguetá no trecho da área experimental, no período de 09 a 13 de julho de 2012. _____	37
Figura 27 - Desassoreamento do leito e reconstrução das margens na área experimental do ribeirão Guaratinguetá, no período de 13 a 17 de agosto de 2012. _____	38
Figura 28 - Pastagem no trecho da área experimental do ribeirão Guaratinguetá sujeita à inundação e atuação de processos erosivos. _____	39
Figura 29 - Modelo Digital de Terreno (14/08/2012) da área experimental do ribeirão Guaratinguetá após o desassoreamento. _____	40
Figura 30 - Área experimental do ribeirão Guaratinguetá utilizada pelos pecuaristas para a dessedentação do gado. _____	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados hidrológicos e hidrográficos da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP).	23
Tabela 2 - Classes de Estação Total, conforme a NBR 13.133/1994 da ABNT	30

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. REFERENCIAL TEÓRICO	3
3.1. A bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão	3
3.2. Padrões de drenagem	5
3.3. Processos erosivos e assoreamento de rios	9
3.4. Topografia e equipamentos topográficos	10
3.5. Levantamentos Topográficos e batimétricos	13
3.6. Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE)	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. Localização e caracterização geral da área de estudo	19
4.1.1. A bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá	19
4.1.2. Geologia e Geomorfologia	20
4.1.3. Densidade de Drenagem	21
4.1.4. Dados hidrográficos e hidrológicos da bacia	22
4.1.5. Variações fluviais no canal do ribeirão Guaratinguetá	23
4.2. Delimitação da área experimental	28
4.3. Levantamentos topobatimétricos	30
4.4. Criação do Modelo Digital de Terreno (MDT)	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1. Levantamentos topobatimétricos da área experimental	34
5.2. Modelo Digital do Terreno	35
5.3. Desassoreamento do leito do ribeirão na área experimental	37
5.4. Modelo digital do terreno após desassoreamento	39
5.5. Propostas para a melhoria da qualidade do solo e da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá	41
5.5.1. Proteção ao acesso de animais	41
5.5.2. Uso controlado de defensivos agrícolas	42
5.5.3. Conservação do Solo e da Água	42
5.5.4. Proteção das margens	43
5.5.5. Revegetação das margens	43
6. CONCLUSÕES	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

O assoreamento de rios depende de processos naturais, que muitas vezes são influenciados por ações antrópicas. Fatores como as estruturas geológica e pedológica, as condições climáticas, o relevo, a rede de drenagem, as características hidráulicas dos canais e o uso e ocupação do solo, estão relacionados ao processo de assoreamento dos rios. O uso e ocupação do solo de forma inadequada podem contribuir para a desagregação do solo ou da rocha, para a formação de sedimentos e consequente arraste destes para o leito dos rios.

No caso da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, no trecho próximo ao contato entre as rochas pré-cambrianas com as rochas sedimentares, o ribeirão possui formas complexas de padrões de drenagem, envolvendo intensa erosão de margem, presença de extensos bancos de areia e de seixos que podem alcançar dimensões superiores a 30 cm (FERREIRA, 2011).

Este conjunto de processos e desequilíbrios fluviais tende a se agravar devido à ocupação inadequada das áreas de preservação permanente da bacia, onde se desenvolve a pecuária extensiva e a rizicultura nas margens do ribeirão e em suas várzeas. Desta forma, além dos processos naturais, os impactos dessa ocupação têm estimulado as mudanças na dinâmica fluvial do ribeirão, causando alterações no escoamento das águas, no fluxo de sedimentos e na instabilidade de sua calha, com consequências para a comunidade envolvida. Para uma eficaz proposta na gestão e manejo dos recursos naturais é indispensável o desenvolvimento de ferramentas eficientes, que permitam o monitoramento e a análise das bacias hidrográficas como um todo.

Neste contexto, a proposta desse estudo foi criar modelos digitais de terreno (MDT) que possibilitem monitorar as mudanças na dinâmica fluvial de um trecho do ribeirão Guaratinguetá.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar dados topobatimétricos para a criação do modelo digital de terreno (MDT), que possibilite o monitoramento da dinâmica fluvial de um trecho do ribeirão Guaratinguetá, onde avaliações preliminares identificaram mudanças intensas em seu leito.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, desenvolveram-se os seguintes objetivos específicos:

- A aplicação de técnicas e ferramentas modernas da área de topografia, como o uso de GPS geodésico e de Estação Total, para os levantamentos topobatimétricos.
- Processar os dados obtidos em levantamentos topobatimétricos para possibilitar a criação do modelo digital do terreno (MDT), cuja metodologia poderá ser aplicada a outras áreas da Engenharia Civil.
- A proposição da técnica de topobatimetria para a criação do MDT, por meio do qual será possível monitorar a dinâmica fluvial de um dos trechos mais impactados pelas mudanças de leito do ribeirão Guaratinguetá.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. A bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão

A bacia hidrográfica tem recebido diferentes definições que, em maioria, é descrita como um sistema integrado pelos meios físicos, biótico e antrópico. No entanto, o conceito mais adotado é o de Hynes (1975), que descreve a bacia hidrográfica como um sistema biofísico e sócio-econômico, interdependente e integrado, composto de atividades agrícolas, industriais, urbanas, contendo diferentes tipos de vegetação, nascentes, córregos e riachos, lagoas, morros, planícies, escarpas, enfim, um infindável conjunto de habitats e unidades de paisagem (Figura 1). Assim, a bacia tem como importante característica o fato de ser uma unidade funcional, com processos e interações ecológicas passíveis de serem estruturalmente caracterizados, quantificados e matematicamente modelados.

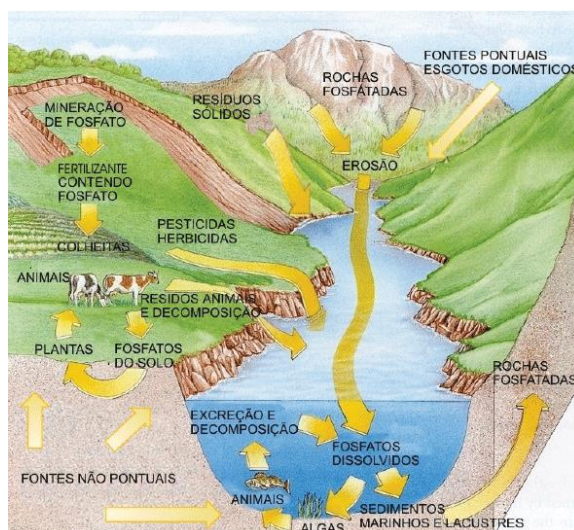


Figura 1 - A bacia hidrográfica como unidade de planejamento (Modificada de Dobson & Beck 1999).

O uso e ocupação do solo, o manejo e a preservação de bacias hidrográficas tornaram-se temas relevantes nos últimos anos, visto que, as consequências da falta de proteção de áreas de preservação permanente e de planejamento para o desenvolvimento das atividades econômicas têm causado a crescente escassez e a deterioração dos recursos naturais (FERREIRA, 2011). Desta forma, as bacias

hidrográficas têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação, para facilitar a abordagem sobre os recursos naturais, em especial, os hídricos.

Os limites de uma bacia hidrográfica podem ser estabelecidos por bases cartográficas que contenham cotas altimétricas, como as cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélite (SILVEIRA, 1993).

Vilaça et al. (2009) consideram que o comportamento de uma bacia hidrográfica ao longo do tempo pode ser alterado por dois fatores, sendo eles, de ordem natural, responsáveis pela pré-disposição do meio à degradação ambiental e antrópicos, onde as atividades humanas interferem de forma direta ou indireta no funcionamento da bacia. Além disso, com a subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em seus componentes (sub-bacias hidrográficas), as transformações de condições difusas de problemas ambientais para condições pontuais, facilitam sua identificação, seu controle e o estabelecimento de prioridades para a atenuação ou mitigação dos impactos ambientais provocados pelas atividades antrópicas (FERREIRA, 2011).

De acordo com Beltrame (1994), o diagnóstico dos recursos naturais em um dado espaço geográfico é um instrumento necessário em trabalhos que visem à preservação e a conservação.

O conceito de bacia hidrográfica tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável. Em um estudo hidrológico, o conceito de bacia hidrográfica representa a unidade mais apropriada para análises qualitativas e quantitativas do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes (PIRES et al., 2002). De acordo com estes autores, a adoção do conceito de bacia hidrográfica para a conservação de recursos naturais está relacionada à possibilidade de avaliar, em uma determinada área geográfica, o seu potencial de desenvolvimento e a sua produtividade biológica, determinando as melhores formas de aproveitamento dos mesmos com o mínimo impacto ambiental. Nesse sentido, as abordagens metodológicas utilizadas para estudar e gerenciar o espaço físico compreendido pela bacia hidrográfica devem

estar relacionadas às teorias e aos modelos que possam explicar, prever e organizar adequadamente as informações úteis ao processo de gestão ambiental.

Os estudos da rede hidrográfica permitem avaliar desde a disponibilidade de recursos hídricos, por exemplo, para a irrigação, até o estado de degradação das áreas adjacentes em função da constatação da alta carga de sedimentos transportados e/ou assoreados no leito do rio. O arranjo da rede de drenagem é reflexo da interação de um conjunto de variáveis físicas, como clima, relevo, solo, substrato rochoso e vegetação. A partir da análise criteriosa dessas variáveis que compõem a rede de drenagem, torna-se possível tecer considerações acerca da bacia que está em estudo.

3.2. Padrões de drenagem

O leito fluvial corresponde ao espaço físico ocupado pelo escoamento das águas e tradicionalmente é compartimentado em três setores: leito menor, leito maior e leito maior excepcional. Entretanto, a caracterização dos tipos de leito, nem sempre é uma tarefa simples, uma vez que as interfaces nem sempre são bem definidas e suas inter-relações podem variar de um curso d'água para outro ou mesmo em setores diferentes de um mesmo curso d'água (FERREIRA, 2011).

O leito menor é a porção do curso d'água que possui margens bem definidas, correspondendo à parte do canal ocupada pelas águas e cuja frequência é um impeditivo para o crescimento e desenvolvimento da vegetação.

O leito maior, também denominado periódico ou sazonal, é ocupado pelas águas ao menos uma vez por ano, durante o período chuvoso. Ao contrário do leito menor, nestas condições é possível ocorrer a fixação de vegetação adaptada a estes ambientes. O leito maior excepcional é ocupado durante as grandes cheias, no decorrer das enchentes. A frequência de ocorrência de escoamento neste tipo de leito depende da variabilidade climática regional. No caso da bacia do rio Paraíba do Sul, em 2009, a maior parte dos cursos d'água teve um comportamento de cheia excepcional, atingindo áreas relativamente bem distantes do seu leito menor.

Outro aspecto que classifica um curso d'água é a fisionomia que este apresenta

ao longo de seu perfil longitudinal que, de acordo com Leopold & Wolman (1960), pode ser retilínea, anastomosada e meândrica (Figura 2).

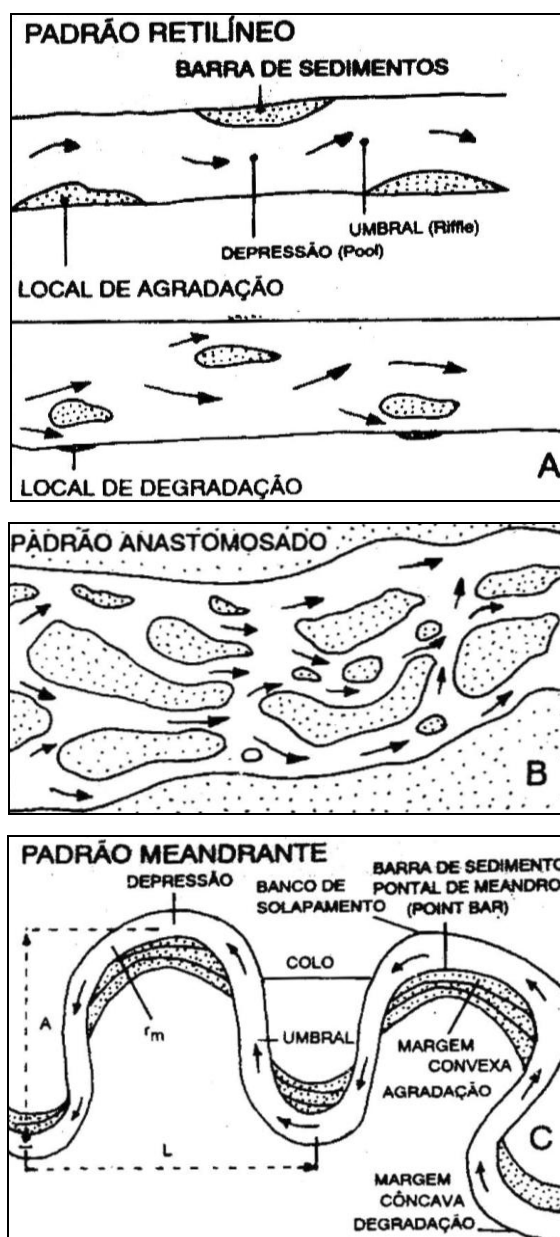


Figura 2 - Padrões de drenagem em cursos de água (Bigarella; Suguio; Becker, 1979)

Esta classificação é resultante de um conjunto de fatores incluindo descarga líquida, carga sedimentar, declividade, largura, profundidade do leito, velocidade de fluxo e rugosidade do leito (SUGUIO & BIGARELLA, 1990). De fato, na natureza existem diversos padrões de drenagem intermediários, ou que representam subdivisões destes padrões principais. Desta forma, Schumm (1977), com base apenas na sinusiodade, dividiu os canais de drenagem em, meandrante (tortuoso, irregular e regular), transicional e reta. Já a classificação de Kellerhals et al. (1976) considera

questões relacionadas a obras de engenharia, levando em conta a forma dos canais, a presença de ilhas e da rugosidade do fundo do leito fluvial.

