



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

STEPHANIE FREITAS COUTO DE MAGALHÃES

**PERDA DE SOLO E EROSÃO FLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MACACU-RJ**

Prof. Dr. MARCIO ROCHA FRANCELINO
ORIENTADOR

SEROPÉDICA, RJ
Julho – 2010



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

STEPHANIE FREITAS COUTO DE MAGALHÃES

**PERDA DE SOLO E EROSÃO FLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MACACU-RJ**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. MARCIO ROCHA FRANCELINO
ORIENTADOR

SEROPÉDICA, RJ
Julho – 2010

**PERDA DE SOLO E EROSÃO FLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MACACU-RJ**

Comissão Examinadora:

Aprovada em 15 de julho de 2010

Prof. Dr. Marcio Rocha Francelino
UFRRJ/ IF / DS
Orientador

Prof. Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva
UFRRJ / IT /DE
Membro

Samara Salamene
Profissional Autônoma
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Fernando Magalhães e Rosângela Freitas, a minha avó Eucygesilene Freitas, ao meu orientador Marcio Rocha Francelino, a todos do geoflora em especial a Juliana Toste, aos grandes amigos e irmãos que participaram desta jornada. Finalizo agradecendo a meus guias e mestres espirituais!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus mestres e guias espirituais que me fortalecem, orientam, protegem e colocam no meu caminho pessoas maravilhosas e oportunidades abençoadas.

Agradeço aos meus pais pela vida, por todos os ensinamentos, as palavras amigas, o carinho e a compreensão, que contribuirão em grande parte com a formação dos meus princípios.

Agradeço a todas as famílias que constitui ao longo deste ciclo. A grande família 103 por todo o amor, as palavras amigas, o abraço acolhedor nos momentos difíceis e por todos os ensinamentos, pois a convivência foi fundamental para me fazer ver com outros olhos muitas coisas da vida. A família do Reike, em especial ao Teco, que através da salinha azul e do CEOI aprendi e a cada dia aprendo o poder da fé e da força universal do amor incondicional. Agradeço a grande família do Geoflora pela paciência, por todo o aprendizado, carinho e a amizade. Agradeço a família erva-doce, a todos os amigos e irmãos.

Existem coisas que as palavras não conseguem expressar por isso finalizo agradecendo a todos que fizeram e fazem parte da minha caminhada, pois pude aprender com cada um e levarei todos no coração e na memória

RESUMO

A degradação dos solos e das águas está diretamente associada aos processos erosivos, acarretando prejuízos de ordem econômica, social e ambiental para sociedade. Por isso torna-se importante a quantificação e identificação da perda de solo nas bacias hidrográficas, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias para a identificação, análise e monitoramento da erosão, tendo como finalidade auxiliar na conservação dos recursos naturais. O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Macaú- RJ sendo os objetivos principais do trabalho, avaliar a perda de solo por meio da equação universal de perda de solo (EUPS) bem como testar o laser scan como instrumento de análise e monitoramento da erosão fluvial em um trecho do rio Macacu. A bacia apresentou uma perda de solo baixa, estando às áreas com maiores valores localizadas no curso médio e baixo do rio. Este fato está associado à presença da cobertura florestal na área de maior risco, ou seja, no curso superior do rio, que é a área de maior declividade da bacia. Por meio do scan laser foi possível obter o modelo digital de elevação da margem do rio, sendo através dele gerados outros temas que quando associado a outros fatores como textura do solo e vazão, foi possível identificar a ocorrência da erosão diferenciada que contribui para o solapamento basal da margem. No estudo sobre erosão fluvial o laser scan é uma ferramenta promissora, porém são necessários novos estudos a fim de se conhecer melhor as vantagens e limitações desta tecnologia.

Palavras chave: Conservação, Geoprocessamento, Recursos hídricos, Varredura a laser.