Os canais retilíneos são pouco frequentes e representam trechos curtos, a não ser quando são controlados por lineamentos tectônicos. A condição básica para a existência de um canal retilíneo está associada a um leito homogêneo e que não ofereça resistência ao fluxo da água. Os canais anastomosados caracterizam-se por apresentar volume significativo de carga de fundo que, associado às variações de descarga, formam múltiplos canais separados por ilhas assimétricas, de composição arenosa e/ou pedregosa, situadas no interior do leito. Conforme ressalta Cunha (1995), o perfil transversal dos canais anastomosados é largo, raso e grosseiramente simétrico com pontos altos formados pelos bancos de areia, e baixos, que são os talvegues dos canais. O padrão anastomosado se desenvolve quando ocorre um conjunto de condições favoráveis, de natureza climática, pedológica, geomorfológica e geológica. O padrão meandrante está associado às regiões de clima úmido e com boa cobertura vegetal e, ao contrário do anastomosado, possui um único canal, que transborda na época das cheias. Os meandros se desenvolvem melhor na presença de camadas sedimentares de granulação móvel, terrenos com baixas declividades e cargas de fundo e em suspensão relativamente equivalentes (SUGUIO & BIGARELA, 1990). Desta forma, transportam material fino, considerando que a capacidade de transporte é bem mais baixa e uniforme quando comparada aos canais anastomosados. Os padrões meândricos representam uma condição de estabilidade do canal e um ajustamento às variáveis hidrológicas incluindo largura e profundidade do canal, velocidade dos fluxos, rugosidade do leito, carga sólida e vazão. Entretanto, esta estabilidade é relativamente frágil, particularmente em ambientes altamente modificados pela ação antrópica, como por exemplo, as áreas férteis próximas aos meandros, que são utilizadas para atividades agropecuárias. Silva e Wilson Junior (2007) ressaltam que a interferência antrópica de forma descontrolada e intensa em uma bacia altera o equilíbrio sedimentológico de seus cursos d'água, e dificulta ou até mesmo impossibilita fazer correlações analíticas entre parâmetros hidráulicos e sedimentológicos.

Esta diversidade de padrões pode assumir formas complexas, ou seja, a

superposição de configurações fluviais (anastomosado e meandrante) em um mesmo local (SUGUIO & BIGARELLA, 1990). Neste aspecto, a evolução geológica e geomorfológica pode assumir uma significativa importância para gerar padrões fluviais de maior complexidade.

A região do Vale do Paraíba é uma das mais variadas e interessantes do ponto de vista geológico e geomorfológico do país. A reativação tectônica da plataforma brasileira, ocorrida durante o período Cenozóico, criou as condições para a evolução, na região, de um sistema de *rift* responsável pela grande diversidade geológica encontrada na região, que por sua vez, veio acompanhada de uma significativa variedade nas formas de relevo (PONÇANO et al., 1981).

Ao contrário do modelo largamente difundido de bacias hidrográficas, com relevos sendo progressivamente atenuados de montante a jusante, o processo de tectonismo ocorrido na região produziu bacias hidrográficas de afluentes com sistemas de drenagem peculiares, nos quais as porções de relevo íngreme (a montante) contrastam claramente com as regiões de baixas a baixíssimas declividades, encontradas na região próxima ao exutório (SOARES, 2005). Esta “quebra de relevo” nítida e acentuada estabeleceu um comportamento geométrico dos cursos d’água que, muitas vezes, não se coadunam com os padrões de drenagem clássicos. Em alguns casos, observa-se uma maior complexidade nestes sistemas de drenagem evidenciados, principalmente, pela sobreposição de mais de um padrão de drenagem.

O conhecimento mais detalhado da dinâmica dos sistemas de drenagem superficial é fundamental para a compreensão dos processos do meio físico de natureza hidroclimatológica que ocorrem em uma bacia hidrográfica. Os processos hidroclimatológicos que interferem no meio físico, incluem os de movimentação lenta, como os que promovem o assoreamento do leito do rio, bem como os de movimentação rápida, como o de inundação. Desta forma, a análise dos padrões de drenagem, fornece subsídios à compreensão do funcionamento de uma bacia hidrográfica e de sua suscetibilidade à ocorrência de desastres naturais, particularmente os relacionados às inundações intensas ou *flash flood* (BRASS, 1990; RUIZ-VILLANUEVA ET AL., 2010; ORTEGA & HEYDT, 2009). Estes processos estão relacionados a fenômenos de baixa previsibilidade que, por consequência, podem

promover alterações irreversíveis ao meio físico e causar acidentes fatais e graves prejuízos econômicos.

As chuvas que ocorreram nos últimos verões (2008/2009/2010) afetaram de maneira significativa várias regiões do país causando graves desastres naturais, como inundações e escorregamentos. Na região do Vale do Paraíba, estes processos apresentaram intensidade variada tendo, em alguns casos, repercussão nacional como os que ocorreram no município de Guaratinguetá.

O ribeirão Guaratinguetá é um dos afluentes da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, constituindo o principal manancial de abastecimento público do município. Pode-se afirmar que esta bacia é representativa das atividades econômicas desenvolvidas na região do Vale do Paraíba, sendo considerada pelo Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBH-PS), como uma das sub-bacias prioritárias para a implementação de programas de melhoria da quantidade e da qualidade de água.

3.3. Processos erosivos e assoreamento de rios

As principais causas do assoreamento de rios, ribeirões, córregos, lagos, lagoas e nascentes estão relacionadas aos desmatamentos, tanto das matas ciliares quanto das demais coberturas vegetais que, naturalmente, protegem os solos. A exposição dos solos para o desenvolvimento de práticas agrícolas, exploração agropecuária, mineração ou para ocupações urbanas, em geral, é acompanhada de movimentação e impermeabilização do solo. Estas intervenções antrópicas estimulam os processos erosivos e o transporte de sedimentos orgânicos e inorgânicos para os leitos dos cursos d'água, causando o assoreamento.

Alguns estudos comprovam que quando o produtor rural não possui técnicas adequadas de uso e manejo do solo, de modo a prevenir a instalação de processos erosivos, as perdas são da ordem de 15 a 20 toneladas de solo $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (PÁDUA, 2002; RIBEMBOIN, 1997). O solo que se desprende da margem do rio é levado pela correnteza até se depositar em algumas áreas e, a repetição desse processo, gera o

assoreamento. As consequências desse processo é a submersão das margens e o alargamento dos rios, o que aumenta os riscos de, no período de chuvas, um pequeno aumento no volume ocasionar inundações.

A erosão hídrica é o meio mais comum de transporte do solo pelas vertentes dos vales, através do soterramento de brotas de águas e pequenos cursos, nos córregos, riachos e rios, aumentando o nível de terra submersa que origina as grandes enchentes e mudanças no curso da água (Miguel e Santos, 2007).

O assoreamento pode não estagnar um rio, mas provoca mudanças drásticas em seu curso. Alguns pesquisadores (FRANZINELLI, 2011; RODRIGUES 2009) relatam que o rio Amazonas, antigamente corria para o Oeste e atualmente corre a Leste e, apesar dos muitos sedimentos que geraram esta mudança, ele não deixou de fluir. Por outro lado, o assoreamento pode destruir lagos e reservatórios e afetar a produção de energia de usinas hidrelétricas.

A recuperação de rios assoreados pode ser feita pela adoção de algumas medidas como a determinação das áreas de maior vazão de sedimentos, buscando adotar medidas de retenção e filtração do escoamento ou o desassoreamento, com posterior contenção das margens por meio da revegetação ou da aplicação de técnicas de bioengenharia (DURLO & SUTILI, 2012).

3.4. Topografia e equipamentos topográficos

A topografia visa determinar e representar a forma, a dimensão e a posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, desconsiderando a curvatura resultante da esfericidade terrestre, ou seja, esta técnica tem como finalidade projetar sobre um plano, que se supõe horizontal, não apenas os limites da superfície que se deseja representar, assim como todas as particularidades notáveis, naturais ou artificiais do terreno, utilizando aparelhos como o teodolito e as estações totais, pode-se gerar um levantamento planimétrico e altimétrico através de medidas angulares e lineares (PERINI et al., 2011).

Um teodolito é construído de forma que seus eixos obedeçam a diversas condições e quando alguma delas não é seguida o teodolito apresentará erros nas suas leituras (ANTUNES, 1995).

O teodolito óptico é constituído de uma parte fixa, a base, onde ele se apoia e outra parte móvel, a alidade, que é susceptível de giro em torno do eixo principal do teodolito. O eixo da luneta chama-se eixo secundário ou eixo dos munhões. A luneta dispõe, ainda, de um eixo óptico, que deve passar pelo centro do teodolito. Associado ao eixo principal existe o limbo azimuthal ou horizontal e associado ao eixo secundário existe o limbo vertical (FONTE, Textos de apoio de Topografia). Na figura 3, podem ser observados os eixos de um teodolito.

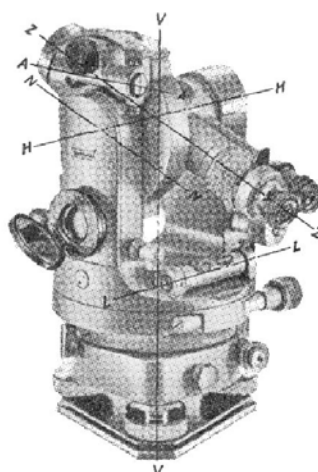


Figura 3 - Teodolito óptico, onde VV representa o eixo principal, HH o eixo secundário, ZZ o eixo óptico do teodolito e LL o eixo do nível da alidade (FONTE, Textos de apoio de Topografia).

O teodolito eletrônico é muito semelhante ao óptico, na estrutura e nos princípios básicos de medição de ângulos (Figura 4). As diferenças estão no sistema de leitura, registro e manuseio de dados. Neste caso, o processo é feito eletronicamente e controlado por um microprocessador. Com a possibilidade da armazenagem de dados pode-se dispensar o registro dos dados por parte do observador ou anotador em folhas ou cadernetas de papel, garantindo, assim, maior validação dos dados adquiridos no campo (ANTUNES, 1995).



Figura 4 - Teodolito Eletrônico ET 05 Ruide (Antunes, 1995).

A Estação Total é um equipamento que faz medições de ângulos e distâncias (Figura 5). Para medir opticamente as distâncias, a estação total faz uso de raios infravermelhos com ou sem utilização de prismas de reflexão. A Estação Total lança um feixe de raios infravermelhos direcionados que reflete em um prisma colocado sobre o ponto que se deseja medir, o raio chega ao prisma e retorna à estação. Este processo é repetido três vezes onde é gravada a distância junto a posição do eixo X,Y. A não utilização do prisma pode gerar certa imprecisão na captura do ponto, uma vez que muitas superfícies não são suficientemente reflexivas (GOMES, 2003).



Figura 5 - Estação Total Ruide RTS 862/R e prisma

3.5. Levantamentos Topográficos e batimétricos

Conforme a definição da NBR 13.133, um levantamento topográfico é um “conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando à sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e a sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ou pontos cotados”.

A batimetria é uma técnica utilizada para a obtenção de medidas de profundidades, ou seja, para medir a distância vertical entre a superfície da água e o leito abaixo dela, em corpos d’água (PACHECO, 2010).

A forma mais comum de realizar um levantamento batimétrico é utilizando réguas ou cordas graduadas esticadas ao longo do local. Com uma régua rígida e pesada, faz-se a leitura das profundidades ao longo da corda onde se obtém o perfil do curso d’água, como pode ser observado na figura 6.

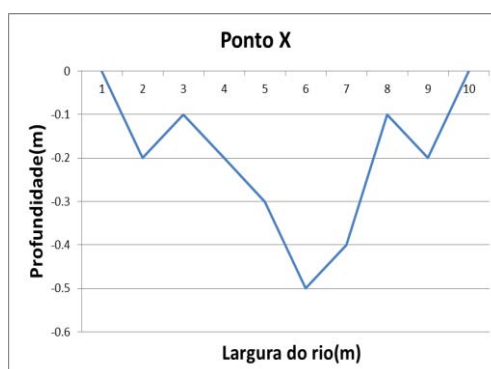


Figura 6 - Exemplo de um perfil batimétrico.

O levantamento batimétrico pode ser definido como o estudo da continuidade da topografia entre duas margens, a fim de se conhecer o terreno submerso na água. Esse conhecimento pode auxiliar diversos estudos, em suas mais variadas áreas, como construção de barragens, estudo de assoreamento para navegação fluvial ou potencial gerador de energia para a instalação de usinas hidrelétricas, entre outros.

A importância dos levantamentos topográficos e batimétricos tem sido evidenciada em vários estudos aplicados à Engenharia. Testoni (2010) obteve informações para o Licenciamento Ambiental na Recuperação de Áreas Degradadas, em uma propriedade rural do município de Laurentino (SC), por meio de um levantamento planialtimétrico, no qual empregou uma Estação Total e um GPS geodésico para a caracterização do uso e ocupação do solo. Neste trabalho foi verificada uma mudança no leito original do rio para a formação de lagoas artificiais na propriedade, contradizendo a Legislação Florestal, que permite lagoas artificiais apenas fora dos leitos dos rios, córregos ou cursos d'água e das áreas de preservação permanente. Este levantamento topográfico forneceu, por meio do mapeamento, uma visão abrangente de toda a propriedade, facilitando assim, a tomada de decisões para a recuperação da área degradada, evitando a erosão, o assoreamento dos rios e a falta de proteção e preservação da biodiversidade da flora e fauna, importantes ao equilíbrio do ecossistema (Figura 7).

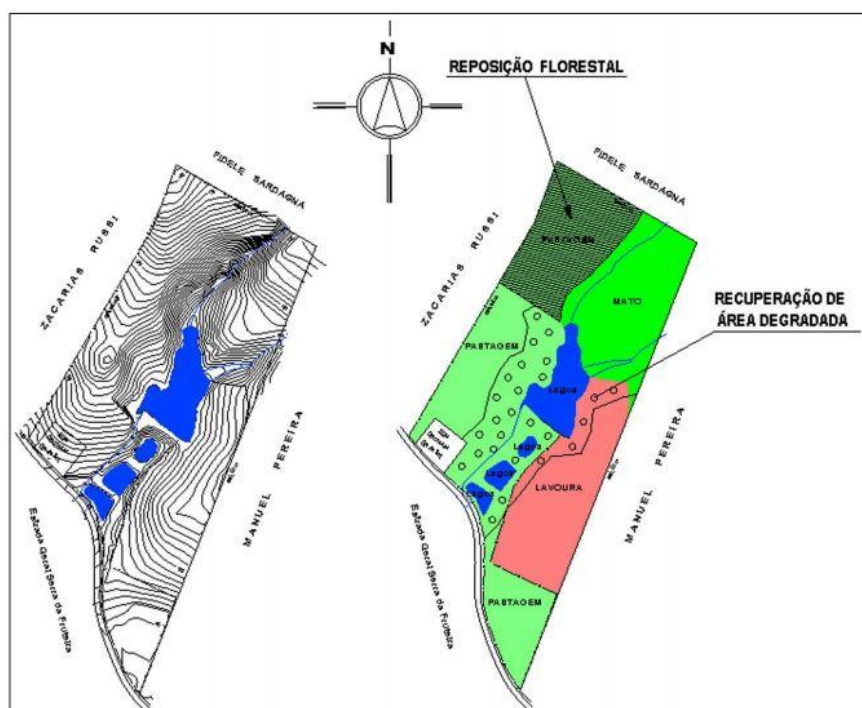


Figura 7 - Mapa planialtimétrico e de uso e ocupação do solo da propriedade rural do município de Laurentino-SC, com a delimitação das áreas destinadas à recuperação e à reposição florestal (Testoni, 2010).

Pinheiro (2005) apresentou um histórico de enchentes do rio Sapucaí, no município de Itajubá (MG), com o objetivo de conhecer a dinâmica deste rio para que autoridades municipais, estaduais, federais, defesa civil, imprensa, meios de comunicação e a população em geral tomassem ciência de como as enchentes ocorrem e a probabilidade de incidência. Para isso foi determinada a declividade do rio em uma área experimental, onde os dados foram coletados com um GPS geodésico e uma estação total, obtendo-se a topobatimetria do rio e assim sua declividade. Fotos históricas, obtidas de moradores da região, também foram usadas, marcando suas cotas topográficas. Dados da estação fluviométrica da cidade de Itajubá também foram incorporados ao estudo. Neste estudo foi possível determinar os níveis de cheias e o período em que elas ocorrem em grande magnitude, verificando que estas atingiram mais de 6m acima do nível normal do rio, e ocorreram a cada 4,15 anos, ou seja, com uma probabilidade de 24,1% de ocorrência em qualquer ano. Este é um risco bastante elevado para a cidade e, como alerta, o autor sugeriu que fossem instaladas estações bases para a coleta contínua de dados do rio para a elaboração de trabalhos mais precisos e confiáveis em termos de controle de cheias.

Marcondes (2011) também realizou um estudo da descarga sólida em suspensão na bacia hidrográfica do rio Sapucaí, em Itajubá (MG) a fim de obter informações sobre a qualidade e a quantidade de água deste rio, dados sobre as cheias e o trânsito de sedimentos. O detalhamento de dezessete seções do rio foi feito com o uso de uma estação total e um prisma georreferenciando a calha do rio nas seções e gerando um perfil topobatimétrico das mesmas. Métodos simples de amostragem, avaliação dos sedimentos em suspensão e dados de estudos já realizados ajustaram a curva-chave de sedimentos em suspensão na bacia do rio Sapucaí. Notou-se uma quantidade significativa de sedimentos na calha principal do rio onde outros rios, Sapucaí Mirim e Lourenço Velho, contribuíram com esse acúmulo. O estudo desses dados hidrológicos possibilitou o monitoramento do rio Sapucaí, prevendo a ocorrência e a intensidade das cheias, o que deu subsídios aos gestores públicos no gerenciamento da qualidade ambiental e da qualidade de vida da população desta bacia.

Pacheco (2010) gerou um modelo digital de terreno (MDT) de uma região do Delta do Jacuí, em Porto Alegre (RS), onde existe um grande movimento de navios de

carga, utilizando estação total, ecobatímetro e GPS geodésico para fazer os levantamentos topográficos e batimétricos. Obtida a carta náutica, foi possível elaborar rotas seguras para as embarcações.

Souza (2008) desenvolveu um projeto em Natal (RN) em parceria com o Laboratório de Análises Estratigráficas do Departamento de Geologia da UFRN e a empresa Millennium Inorganic Chemicals Mineração Ltda. Este autor obteve as geometrias externa e interna das dunas e criou um Modelo Estático 3D destes depósitos sedimentares, priorizando o comportamento do topo da estrutura das rochas da formação Barreiras. A mineração ocorre com o uso de uma draga que fica imersa em um lago artificial entre as dunas. O conhecimento do local foi necessário para que a lavra da empresa não trabalhasse muito próximo às rochas desta formação, pois é preciso evitar o risco de fragmentos causarem a obstrução na draga e gerarem prejuízo financeiro com o reparo e dias perdidos de trabalho. A ênfase do trabalho foi dada ao uso do GPR (Ground Penetrating Radar), mas as etapas de campo foram todas levantadas e georreferenciadas com a Estação Total e o GPS Geodésico.

Gomes et al. (2007), avaliaram a acurácia em desníveis com estações totais, em Curitiba (PR), empregando 3 estações totais no método de nivelamento trigonométrico com a utilização de uma estação total e dois prismas que são dispostos nos pontos onde se deseja determinar o desnível. As estações apresentaram bons resultados, de acordo com a precisão nominal de cada estação, para a obtenção de desníveis de precisão segundo as especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Com base nestes estudos, verificou-se que houve um grande avanço tecnológico na área de topografia e geodésia e que o uso de novas tecnologias em levantamentos topográficos é cada vez mais frequente, proporcionando a criação das estações totais, que são equipamentos precisos, leves e de fácil operação, que facilitam e agilizam os trabalhos de campo. A praticidade de uma estação total é significativamente maior que de um teodolito comum, resultando em dados mais precisos, além de oferecer maior segurança e conforto ao usuário (GOMES, 2007; DIAS 2010). No entanto, seu uso é ainda restrito aos profissionais de agrimensura, apesar da grande aplicação nas diferentes áreas da Engenharia civil.

3.6. Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE)

De acordo com Oliveira e Camargo (2005), a partir da década de 1950 houve uma preocupação mundial relacionada à criação de modelos para representar superfícies através da computação gráfica, objetivando rapidez, precisão e versatilidade. Entretanto, no Brasil, apenas a partir da década de 1990, o uso de ferramentas capazes de gerar o modelo digital do terreno (MDT) tornou-se popular entre os profissionais de engenharia, apesar de existirem no país pesquisas relacionadas com MDT e representação gráfica de superfícies desde o início dos anos oitenta, como a realizada por Pettinati em 1983, apontada por estes autores como um exemplo do esforço acadêmico nessa área.

Alguns autores (ANDRADE, 1998) preferem usar o termo Modelo Digital de Elevação (MDE) para designar apenas a elevação da superfície e o termo MDT, significando um modelo mais completo do terreno, incluindo outras feições, tais como: casas, prédios, vegetação, árvores etc. Na literatura de língua inglesa DTM é a sigla para Digital Terrain Model (que neste trabalho será traduzida para Modelo Digital do Terreno), e DEM é a sigla para Digital Elevation Model (Modelo Digital de Elevação). Os termos DTM e DEM têm sido usados como sinônimos na Europa (ACKERMANN, 1996).

Atualmente a simulação e análise de dados geográficos é realizada por meio de ferramentas computacionais e programas que geram o MDT, como o Spring, Mapinfo, SAGA-GIS entre outros.

Os programas de modelamento digital de terreno utilizados na atualidade são elaborados em sistemas CAD, próprios e específicos e são orientados a determinados campos de aplicação. Em Engenharia Civil, por exemplo, é fundamental para o projeto e execução de obras, sendo utilizado para estimar o volume de terra a ser movimentado em construção de estradas e rodovias (PETRIE & KENNIE, 1990; BURROUGH, 1986). Atualmente os mesmos princípios do MDT são aplicados na representação de outras estruturas, tais como prédios, estradas, entre outros. A fusão entre a computação gráfica e o MDT possibilita impressões realistas visuais de

impacto ambiental dos projetos de engenharia civil e elementos estruturais (prédios, pontes, barragens).

As figuras 8 e 9 representam um mesmo trecho do ribeirão Guaratinguetá, no Vale do Paraíba (SP) e ilustram alguns produtos obtidos de um Modelo Digital do Terreno.

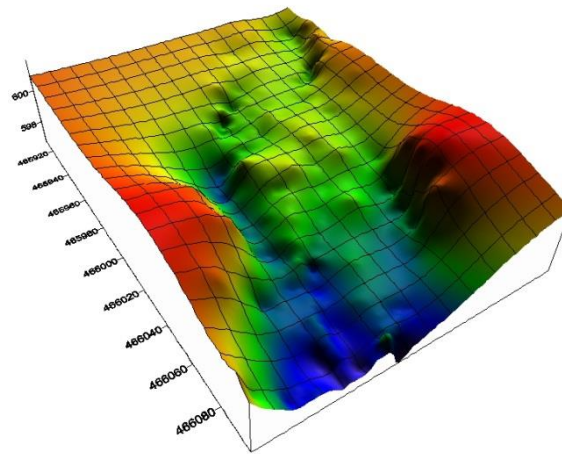


Figura 8 - Perspectiva do terreno construída de um MDT de um trecho do ribeirão Guaratinguetá, Vale do Paraíba (SP).

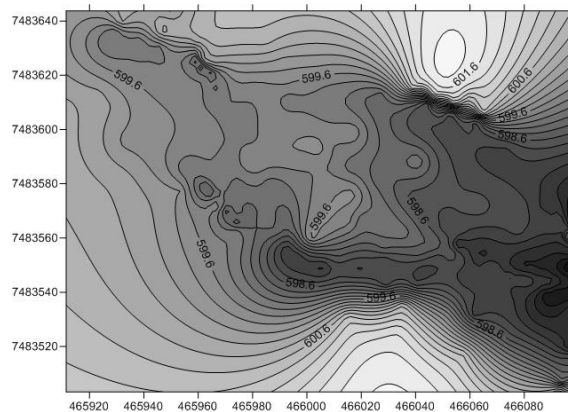


Figura 9 - Curvas de nível interpoladas de um MDT de um trecho do ribeirão Guaratinguetá, Vale do Paraíba (SP).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e caracterização geral da área de estudo

4.1.1. A bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá

O ribeirão Guaratinguetá, afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, nasce na Serra da Mantiqueira e tem todo o seu trajeto contido no município de Guaratinguetá. Geograficamente a bacia do ribeirão Guaratinguetá encontra-se no norte do município e possui uma área em torno de 164 km^2 , o que corresponde a cerca de 20% da área total do município de Guaratinguetá, que é de 734 km^2 (Figura 10).

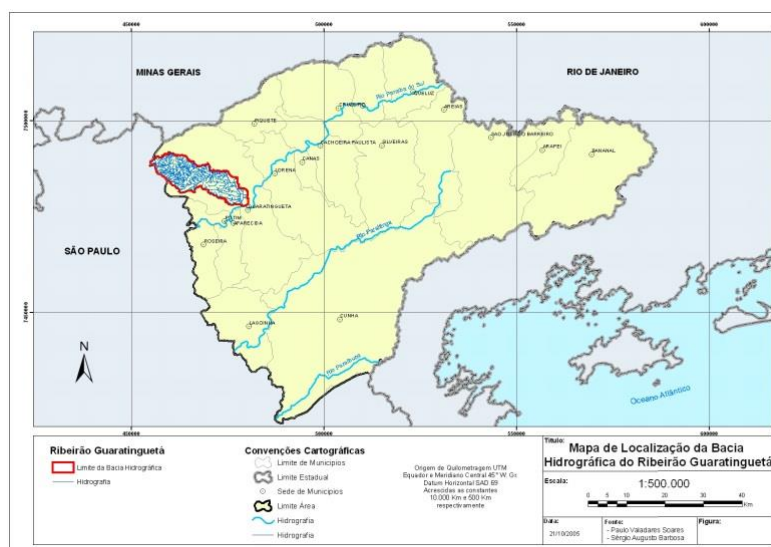


Figura 10 - Localização da bacia do ribeirão Guaratinguetá (Soares, 2005).