ABSTRACT

Soil and water the degradation is directly associated with erosion, generating economic, social and environmental losses. So it is important to the soil loss identification and quantification in watersheds as well as the development of new technologies for the identification, analysis and monitoring of erosion, with the aim assist in the conservation of natural resources. This study was conducted in the watershed Macacu-RJ, having as main objectives to evaluate the soil loss by USLE and test the laser scan as a tool for analysis and monitoring of fluvial erosion along a stretch of the river Macacu. The basin had a low soil loss, while areas with higher values located in the middle and lower course of river. This fact is associated with the presence of forest cover in the area of greatest risk, ie in the upper river, which is the area of greatest slope of the basin. By laser scanning was possible to obtain the digital elevation model of the river, and through it created other issues that when combined with other factors such as soil texture and flow allowed to identify the occurrence of differential erosion that contributes to the undermining of the basal margin . In the study of fluvial erosion scan the laser is a promising tool, but further studies are needed in order to better understand the advantages and limitations of this technology.

Keywords: conservation, GIS, water resource, scanning laser.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Bacia Hidrográfica.....	2
2.2 Perda de Solo.....	2
2.3 Erosão Fluvial.....	3
2.4 Métodos Utilizados no Monitoramento da Erosão Fluvial.....	4
2.5 Scan Laser.....	5
2.6 Caracterização e Histórico da Bacia Hidrográfica do rio Macacu-RJ.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Área de Estudo.....	8
3.2 Análise da Perda de Solo.....	9
3.2.1 Fator R.....	10
3.2.2 Fator K.....	11
3.2.3 Fator LS.....	12
3.2.4 Fator CP.....	13
3.3 Estudo da erosão Fluvial.....	13
3.3.1 Localização do transecto.....	14
3.3.2 Utilização do scan laser e GPS geodésico.....	14
3.4 Textura do solo e vazão do rio Macacu.....	15
3.4.1 Vazão do rio Macacu.....	15
3.4.2 Análise granulométrica do solo.....	15
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	16
5. CONCLUSÃO.....	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	8
Figura 2. Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu-RJ.....	11
Figura 3. Modelo Digital de Elevação da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu-RJ	12
Figura 4. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu- RJ.....	13
Figura 5. Localização do Transecto e da Estação Fluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Macacu-RJ.....	14
Figura 6a. Foto do Scan Laser.....	15
Figura 6b. Foto do GPS Geodésico.....	15
Figura 7. Mapa da Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu-RJ.....	16
Figura 8. Mapa das Secções da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu - RJ.....	18
Figura 9. Perfil topográfico do leito do rio Macacu.....	18

Figura 10. Mapa de Perda de Solo do Curso Médio da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu-RJ.....	19
Figura 11. Mapa de Perda de Solo do Curso Inferior da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu-RJ.....	20
Figura 12. Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu-RJ.....	21
Figura 13. Margem Analisada com a Localização das Áreas de Coleta dos Solos.....	22
Figura 14. Nuvem de pontos da margem analisada.....	22
Figura 15. Influência da Vegetação na Varredura da Margem.....	23
Figura 16. Modelo Digital de Elevação e Curvas de Nível.....	24
Figura 17. Imagem em 3D da Declividade da Margem Analisada.....	24
Figura 18. Deslocamento do perfil da margem em duas leituras de datas distintas.....	26
Figura 19. Vazão média mensal do rio Macacu.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores do Fator de Erodibilidade	10
Tabela 2. Valores do Fator LS.....	11
Tabela 3. Valor Agrupado dos Fatores de C e P.....	12
Tabela 4. Quantificação e Área da Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do rio Macacu.....	17
Tabela 5. Textura do Solo do Perfil da Margem do Rio.....	25

1. INTRODUÇÃO

A superfície da Terra encontra-se em contínuas modificações devido à ação de rios, ventos, geleiras e enxurradas das chuvas, que deslocam, transportam e depositam continuamente as partículas do solo. Este fenômeno é denominado de erosão natural ou erosão geológica. De acordo com o tipo de agente a erosão é classificada como: eólica, glacial, marítima, pluvial e fluvial (GUERRA, 2005). Em condições naturais, o ciclo de desgaste erosivo é equilibrado tendo a função de renovação da paisagem, o que gera diversos benefícios tais como o rejuvenescimento pedológico, porém as ações antrópicas podem romper esse equilíbrio promovendo a erosão acelerada (LEPSCH, 2002).

Segundo Guimarães (2008) a grande quantidade de chuvas que ocorre nos trópicos intensifica os processos erosivos. No entanto os riscos de instalação desse processo dependem tanto das condições naturais quanto dos modelos de uso da terra (ARAUJO et al., 2005).

Mundialmente as áreas degradadas por erosão representam cerca de 300 milhões de hectares na África, 440 milhões de hectares na Ásia e 140 milhões de hectares na América Latina (TEXEIRA et al., 2000). Segundo Lepsch (2002), cerca de um bilhão de toneladas de materiais dos solos agrícolas foram transportados pelas enxurradas, o que representa um grande prejuízo ecológico e econômico em termos mundiais.

A erosão hídrica é umas das principais formas de degradação do solo no Brasil, acarretando prejuízos de ordem econômica, ambiental e social (LEPSCH, 2002). Dados apresentados por Bertoni & Lombardi Neto (1999), estimam uma perda anual de cerca de 500 milhões de toneladas de solo causadas por erosão. As áreas localizadas no Noroeste do Paraná, Planalto Central, Oeste Paulista, Campanha Gaúcha, Triângulo Mineiro e Médio Vale do Paraíba do Sul, são as mais críticas quanto à incidência de processos erosivos, e correspondem também às áreas que têm sido mais estudadas devido à grande relevância em termos de perda de solo e redução da produtividade (GUERRA & BOTELHO, 2003). Os estudos sobre erosão hídrica são feitos através de experimentos ou monitoramentos, sendo esse último definido como mensurações sistemáticas de um processo erosivo, tornando-se necessária as coletas de dados em intervalos que podem ser fixos, ou não, dependendo do objetivo de estudo. Já os experimentos referem-se a ensaios, que podem ser em laboratório ou não, não havendo a obrigatoriedade de coletas em determinados intervalos de tempo (GUERRA, 2005).

As pesquisas dos processos erosivos são caras e morosas, já que envolvem a avaliação de inúmeras combinações entre os fatores naturais e as práticas de manejo do solo. Frente a isso os experimentos surgem como alternativa para que se torne possível estimar os valores dos fatores (erodibilidade do solo, erosividade da chuva, uso do solo e características do relevo) sendo estes usados nos modelos para determinação da perda de solo (BERTOL et al., 2007). O monitoramento permite identificar e acompanhar a evolução da erosão tornando-se uma ferramenta indispensável no estudo dos processos erosivos. A quantificação e determinação de fatores que influenciam nos processos erosivos são fundamentais para o controle ou desaceleração das taxas de erosão (GUERRA, 1996). Através da identificação, análise e monitoramento de tais processos é possível adotar medidas preventivas e de contenção, evitando problemas ambientais, como a degradação do solo, assoreamento dos rios e enchentes.

O presente estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Macacu-RJ, tendo como objetivo testar a utilização de varredura por Laser como instrumento para análise e monitoramento da erosão fluvial, bem como, através do uso de Sistema de Informações

Geográficas (SIG) estimar a perda de solo e identificar a localização das áreas mais críticas pela equação universal de perda de solo (EUPS).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo delimitada pelos divisores topográficos (BOTELHO, 2005).

O percurso do rio principal pode ser dividido em três seções: curso superior, médio e o inferior. O primeiro é a área de maior inclinação onde o poder erosivo e de transporte de materiais é muito intenso, sendo que em regiões declivosas o rio circula por entre as rochas do terreno, formando quedas de água, gargantas ou desfiladeiros, como é o caso do rio Macacu. No curso médio do rio há uma redução da declividade, neste trecho há formação de amplas curvas chamadas de meandros, os quais contribuem na diminuição da velocidade da água. O curso inferior corresponde ao trecho mais próximo à foz do rio, onde a declividade é quase nula (SANTOS, 2001).