Os principais afluentes à montante (áreas de cabeceiras e médio curso superior) são os ribeirões Taquaral, Gomeral e do Sino e à jusante (área de várzea) o ribeirão Guaratinguetá não recebe contribuições expressivas.

Do ponto de vista do meio físico a bacia do ribeirão Guaratinguetá é caracterizada por apresentar uma grande diversidade de relevos, com altitudes que variam de 550 a 2000 m. Esta diversidade de relevos propicia uma grande heterogeneidade quanto à geologia, hidrografia, hidrologia, solos, vegetação e ocupação humana, que serão apresentados a seguir.

4.1.2. Geologia e Geomorfologia

Embora o mapa geológico disponível para a região, produzido pelo IPT (1981), para todo o Estado de São Paulo, esteja em pequena escala (1:500.000), é possível observar o contato geológico abrupto entre a sequência de rochas pré-cambrianas e as rochas sedimentares (Figura 11). Cerca de 50% da sub-bacia é constituída por rochas pré-cambrianas (ígneas e metamórficas), situadas em sua porção oeste e cerca de 50% é constituída por rochas sedimentares de idade Cenozóica, situadas em sua porção leste. As principais rochas encontradas no domínio geológico de idade pré-cambriana são migmatitos e gnaisses (PSeM), xistos (PSpX) e granitos (PSym). As rochas sedimentares encontradas na sub-bacia são arenitos e argilitos (TQc) e sedimentos inconsolidados de idade Quaternária como areias e argilas (Qa), depositados próximos aos principais cursos de água.

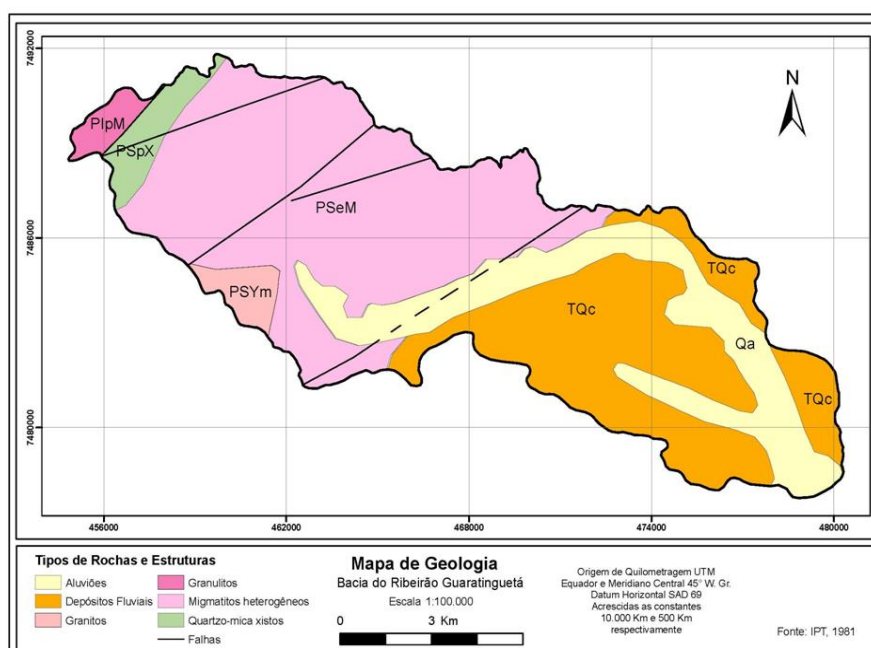


Figura 11 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, com recorte da área da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (IPT, 1981).

Com base no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (PONÇANO *et al.*, 1981), reconhece-se na bacia do ribeirão Guaratinguetá uma grande diversidade de unidades geomorfológicas (Figura 12). Na porção noroeste da sub-bacia ocorrem os relevos *Escarpas Festonadas*, *Morros Paralelos* e *Morros com Serras Restritas* e

Morrotes Baixos, caracterizados, de uma maneira geral, por possuírem alta densidade de drenagem, vales fechados e planícies aluvionares interiores restritas. Na porção sudeste da sub-bacia ocorre a unidades correspondendo a *Colinas Pequenas com Espigões Locais*, constituídos de relevos ondulados, onde predominam amplitudes menores que 50 metros e padrões de drenagem de baixa a média densidade. Este tipo de relevo está mais associado às sequencias de rochas sedimentares. Ainda na porção sudoeste da sub-bacia encontram-se as *Planícies Aluviais*, que correspondem a áreas com declividades inferiores a 5%, sendo parte delas sujeitas periodicamente à inundação. As maiores áreas de planície aluvionar são aquelas que acompanham o curso principal do ribeirão Guaratinguetá, chegando a atingir em torno de mil metros de largura. Planícies aluvionares mais estreitas são encontradas acompanhando os principais afluentes como o Gomerál e o Taquaral.

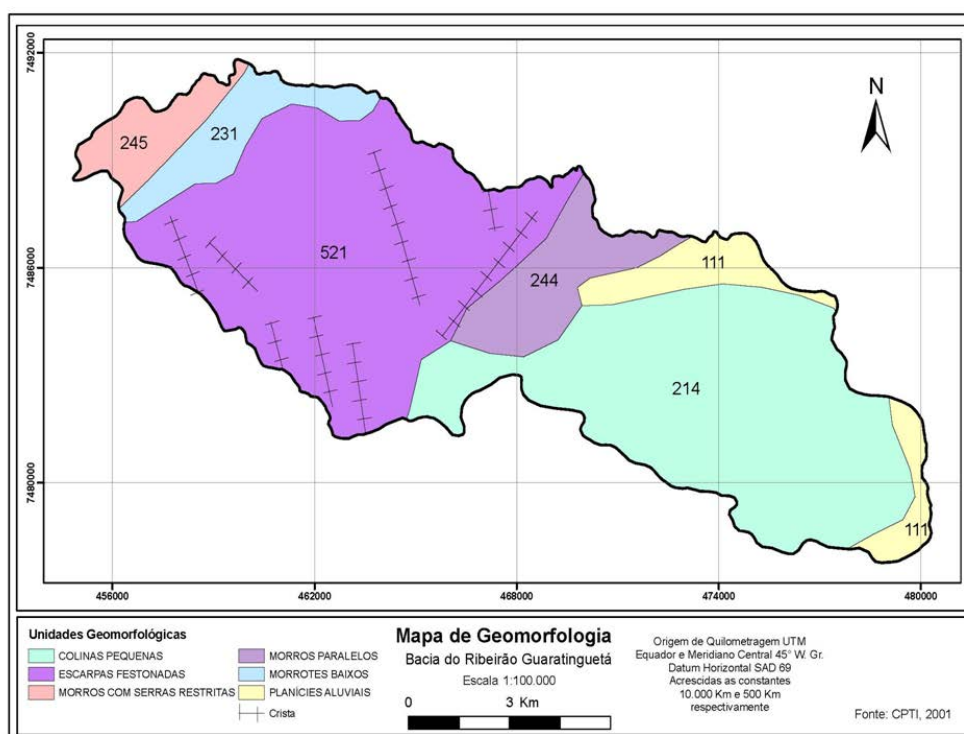


Figura 12 - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, com recorte da bacia do ribeirão Guaratinguetá (CPTI, 2001).

4.1.3. Densidade de Drenagem

Conceitualmente, a densidade de drenagem é resultante do somatório dos canais

dividido pela área da bacia. A densidade de drenagem reflete as características físicas de uma bacia como um todo, sendo influenciada por fatores como substrato rochoso, evolução pedogenética, clima, relevo e cobertura vegetal.

Conforme se observa na figura 13, os principais cursos d'água formadores do ribeirão Guaratinguetá, os ribeirões Sino, Taquaral e Gomeral, situam-se no contexto de rochas pré-cambrianas e relevos de morros e serras (porção noroeste da sub-bacia), possuindo alta densidade e padrões dendríticos a retilíneos.

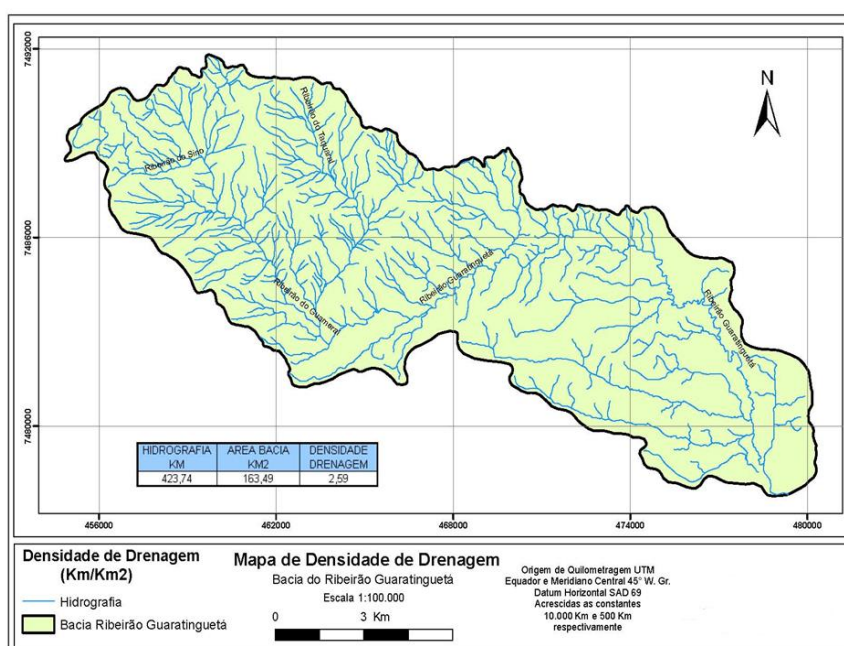


Figura 13 - Mapa da rede de drenagem da bacia do ribeirão Guaratinguetá (Soares, 2005).

4.1.4. Dados hidrográficos e hidrológicos da bacia

A bacia do ribeirão Guaratinguetá não possui postos fluviométricos em seu interior e, portanto, não estão disponíveis séries históricas que possam fornecer dados sobre as vazões do ribeirão. Com o objetivo de obter informações sobre o comportamento da água na bacia, principalmente com relação à precipitação e ao escoamento, Faria (2012) calculou a área da bacia do ribeirão Guaratinguetá e alguns parâmetros hidrográficos e hidrológicos, seguindo as metodologias do DAEE (1994, 2006). A área da bacia considerada neste estudo foi de 163,97 km² e na tabela 1 são apresentados os principais dados hidrológicos e hidrográficos obtidos por este autor.

Tabela 1 - Dados hidrológicos e hidrográficos da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP).

Dados hidrológicos e hidrográficos	
Área da bacia hidrográfica	163,97 km ²
Tempo de concentração – TC	632,18 min
Comprimento do Talvegue	42,18 Km
Declividade Equivalente (S)	3,44 m Km ⁻¹
Forma da Bacia (F)	2,92
Precipitação Anual Média	1321,60 (mm)
Vazão Mínima (Q _{7,10}) na foz(confluência com o Rio Paraíba do Sul	0,66 m ³ s ⁻¹
Vazão Média	1,99 m ³ s ⁻¹
Vazão Máxima (TR 100 anos)	101,13 m ³ s ⁻¹

Faria (2012) verificou que esta bacia apresenta um índice de precipitação média anual de 1.321,60 mm, valor um pouco inferior ao da média da porção paulista da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul que é de 1.385 mm (ROMERA et al., 2009).

4.1.5. Variações fluviais no canal do ribeirão Guaratinguetá

As especificidades geológicas e geomorfológicas encontradas na porção oeste da sub-bacia refletem sua intensa densidade de drenagem. Os afluentes do ribeirão Guaratinguetá (Taquaral, Gomeral e Sino) possuem configurações fluviais mais retilíneas, controladas, em parte, pelo fraturamento das rochas ígneas/metamórficas e, em parte, pelo relevo acentuado, que favorece o desenvolvimento de vales encaixados e planícies aluvionares restritas.

O ribeirão Guaratinguetá ocupa extensas planícies de baixíssima declividade e é resultante da confluência destes cursos d'água, que descem das áreas montanhosas e escoam por cones aluviais desenvolvidos no sopé dos morros. Nestas condições, o padrão retilíneo e bem delimitado dos cursos d'água que ocorriam à montante é substituído por uma configuração anastomosada e dinâmica, que é resultante do grande volume de carga de fundo proveniente das regiões mais elevadas. Conforme observou Christofolletti (1981), os cursos d'água formados nestas condições apresentam uma mobilidade muito grande e uma multiplicidade de canais pequenos e rasos que se subdividem e se reúnem de forma aleatória, separados por bancos e ilhotas de diferentes dimensões (Figura 14a).

As margens dos rios anastomosados não são nitidamente marcadas e os bancos de areia são compostos de material aluvial. Um fato que desperta a atenção é a grande quantidade de seixos com diâmetros superiores a 10 cm e que podem alcançar mais de 30 cm (Figura 14b). A grande dimensão dos seixos é, provavelmente, devida, também, às condições tectônicas da região. Desta forma, regiões próximas aos lineamentos geológicos propiciam o transporte de carga dendrítica de tamanhos elevados e sua posterior deposição em bancos de areia a uma distância relativamente próxima destes lineamentos.

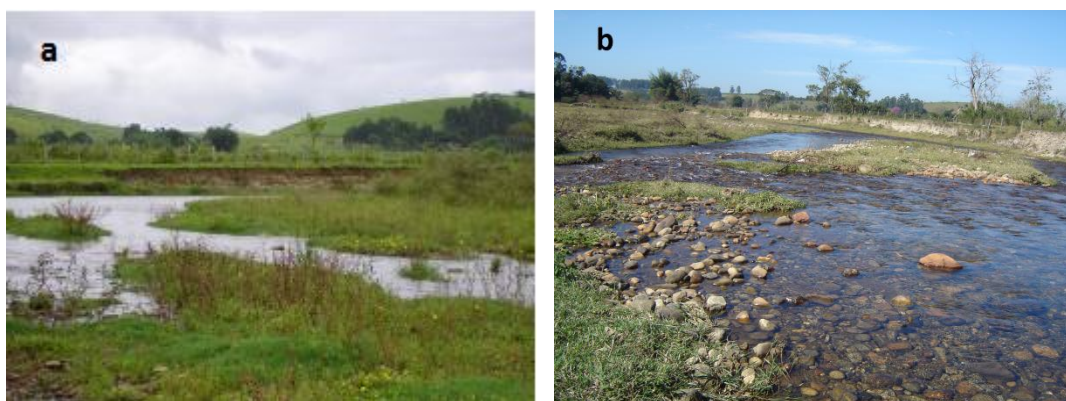


Figura 14 - a) Ilhotas e outros depósitos no interior do ribeirão Guaratinguetá. b) Seixos transportados no ribeirão Guaratinguetá

Outra característica do ribeirão Guaratinguetá é o fato de apresentar, no trecho próximo ao contato entre planícies e relevos de morros, formas meandantes, caracterizadas por margem convexa com agradação (deposição) e margens côncavas com degradação (erosão). Esta superposição de configurações fluviais (anastomosado e meandrante) em um mesmo local foi explicada por Suguio e Bigarella (1990), como sendo devida à variabilidade intra-anual da precipitação: predomínio de anastomosamento em períodos de seca e de meandros nos períodos de cheia (Figura 15).



Figura 15 - Formas meandrantas com margem de aggradação (deposição) e margens côncavas com degradação (erosão) no Ribeirão Guaratinguetá.

Por outro lado, o fato de coexistir a deposição de partículas de grandes dimensões, como os seixos em uma das margens e uma forte atividade erosiva nas margens opostas evidenciam que as velocidades médias de corrente são muito elevadas. Para que seixos com mais de 10 cm de diâmetro, como é frequente no leito do ribeirão Guaratinguetá, tenham seu transporte associado à atividade erosiva da água, são necessárias velocidades superiores a 200 cm.s^{-1} (Figura 16). Estas elevadas velocidades atingidas pela água explicam a grande quantidade de seixos e areia grossa nas margens e ilhas no interior dos canais.

A posição entre os pontos A e B, na parte superior e à direita na figura 16, representa, de maneira aproximada, a condição em que se encontra o ribeirão Guaratinguetá, especialmente no trecho próximo ao contato entre as rochas pré-cambrianas e a bacia sedimentar. As velocidades de corrente estimadas são muito elevadas, mas são condizentes com o que vem ocorrendo na bacia do ribeirão Guaratinguetá nos últimos anos. As precipitações pluviométricas que ocorreram no verão de 2009 na região do Vale do Paraíba foram muito superiores à média histórica, e apresentaram vários eventos intensos, com alturas de chuva acima de 50 mm diários, que atingiram diferentes regiões no Médio Vale do Paraíba. No caso da área de estudo, dois eventos pluviométricos de alta intensidade atingiram as áreas à montante da bacia do Ribeirão Guaratinguetá nos dias 10 e 24 de fevereiro de 2009.

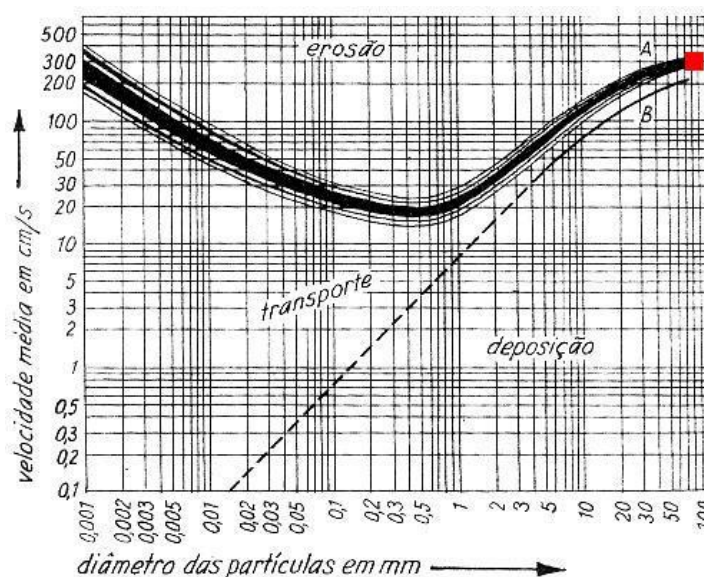


Figura 16 - Gráfico de velocidade média considerando o diâmetro das partículas e a condição do material particulado em um curso de água (SUGUIO & BIGARELLA, 1990).

O ponto em vermelho no canto superior direito da figura mostra a condição em que se encontra o ribeirão Guaratinguetá no trecho analisado no atual estudo, com estimativas de velocidades de corrente muito elevadas. Embora seja difícil delimitar as bordas dos cursos d'água com padrão anastomosado, foi possível identificar vários trechos do ribeirão com mudanças significativas no curso d'água antes e depois destes eventos de precipitação extrema. Apesar dos efeitos geológicos e geomorfológicos atuarem de forma direta nos padrões de drenagem que predominam na bacia do ribeirão Guaratinguetá, as atividades antrópicas também tem contribuído, de forma significativa, para que estes padrões sejam alterados de forma mais intensa. Neste aspecto, Ferreira (2011) verificou que mais de 56% das áreas de preservação permanente (APPs) da bacia estão sendo ocupadas de forma indevida, considerando o que estabelece o Código Florestal vigente. Neste estudo, os autores observaram que a maior parte das APPs da bacia é ocupada por pastagens, onde ocorre a pecuária em sistema extensivo, e que as áreas de entorno do ribeirão e as várzeas são ocupadas, principalmente, pelos cultivos de milho e de arroz irrigado (Figura 17). A instalação de hotéis, pousadas, clubes e pesqueiros, em especial, nas áreas de cabeceira da bacia, também tem gerado preocupações, com relação à disposição de esgoto e lixo, bem como a ocupação desordenada do solo. Na maioria das vezes, o uso e ocupação do solo na bacia foram e ainda têm sido feitos sem critério, o que tem gerado

desequilíbrios e impactos, como a instalação de processos erosivos e, em consequência, o assoreamento do curso d'água e as inundações nos períodos chuvosos.

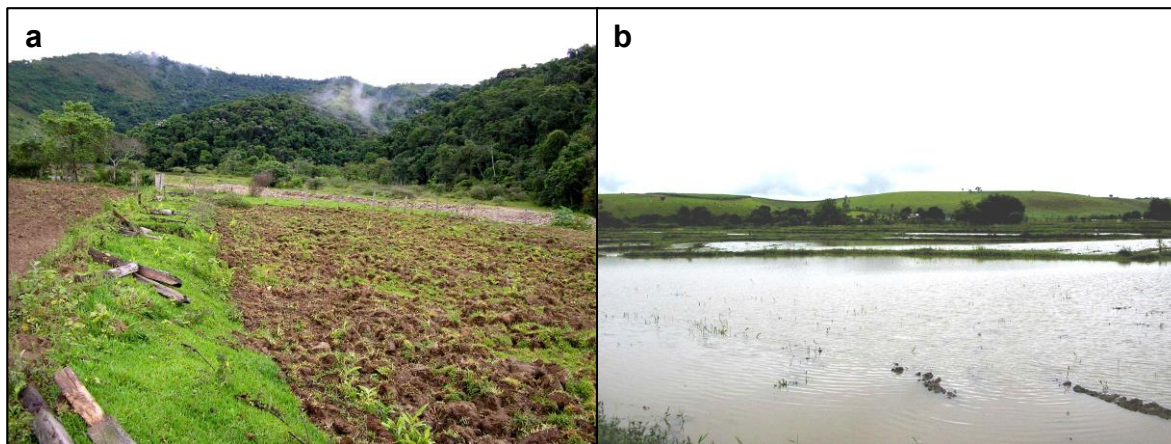


Figura 17 - Solo preparado para o plantio de milho (a) e plantio de arroz irrigado por inundação (b).

O predomínio de Gleissolos e de solos aluviais nas margens do ribeirão proporcionam com mais facilidade esse desequilíbrio, uma vez que eles são solos muito jovens e desestruturados (Figura 18). Esses tipos de solos tem uma natureza muito variada, já que são formados com as características dos sedimentos aluviais. Na área estudada estes solos apresentam textura arenosa a muito arenosa (FERREIRA, 2011).



Figura 18 - Gleissolo em área de várzea, ocupada com rizicultura, altamente susceptível a processos erosivos.

4.2. Delimitação da área experimental

Para a delimitação da área experimental, apresentada na figura 19, foram realizados levantamentos bibliográficos e cartográficos, de imagens de satélite em diferentes resoluções e análise de mapas no Laboratório de Análise GeoEspacial (LAGE) da FEG/UNESP. Além destes, também foram realizados levantamentos sobre o uso e ocupação do solo e trabalhos de campo, para a identificação dos pontos mais críticos, em relação aos processos erosivos e de assoreamento do ribeirão Guaratinguetá. Todos estes aspectos fundamentaram a delimitação da área experimental, trecho do ribeirão, no qual foram desenvolvidos os levantamentos topobatimétricos utilizados para a produção do Modelo Digital de Terreno (MDT), que por sua vez, fundamentou os trabalhos de desassoreamento. Além do monitoramento da dinâmica fluvial, também se pretende realizar nesta área experimental estudos ecohidrológicos e geotécnicos e implantar e avaliar técnicas de bioengenharia, entre as quais, serão selecionadas as que mais se aplicam ao processo de revitalização do ribeirão Guaratinguetá.

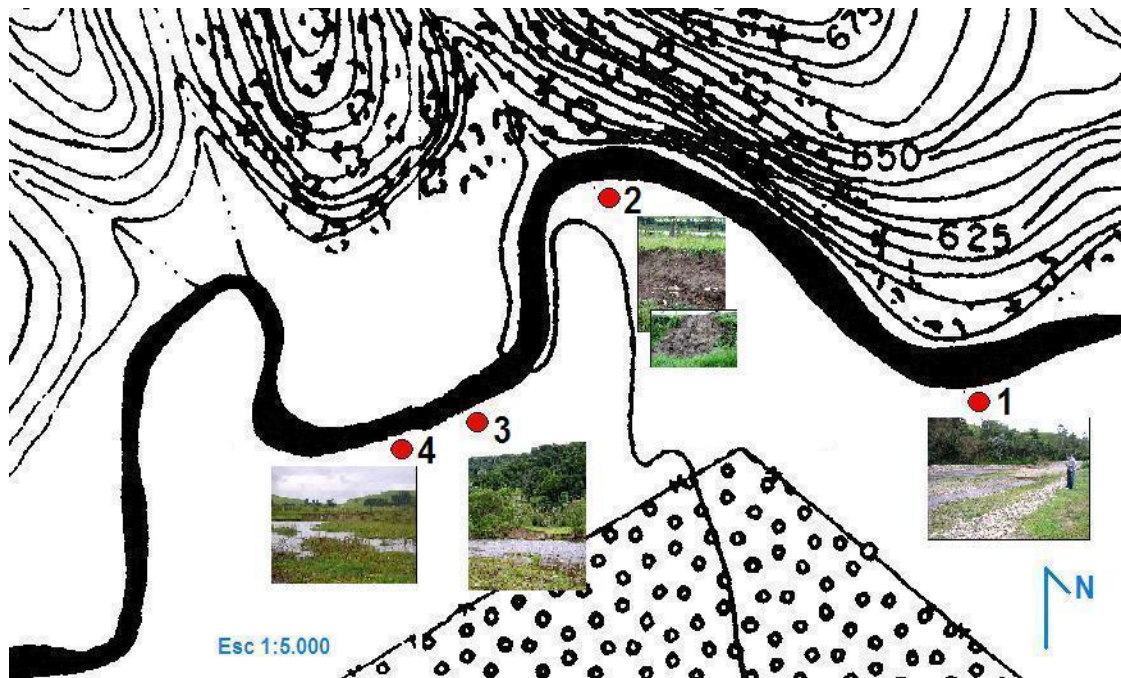
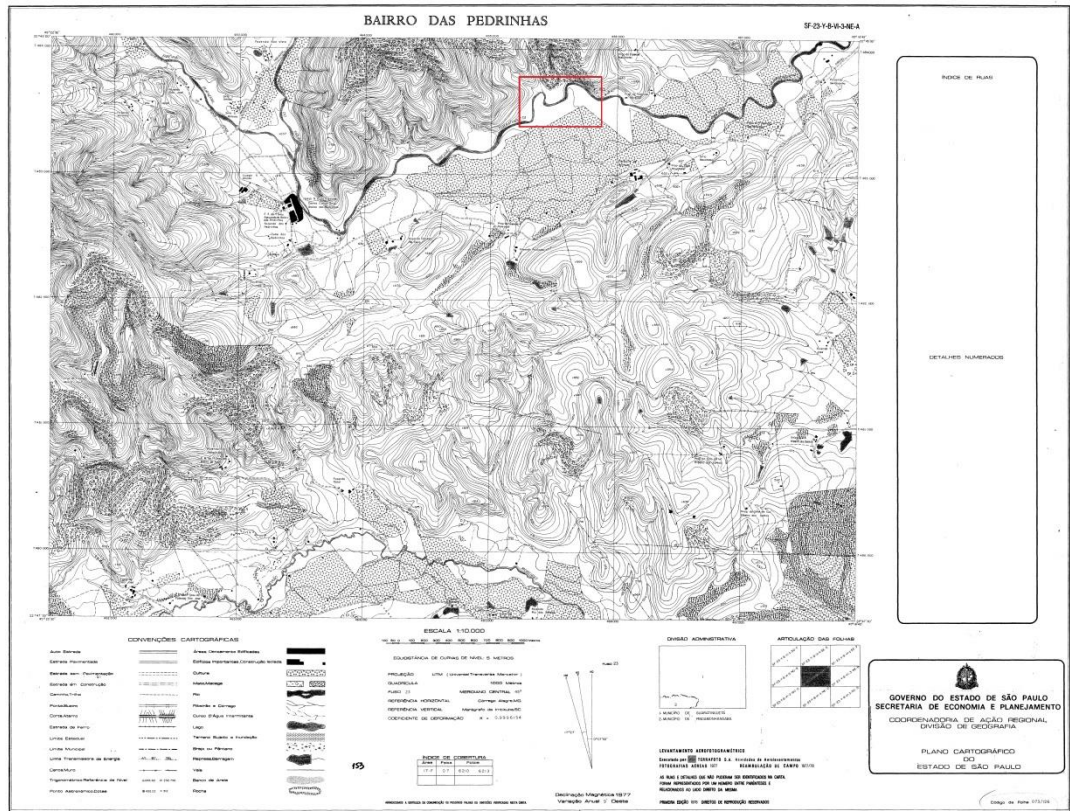