A ocupação urbana sem planejamento, o uso intensivo do solo e a instalação de atividades industriais, são os principais fatores responsáveis pela destruição das matas ciliares dos rios, proporcionando a erosão, o carreamento de sedimentos e a redução da capacidade de recarga do lençol freático, fatores estes que comprometem a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas (TUCCI, 2004). Araujo (2007) ressalta que qualquer interferência na bacia hidrográfica, independente da área, terá conseqüências diretas ou indiretas sobre os canais fluviais.

A fim de se evitar a degradação dos solos, a exploração agrícola numa bacia hidrográfica deve ser feita segundo preceitos conservacionistas e econômicos, tornando-se importante a realização de um planejamento da bacia que avalie a capacidade de uso do solo, assim como, os caracteres econômicos, sociais e os aspectos relacionados à legislação ambiental (LEPSCH, 2002).

2.2 Perda de Solo

As características físicas do solo como o grau de agregação, a permeabilidade e a profundidade influenciam na suscetibilidade do solo à erosão. Os solos de textura grosseira e rasos são os mais suscetíveis aos processos erosivos devido à fraca agregação entre partículas e baixa capacidade de armazenamento de água (LEPSCH, 2002; VENTURIM & BAHIA, 1998).

Segundo Guerra (1999) fatores como o relevo acidentado, chuvas concentradas e determinadas características do solo, como textura, consistência friável, baixo teor de matéria orgânica e pequena estabilidade de agregados, tendem a aumentar a susceptibilidade do solo à erosão.

Em relação ao relevo, os processos erosivos se intensificam com o aumento da declividade, comprimento de rampa longo e a forma da encosta, que favorecem aumento de velocidade e de volume das enxurradas.

Quanto à capacidade de uma chuva erodir um solo irá depender da intensidade e quantidade da precipitação, assim como das condições da superfície do solo. A erosão será menor em solos que apresentam boas condições de suas superfícies e proteção contra a intensidade e força cinética da chuva. Esses fatores estão relacionados ao tipo de manejo do solo (PRIMAVESI, 2005).

A extração da cobertura vegetal ocasiona maior exposição do solo, tornando-o mais suscetível aos agentes erosivos, com sua conseqüente desestruturação e perda da capacidade de absorção de água, o que provoca maior escoamento superficial, que por sua vez, intensifica a erosão e conseqüentemente aumenta a perda de solo (TEXEIRA et al., 2000). As vegetações arbóreas, através de suas raízes, contribuem na estrutura e estabilidade física dos solos. As matas ciliares ajudam a reduzir a erosão das margens porque a parte aérea se reclina e cobre a superfície e/ou reduz a velocidade do fluxo adjacente à interface solo/água, enquanto as raízes abaixo do solo retêm e mantêm fisicamente as partículas do solo no lugar (ARAUJO et al., 2005).

Para estudar este tipo de fenômeno dispõe-se de métodos diretos, baseados na coleta do material erodido, em campos experimentais e/ou em laboratório, ou ainda de métodos indiretos, por meio de modelagem matemática, que, segundo Moreti (2003) é de fundamental importância, pois geram resultados que podem auxiliar na adoção de práticas conservacionistas no uso e manejo do solo, pois ela relaciona todos os fatores que influenciam na erosão hídrica.

Um dos métodos mais utilizado e pesquisado é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que considera como variáveis o clima, o relevo, o uso e cobertura do solo (ARAUJO et al., 2005), a qual será detalhada mais adiante.

2.3 Erosão Fluvial

Brighett (2001) afirma que as alterações nos leitos dos rios, através de obras de retificação, transposição, canalização, barragens, dentre outras, são interferências que aumentam principalmente a erosão fluvial.