Figura 19 - Mapa topográfico regional e esboço topográfico da área experimental seleccionada 1) Assoreamento; 2) processos erosivos em estágio avançado; 3) Formas meandrantes com margem de agradiação e margens côncavas com degradação e 4) variações fluviais provocadas pelo anastomosamento e meandramento do canal (TERRAFOTO, 1978).

4.3. Levantamentos topobatimétricos

Para os levantamentos topográficos foi utilizada a Estação Total modelo RTS 862/R da marca RUIDE, do Departamento de Engenharia Civil da FEG/UNESP (Figura 20).



Figura 20 - Estação Total Ruide RTS 862/R

Esta Estação Total apresenta precisão angular de 2", correção automática de pressão e temperatura, precisão linear com prisma de até 2mm + 2ppm e sem prisma de até 3mm + 2ppm, alcance sem prisma de até 400m e com prisma de até 5km. Considerando a classificação da NBR 13.133/1994 da ABNT, este modelo de Estação Total se enquadra na classe de precisão alta (Tabela 2).

Tabela 2 - Classes de Estação Total, conforme a NBR 13.133/1994 da ABNT

Classes de estação total	Desvio-padrão Precisão angular	Desvio-padrão Precisão linear
1 - precisão baixa	$\leq \pm 30''$	$\pm (5\text{mm} + 10\text{ppm} \times D)$
2 - precisão média	$\leq \pm 07''$	$\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm} \times D)$
3 - precisão alta	$\leq \pm 02''$	$\pm (2\text{mm} + 3\text{ppm} \times D)$

Para o georreferenciamento dos dados topobatimétricos desta área experimental foi utilizado o GPS geodésico, modelo ProMark 200 da marca Ashtech, do Departamento de Engenharia Civil da FEG/UNESP (Figura 21). Este GPS possui

receptor com 45 canais paralelos em L1 e L2, atualização em 0,05 segundos, precisão horizontal de 5mm + 1ppm e vertical de 10mm + 1ppm.



Figura 21- GPS Geodésico L1 - L2 ProMark 200, da marca ASHTECH

Foram realizados dois levantamentos topobatimétricos no trecho da área experimental do ribeirão Guaratinguetá. O primeiro levantamento foi mais detalhado, com a obtenção de pontos não só do leito do ribeirão, mas também das áreas passíveis de alagamento, sendo realizada uma topobatimetria densa, com o objetivo de visualizar com clareza suas áreas anastomosadas.

O segundo levantamento foi realizado após o desassoreamento do canal, sendo obtidos pontos do leito do rio e das margens, que foram alteradas pela transferência do material retirado das áreas de agradação para as de degradação, usando retroescavadeira.

Conforme, projeto enviado e aprovado pela CETESB e DAEE, o trabalho de desassoreamento do leito do ribeirão foi realizado em parte por empresa contratada pela prefeitura de Guaratinguetá e em parte com recursos do projeto de parceria com Faculdade de Engenharia-Unesp/FDCT, com o objetivo de normalizar o fluxo das águas e trazer os seixos rolados e todo o material de solo para as margens do ribeirão. No desassoreamento do trecho da área experimental o leito do ribeirão foi aprofundado

em 50 cm, de tal forma a direcionar o fluxo da água para o centro de sua calha e o material retirado do leito, juntamente com o material das margens de agradação, foi transferido para as margens de degradação buscando não modificar o curso do ribeirão e manter uma angulação suave das margens.

4.4. Criação do Modelo Digital de Terreno (MDT)

Uma vez feito o levantamento topobatimétrico do ribeirão Guaratinguetá com a estação total Ruide RTS 862/R pelo método da poligonal aberta apoiada em dois pontos com coordenadas transportadas georreferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro SGB, a partir da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), projeto gratuitamente disponibilizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) para incrementar qualidade e confiabilidade no levantamento.

O MDT foi gerado com o a exportação direta a partir do software da Estação, no formato .dxf (Figura 22).

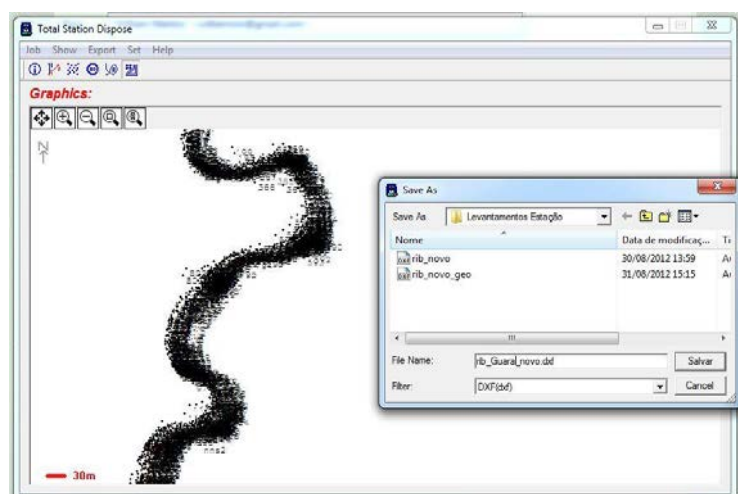


Figura 22 - Total Station Dispose – (Software fornecido pelo fabricante).

Na sequência, o arquivo foi carregado no Autodesk AutoCAD2010 no formato .dxf e rotacionado pelo comando ALIGN, informando os valores das coordenadas gps1 (E = 465989.869, N = 7483629.760 e Z = 613.989) e gps2 (E = 466098.087, N =

7483512.810 e $Z = 612.234$) levantadas com o GPS Geodésico L1-L2 ProMark 200 Ashtech, pós processado e com correção da ondulação geoidal para a cota Z com base no sistema MAPGEO-2010, projeto concebido conjuntamente pelo IBGE, através da CGED (Coordenação de Geodésia) e pela EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) que converte as altitudes geométricas (referidas ao elipsoide) em ortométricas (referidas ao nível do mar).

Posteriormente ao georreferenciamento, os dados foram carregados no software SAGA- GIS, onde foi gerado o MDT, as curvas de nível e a visualização 3D do Ribeirão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Levantamentos topobatimétricos da área experimental

Os levantamentos topobatimétricos foram realizados na área experimental do ribeirão Guaratinguetá, antes do desassoreamento, nos dias 09 e 10 de julho de 2012 e após esses trabalhos foi feito outro levantamento no dia 14 de agosto de 2012. Como os trabalhos de campo foram realizados em período de estiagem, não houve a necessidade de pausas por causa de chuvas.

Para o georreferenciamento destes levantamentos foram fixados dois pontos de coleta do GPS (GPS1 e GPS2). Para dar início ao primeiro levantamento, a estação total foi posicionada a jusante da área experimental no ribeirão Guaratinguetá e colheu pontos de uma grande área de entorno, das margens do ribeirão, e de pontos em sua calha a fim de se obter uma alta densidade de pontos coletados. No decorrer do levantamento houve a necessidade de transportar a base da estação total para outras bases, no sentido à montante, para a obtenção de dados topobatimétricos de toda a área experimental. Este levantamento inicial necessitou de dois dias para ser finalizado (09 e 10/07/2012).

Esse levantamento serviu de base para os trabalhos de desassoreamento do canal e retaludamento das margens do ribeirão, na área experimental, conforme será detalhado a seguir.

O segundo levantamento teve início à montante e foi em direção à jusante. O foco do levantamento foi a calha do ribeirão e suas margens, que foram modificadas pelo processo de desassoreamento. Este levantamento levou apenas um dia para ser finalizado (14/08/2012).



Figura 23 - Levantamento topobatimétrico da área experimental do ribeirão Guaratinguetá, empregando Estação Total e GPS geodésico.

5.2. Modelo Digital do Terreno

O Modelo Digital do Terreno (MDT) gerado possibilitou identificar os principais pontos assoreados e as margens de agradação e degradação, que fundamentaram os trabalhos de desassoreamento (Figura 24).

No MDT pôde-se observar o trecho que compreende a área experimental, e os pontos mais afetados pelo processo de sedimentação e assoreamento, destacando-se o padrão meandrante e a presença de áreas anastomosadas, que apresentam forte influência na ocorrência de enchentes.

O intenso processo de sedimentação e assoreamento evidenciado na área experimental ocorre, principalmente, devido as grandes variações geomorfológicas da bacia. Neste sentido, é preciso considerar que as nascentes do ribeirão Guaratinguetá se encontram a, aproximadamente, 2000 metros de altitude na Serra da Mantiqueira,

enquanto a altitude da área experimental é de pouco mais que 600 metros. Essa diferença de cerca de 1400 metros de altitude em um trecho pequeno da bacia, aumenta a velocidade de vazão e provoca o assoreamento do leito do ribeirão. Ferreira (2011) explica que, tendo como berço as rochas pré-cambrianas que formam a Serra da Mantiqueira, o ribeirão Guaratinguetá tem nascentes com grande altitude e se desenvolve, posteriormente, sobre rochas sedimentares da era Cenozóica e sedimentos inconsolidados de idade Quaternária depositados próximo aos cursos d'água. As águas oriundas das grandes altitudes ganham força e velocidade, e ao alcançarem as planícies causam modificações físicas e o assoreamento. O perfil anastomosado encontrado na área experimental é exemplo disso, evidenciando a má capacidade de escoamento da água nessa região. Juntamente à grande velocidade da água, os sedimentos são transportados e ao encontrar dificuldade de escoamento nas planícies se depositam, gerando além dos meandros, as áreas anastomosadas, que diminuem a profundidade do ribeirão e provocam as enchentes.

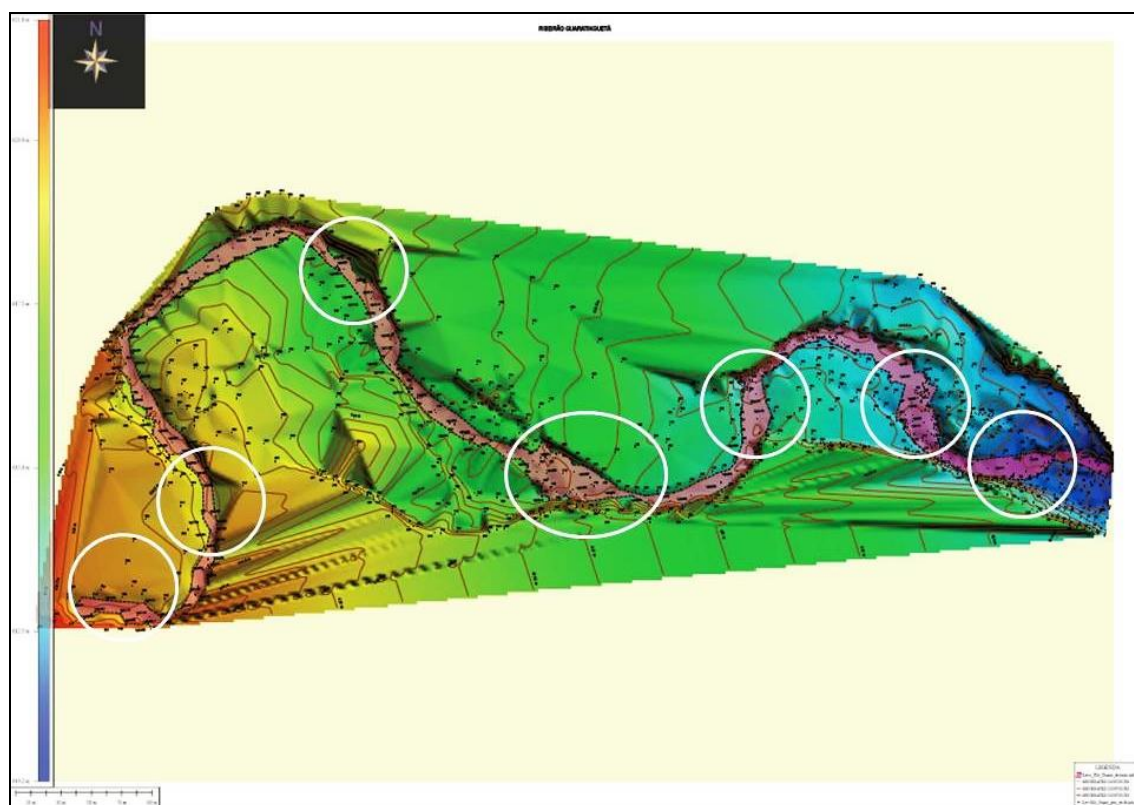


Figura 24 - Modelo Digital de Terreno (MDT) da área experimental do ribeirão Guaratinguetá, destacando o padrão meandrante e anastomosado e as áreas mais afetadas pelo processo de assoreamento.

5.3. Desassoreamento do leito do ribeirão na área experimental

Com base no MDT, no qual foram identificados os principais pontos de assoreamento e as margens de degradação e aggradação, foi realizado o trabalho de desassoreamento do leito da área experimental do ribeirão (Figura 25).

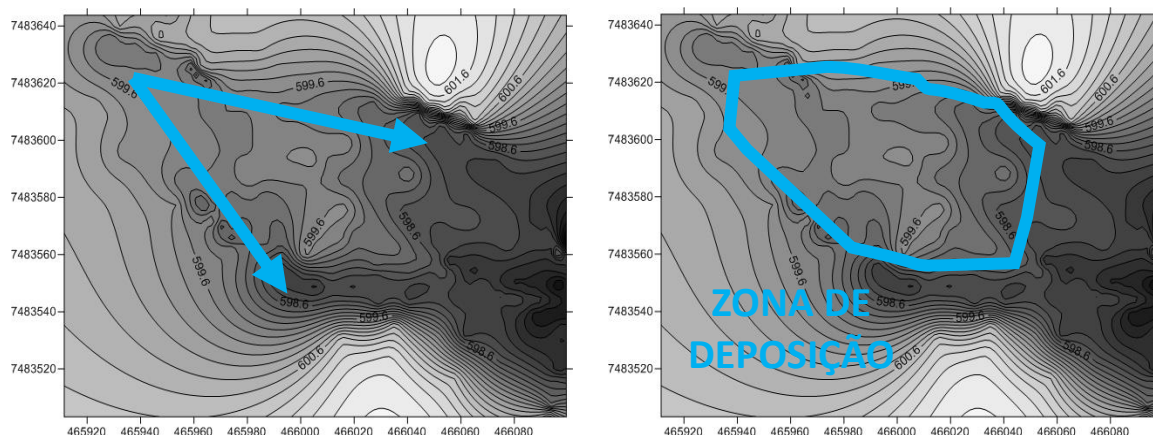


Figura 25 - Modelo Digital do Terreno de um trecho da área experimental com curvas de nível

Inicialmente, o desassoreamento foi executado por uma empresa contratada pela prefeitura de Guaratinguetá no período de 09 a 13 de julho de 2012. No entanto, a retroescavadeira apresentou problemas de funcionamento e não terminou o serviço contratado (Figura 26).



Figura 26 - Início do desassoreamento do leito do ribeirão Guaratinguetá no trecho da área experimental, no período de 09 a 13 de julho de 2012.

No período de 13 a 17 de agosto de 2012, o desassoreamento teve continuidade e foi concluído, sendo toda a calha do ribeirão, na área experimental, aprofundada em 50 cm e as margens reconstruídas (retaludadas). Neste processo, o material que formava os bancos de areia, nas áreas anastomosadas do leito e o da margem de agradação foi transferido para as margens de degradação, com o uso de uma escavadeira da Marca Doosan (Figura 27).



Figura 27 - Desassoreamento do leito e reconstrução das margens na área experimental do ribeirão Guaratinguetá, no período de 13 a 17 de agosto de 2012.

O desassoreamento respeitou o padrão de drenagem e a dinâmica fluvial natural do ribeirão Guaratinguetá. As áreas anastomosadas foram corrigidas por meio da retirada dos seixos rolados e aprofundamento do leito em 50 cm, direcionando o fluxo

da água para o centro da calha do ribeirão. Os meandros também foram corrigidos, com a reconstrução das margens, que tornou as curvas mais suaves, havendo diminuição do impacto da água nas margens e, conseqüentemente, do processo erosivo.

O desassoreamento aumentou o potencial de produção dos proprietários rurais deste trecho da bacia, especialmente dos pecuaristas, que têm suas áreas de pastagem inundadas na época de cheias, devido à demora do escoamento natural das águas (Figura 28).



Figura 28 - Pastagem no trecho da área experimental do ribeirão Guaratinguetá sujeita à inundação e atuação de processos erosivos.

Em complementação ao desassoreamento deste trecho, pretende-se aplicar técnicas de bioengenharia nesta área experimental, que serão avaliadas quanto à eficiência na manutenção das margens e contenção dos processos erosivos.

5.4. Modelo digital do terreno após desassoreamento

Após o desassoreamento do leito do ribeirão, foi realizado outro levantamento das seções topobatimétricas da área experimental e criado outro Modelo Digital do Terreno, apresentado na figura 29.

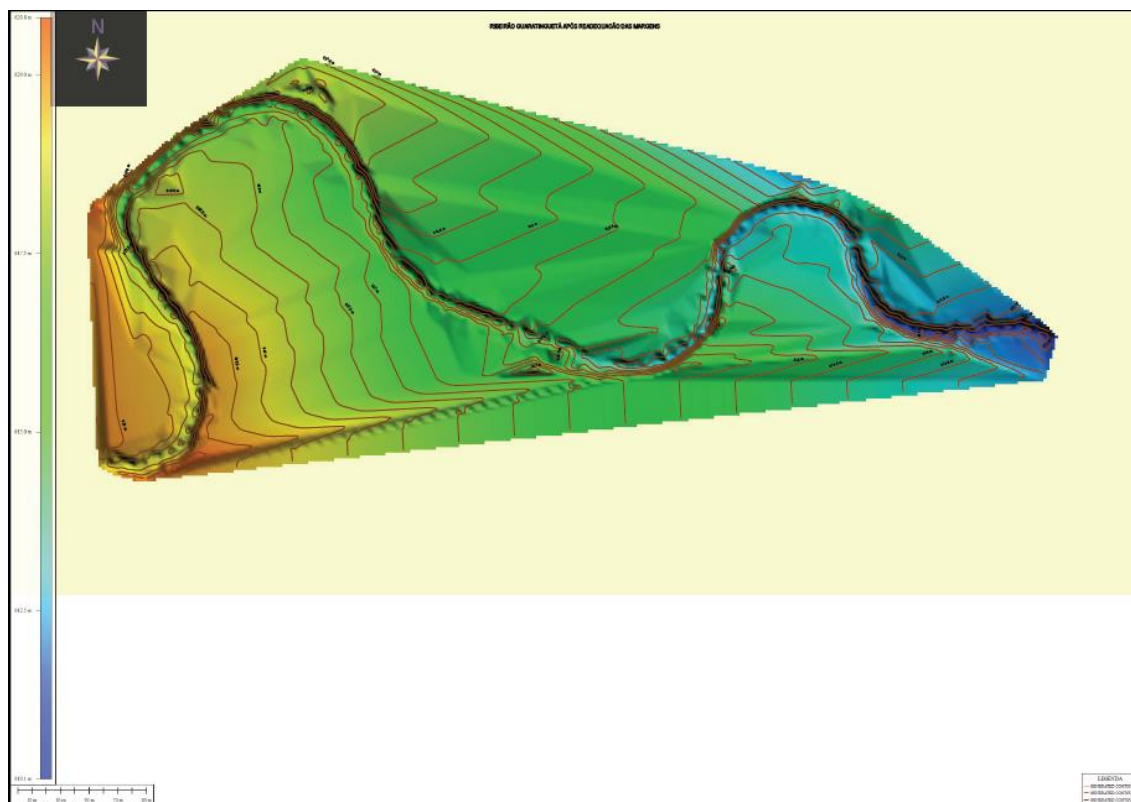


Figura 29 - Modelo Digital de Terreno (14/08/2012) da área experimental do ribeirão Guaratinguetá após o desassoreamento.

Para o monitoramento do processo de assoreamento nesta área experimental será necessário realizar outros levantamentos topobatimétricos e elaborados os modelos digitais de terreno no decorrer do tempo. Dessa forma, será possível avaliar a dinâmica fluvial deste trecho do ribeirão Guaratinguetá, bem como a resposta às técnicas de bioengenharia, que serão aplicadas e avaliadas quanto ao desempenho para a contenção dos processos erosivos de margem nesta área experimental. O levantamento topobatimétrico realizado periodicamente na área experimental fornecerá subsídios aos trabalhos de revitalização de toda a bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.

Este estudo é apenas um exemplo da aplicabilidade da estação total e do GPS geodésico em projetos ambientais e em obras de engenharia civil. Os modelos digitais gerados e comparados com imagens georreferenciadas auxiliam na interpretação dos problemas, expandindo as possibilidades de soluções. Essa dupla de equipamentos pode ser utilizada em diversos trabalhos, como na viabilização de obras (KRUEGER), aquisição de dados altimétricos (DIAS, 2010), modelagem numérica de terreno sujeito

a processos erosivos (PEREIRA, 2007), estudo hidrossedimentológico (MARCONDES, 2011), modelo digital e carta náutica (PACHECO, 2010), modelo estático 3D de depósito sedimentar para mineração por draga (SOUZA, 2008), enfim, os dados fornecidos por estes equipamentos constituem uma ferramenta de extrema ajuda na tomada de decisões.

A Estação Total e o GPS geodésico não são equipamentos de baixo custo, mas apresentam muitas vantagens. Uma delas é a facilidade de utilização, considerando que apenas duas pessoas são necessárias para realizar levantamentos topográficos e topobatimétricos. A Estação Total que oferece leitura sem prisma também torna o serviço muito mais rápido, sendo possível obter pontos com apenas alguns segundos de intervalo entre eles. Por outro lado, a leitura com prisma é feita com intervalos um pouco maiores entre pontos coletados, pois necessita da movimentação da pessoa que está com a posse do prisma pelo terreno marcando os pontos a serem coletados. Com o avanço da tecnologia, as estações e os GPS de última geração, são capazes de armazenar os dados coletados, dispensando a caderneta de anotações e possíveis falhas humanas, tornando os levantamentos muito mais consistentes e seguros.

5.5. Propostas para a melhoria da qualidade do solo e da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá

5.5.1. Proteção ao acesso de animais

Será necessária a construção de cerca para proteger as margens do ribeirão Guaratinguetá que, atualmente, é utilizado pelos pecuaristas para a dessedentação do gado, inclusive na área experimental (Figura 30). A cerca deverá ser construída num raio de 30 a 50 metros a partir do olho d'água, o suficiente para evitar a entrada dos animais e, por conseguinte, o pisoteio, a compactação e o aumento do processo erosivo do solo.



Figura 30 - Área experimental do ribeirão Guaratinguetá utilizada pelos pecuaristas para a dessedentação do gado.

5.5.2. Uso controlado de defensivos agrícolas

Como grande parte da área de várzea, próxima ao ribeirão Guaratinguetá, é ocupada pelos produtores rurais com a rizicultura irrigada por inundação, é preciso considerar que o uso excessivo e descontrolado de defensivos agrícolas nestas lavouras é um grande agente de contaminação do solo e da água, principalmente, do lençol freático. Por isso, seu uso deve ser controlado e feito sob a orientação de um técnico responsável. Além disso, devem ser construídos locais apropriados para o descarte das embalagens, que jamais devem ser jogadas em rios e córregos ou junto ao lixo comum das propriedades rurais.

5.5.3. Conservação do Solo e da Água

Os produtores rurais deverão ser orientados a realizar os plantios em curvas de nível, técnica utilizada para cultivo em terrenos acidentados e morros, que conserva o solo e evita altas velocidades de água superficial uma vez que cada nível se torna uma barreira para a água. O plantio nas margens do ribeirão Guaratinguetá deve ser evitado, pois o uso das áreas de preservação permanente (APPs) causa sérios danos às florestas e vegetação nativa e o solo descoberto torna-se altamente susceptível aos processos erosivos. A aplicação de restos culturais como cobertura do solo é recomendada, pois favorece a biota do solo e melhora as condições de infiltração e armazenamento de água, além de evitar a erosão causada pelas gotas de chuva na superfície do solo.

Outro fator de extrema importância para a qualidade da água do ribeirão Guaratinguetá é o uso de fossas sépticas por parte das residências rurais e dos empreendimentos comerciais, evitando assim o lançamento de esgoto nas águas da propriedade que, por sua vez, vai em direção ao ribeirão. Também podem ser construídas fossas para os rejeitos animais, principalmente para a suinocultura. Para evitar o trânsito excessivo de animais junto a nascente e margens do ribeirão Guaratinguetá, devem ser distribuídos pela propriedade cochos para o abastecimento de água para o gado.

5.5.4. Proteção das margens

Após o desassoreamento do leito do ribeirão, nos pontos mais comprometidos pelos processos erosivos, serão implantadas técnicas de bioengenharia para a contenção das margens do ribeirão. O emprego de produtos da bioengenharia como biomantas, bermalongas, gabiões entre outros, garantirão a estabilidade das margens, impedindo a ocorrência de deslizamentos, mantendo a largura do ribeirão e facilitando a germinação de espécies nativas, garantindo a revegetação natural das margens.

5.5.5. Revegetação das margens

A revegetação das margens deve levar fortemente em consideração o caráter meandrante e anastomosado do ribeirão, a partir de ações pontuais e locais, dependendo se, na margem em questão, predominam processos deposicionais ou erosionais, o que implica em diferenças significativas na velocidade da água e demais condições hidráulicas do canal.

Nos trechos onde ocorre a deposição de material de solo e seixos nas margens, em quantidade suficiente para proporcionar a instalação de espécies vegetais nativas, não serão aplicadas técnicas de intervenção, considerando que esse é um processo natural de estabilização das margens do ribeirão. Por outro lado, em algumas margens, onde predomina forte processo erosivo, além do desassoreamento e do emprego de biomantas, será necessária a manutenção da estabilidade das margens com o plantio de

espécies nativas de crescimento rápido e que condicionem a estabilização de uma vegetação ciliar.

6. CONCLUSÕES

A área experimental apresentou as condições ideais para a avaliação das mudanças na dinâmica fluvial do ribeirão Guaratinguetá, causadas pela instabilidade do complexo padrão geométrico deste curso d'água, com sobreposição de anastomosamento e meandramento.

A utilização da Estação Total e do GPS geodésico para os levantamentos topobatimétricos foi muito eficiente e gerou dados consistentes para a criação do Modelo Digital do Terreno da área experimental do ribeirão Guaratinguetá.

A viabilidade da aplicação do Modelo Digital de Terreno para o monitoramento das mudanças fluviais nas seções topobatimétricas foi evidenciada pela comparação da área após o desassoreamento.

A partir do MDT foi possível a geração de curvas de nível, perfis, superfícies, relatórios de área plana, de superfície e volume, visualizar interativamente o terreno em três dimensões e identificar as mudanças no leito do ribeirão Guaratinguetá.

O desassoreamento do trecho do ribeirão, que compreende a área experimental, realizado com base no MDT, diminuiu o risco de ocorrência de enchentes.

O monitoramento do ribeirão Guaratinguetá com novos MDT deverá ser conduzido nos próximos anos para que se possibilite identificar as mudanças no leito do ribeirão à longo prazo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 13133. Execução de Levantamentos Topográficos. 1994
- ACKERMANN, F. Techniques and strategies for DEM generation. Digital photogrammetry: in addendum to the manual of photogrammetry, Amer. Soc. for Photogramm. & Remote Sensing, p. 135-141, 1996.
- ANDRADE, J. B. Fotogrametria. Curitiba: SBEE, 1998.
- ANTUNES, C. Apontamentos de Topografia – PT Lisboa: FC – UL, 1995
- BARBOSA, R. L. Geração de Modelo Digital do Terreno por aproximações sucessivas utilizando câmaras digitais de pequeno formato. (Dissertação de Mestrado – Unesp, campus de Presidente Prudente). 1999. 97p.
- BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994.
- BIGARELLA, J.J.; SUGUIO, K.; BECKER, R.D. Ambiente fluvial: ambientes de sedimentação, sua interpretação e importância. Curitiba: Editora UFPR, 1979. 183p.
- BRASS, R. Hydrology: An introduction to hydrologic science. Reading: Addison-Wesley. 1990. 643p.
- BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, Oxford, 194 p., 1986.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 325 p.
- CPTI (COOPERATIVA DE SERVIÇO, PESQUISA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAIS). Planos de Bacia UGRHI1 - Serra da Mantiqueira, UGRHI2 – Paraíba do Sul. São Paulo, 2001.
- CUNHA, S. B. Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.
- DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Manual de Cálculo das Vazões Máximas, Médias e Mínimas nas Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. São Paulo: DAEE, 1994.
- DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas. 2 ed. São Paulo: DAEE, 2006.

- DIAS, A. L.; SARAIVA. A. G. S.; GADELHA A. G.; SOUZA. R. F.; GUIMARÃES. C. L. Utilização de estação total para a execução de levantamentos altimétricos compatíveis com a classe da NBR 13133 - III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação p. 001-006 – PE/BR Recife: IFPB, 2010
- DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água – 189 p. – Santa Maria: Edição do Autor, 2012.
- DOBSON, C.; BECK, G. G. Watersheds: a practical handbook for healthy water. Canada: Friensens, Altona, Manitoba, 1999. apud
- FARIA. D. A. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia Hidrográfica do Ribeirão Guaratinguetá – (Dissertação de Mestrado-Universidade Estadual Paulista) – SP/BR Bauru, 2012
- FERREIRA, M. C. Proposta para o uso e manejo sustentável da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP - 120p. (Dissertação de Mestrado-Universidade Estadual Paulista) - SP/BR Bauru, 2011
- FERREIRA, M.C.; TRANNIN, I.C.B.; SIMÕES, S.J.C.; FERREIRA, C.C. Uso e ocupação do solo em Áreas de Preservação Permanente da sub-bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2010. No prelo.
- FERREIRA, V. M. Voçorocas no Município de Nazareno, MG: Origem, uso da Terra e Atributos do Solo UFL – MG/BR Lavras: UFL 2005
- FONTE, C. C. Textos de apoio de Topografia, DM – UC
- FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. Pontas das Lajes e o encontro das Águas, AM, Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil - 2011
- GOMES, J. P.; VEIGA. L. A. K.; SANTOS. D. P.; FAGGION. P. L. Determinação de desníveis de precisão com nivelamento trigonométrico utilizando estação total – Bol. Ciênc. Geod., Artigos, Curitiba, v. 13, nº 1, p. 127-150, jan jun, 2007
- GOMES, M. J. S. Utilização de métodos geofísicos em sambaquis fluviais, região do Vale do Ribeira de Iguape – SP/BR São Paulo: FFLCH – USP, 2003
- GRUEN, A. W.; BALTSAVIAS, E. P. Geometriclly constrained multiphotomatching. Photogrammetric Record, vol. 72(12), p. 633-41, 1988.

- HELLVICH, O.; FAIG, W. Graph-based feature matching using descriptive and relational parameters. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 60(4), p. 443-50, 1994.
- HYNES, H. B. N. The stream out its valley. *Vehr. Internat. Verein: Limnol*, 1975. n. 19, p. 1-15.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. v. 1. São Paulo: IPT, 1981.
- KELLERHALS, R.; CHURCH, M.; BRAY, D.I. Classification and analysis of river processes. *Journal of the Hydraulics Division*, v. 102, p. 813-829, 1976.
- KRUEGER, C. P.; VEIGA, L. A. K.; FAGGION, P. L. Levantamento Batimétrico do rio Uruguai – PR/BR Cutiriba: DG – UFPR. 2003.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. River meanders. *Bull. Geol. Soc. Am.*, [S.l.]. v. 71, p. 769-794, 1960.
- MARCONDES, C. R. Estudo de descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Sapucaí - MG/BR Itajubá: UNIFEI, 2011
- MIGUEL, R.; SANTOS, H. I. Caracterização do assoreamento do córrego capoeira, município de Senador Canedo-GO. Universidade católica de Goiás - Departamento de Engenharia Ambiental. 18p. 2007.
- NORVELLE, F. R. Using iterative orthophoto refinements to generate and correct digital elevation models (DEM's). *Digital photogrammetry: in addendum to the manual of photogrammetry*, Amer. Soc. For photogramm. & Remote Sensing, p. 151-155, 1996.
- OLIVEIRA J.B.; CAMARGO, M.N; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônômico/EMBRAPA Solos, 1999. 64p.
- OLIVEIRA, M.A.; CAMARGO, Y.J.M. Aplicativo integrado a um sistema CAD para a geração do modelo digital do terreno (Projeto apresentado à Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás), 2005. 106p.

- ORTEGA, J. A.; HEYDT, G. G. Geomorphological and sedimentological analysis of flash-flood deposits: The case of the 1997 Rivillas flood (Spain). *Geomorphology*, [S.l.], v. 112, n. 1-2, p. 1-14, 2009.
- PACHECO, C. A. K. Topobatimetria do Canal Entre as Ilhas do Lino e do Laje - RS/BR Porto Alegre: UFRGS, 2010
- PÁDUA, J.A. Um sopro de destruição: pensamento político e critica ambiental no Brasil escravista. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.
- PEREIRA, C. Q. Modelagem numérica do terreno (MNT) a partir de dados levantados com receptores GPS e estação total em área urbana sujeita a processos erosivos costeiros – RJ/BR Rio de Janeiro: UERJ, 2007
- PERINI. A. B.; FURASTE. R. E. Mapeamento Cadastral e Geração de Banco de Dados Geográfico da Escola Superior de Educação Física e Densificação da rede Geodésica da UFRGS – RS/BR Porto Alegre: UFRGS, 2011
- PETTINATI, F. Modelamento Digital e Representação Gráfica de Superfícies. São Paulo, Dissertação: (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Escola Politécnica da USP. 1983.
- PETRIE, G. & KENNIE, T. J. M. Terrain modelling in surveying and civil engineering. Caithness: Whittles, 1990.
- PINHEIRO, M. V. Avaliação Técnica e Histórica das Enchentes em Itajubá – MG – MG/BR Itajubá: UNIFEI, 2005
- PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO A. F. M. (Eds.). *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações*. Ilhéus, BA: editus. 2002. 293p.
- PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. DE; PRANDINI, F.L. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 94 p.
- PONÇANO, W.L. et al. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. 94 p. (Publicação no. 1183).
- RIBEMBOIN, J. Mudando os padrões de produção e consumo. Brasília: MMA, 1997. p. 43.

- Rodrigues, J. A. Estradas d'água : As Hidrovias do Brasil. – RJ/BR Rio de Janeiro : Action ed., 2009.
- ROMERA, P.A.; FARIA, D. A.; SANT'ANA, L. G. S.; SILVA, L. A. L.; SIQUEIRA, M. R. A. Educação Ambiental na Gestão de Recursos Hídricos. Taubaté: CBH/ PS, 2009.
- RUIZ-VILLANUEVA, V.; DIEZ-HERRERO, A.; STOFFEL, M.; BOLLSCHWEILER, M.; BODOQUE, J. M.; BALLESTEROS, J. A. Dendrogeomorphic analysis of flash floods in a small ungauged mountain catchment (Central Spain). *Geomorphology*, [S.l.], v. 118, n. 3-4, p. 383-392, 2010.
- SCHENK, A. F. Automatic generation of DEM's. Digital photogrammetry: in addendum to the manual of photogrammetry, Amer. Soc. for Photogramm. & Remote Sensing, p. 145-150, 1996.
- SCHUMM, S. A. The fluvial system. [S.l.]: Wiley, 1977. 338 p.
- SERIGNOLLI, P.P.G. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento, 2009. Disponível em: <http://serignolli.wordpress.com/2009/10/30/a-bacia-hidrografica-do-tietejacare-estudo-de-caso-em-pesquisa-e-gerenciamento/> Acessado em: 12 de novembro de 2009.
- SILVA, R. C. V.; WILSON JUNIOR, G. Hidráulica fluvial: Volume II. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2007. 255 p
- SILVA, J.U.L. A dinâmica atmosférica e a distribuição de chuvas na região “lesnordeste” paulista. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 206p. 1999.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacias hidrográficas. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia – Ciência e aplicação. Rio Grande do Sul: ABRH. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1993. p.35-52.
- SIMÕES, S. J. C. et al. Regional climate variability and its effects on Brazil's 2001 energy crisis. *Management Environmental Quality*, [S.l.], v.18, n. 3, p. 263-273, 2007.

- SOARES, P. V. As interrelações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul. 2005. 192 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas, 2005.
- SOUZA, A. M. Uso do GPR na geração de modelos estáticos 3D para o planejamento de lavra de minerais pesados depositados em dunas eólicas – RN/BR Natal: UFRN, 2008
- SUGUIO, K. et al. Ambientes fluviais. Curitiba, UFPR/UFSC, 1990.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. L. Ambientes fluviais. Curitiba: UFPR/UFSC, 1990. 183 p.
- TERRAFOTO S. A. Atividades de Aerolevantamentos – Levantamento Aerofotogramétrico – Bairro das Pedrinhas/Guaratinguetá / SP, 1978.
- TESTONI, A. J. A importância na recuperação de áreas degradadas – Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 1, n. 1, p. 21-30, jan/jun. 2010
- VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: O estudo de caso do ribeirão Conquista no município de Itaguara – MG. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Anais...Viçosa, 2009.
- WIMAN, H. Automatic generation of digital surface models through matching in object space. Photogrammetric Record, vol. 91(16), p.83-91, 1998.