A erosão fluvial é causada pelas águas dos rios, principalmente nas épocas de cheias, podendo, em alguns casos, destruir as margens por desmoronamento ou escorregamento. (GUIDICINI & NIEBLE, 1983)

Este tipo de processo erosivo 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 (TUYSUZ, 2005).

A erosão fluvial nas margens e no leito transporta os sedimentos incoesivos (areias) partícula por partícula, enquanto que os coesivos (siltico-argilosos) podem ser carregados em porções maiores originadas pelo processo de solapamento da base e colapso das margens (LEINZ & AMARAL, 1998).

Os fatores que condicionam a erosão das margens fluviais são numerosos, destacando: a granulometria dos sedimentos, a geometria e a estrutura da margem, as propriedades mecânicas do material, as características hidrodinâmicas do fluxo nas proximidades das margens e as condições climáticas (THORNE & TOVEY, 1981 *apud* SILVA et al., 2008).

O canal fluvial pode ser caracterizado por variáveis morfológicas e dinâmicas. O regime de débitos, a potência da corrente, o gradiente hidráulico, a velocidade de fluxo, o transporte de sedimentos, e a mobilidade do canal são variáveis dinâmicas, enquanto o gradiente do leito, a sinuosidade, a forma da seção transversal, a largura, a profundidade, a

tipologia das barras, e as características da planície de inundação são variáveis morfológicas (SILVA, 2006). Diante de uma mesma situação hidrodinâmica, a erosão de uma margem depende, além dos fatores externos, da relação entre as características morfológicas e da dinâmica do canal (THORNE, 1978).

Segundo Brighetti (2001) numa bacia de drenagem os cursos d'água naturais são meandrados, isto é, o rio procura o seu equilíbrio, que também é dinâmico, aumentando a extensão, erodindo, depositando e diminuindo, conseqüentemente, a sua declividade longitudinal. Assim, a erosão fluvial é um processo natural que através do esculpimento das margens o rio busca a estabilidade hídrica dos leitos. No entanto, interferências antrópicas no leito do rio e a ausência de um planejamento adequado do uso da terra na bacia, modificam a hidrodinâmica do fluxo e originam um aumento da quantidade de sedimentos carreados pelo rio, ocasionando um aumento significativo da erosão fluvial.

Alterações nas calhas dos rios podem aumentar a quantidade de depósitos e a instabilidade dos leitos. As práticas que mais afetam o ciclo de hidrossedimentológico são: o desmatamento, a agricultura, a urbanização, a mineração, a construção de estradas, a retificação e o barramento dos cursos d'água, o que altera a dinâmica do regime fluvial (BORDAS & SEMMELMANN, 2004). A retificação do rio representa uma modificação geométrica do seu traçado, tendo entre seus objetivos, melhorar as condições de escoamento possibilitando o rebaixamento da linha d'água nas cheias, viabilizar a navegação (BRIGHETT, 2001). Dentre os problemas ambientais ocasionados pela retificação destacam-se o aumento significativo da velocidade dos rios aumentando a carga de sedimentos transportada, podendo causar assoreamento a jusante, no próprio rio ou, então, baías, lagos ou reservatórios (ARAUJO, 2007).

2.4 Métodos Utilizados no Monitoramento da Erosão Fluvial

O estudo dos processos erosivos vem sendo realizado há diversas décadas. Ao longo do tempo, os métodos e as técnicas utilizadas no monitoramento foram se aperfeiçoando, juntamente com o surgimento de novos métodos, sendo estes originados do avanço tecnológico. A escolha dos métodos e técnicas a serem utilizados irá depender dos objetivos do estudo, dos recursos humanos e financeiros disponíveis, das condições climáticas, do tipo de solo, das condições ambientais e de outras características relevantes para o tema em questão (GUERRA, 2005).

Apesar da grande diversidade de métodos e técnicas para o monitoramento dos processos erosivos, de acordo GUERRA (1996) os métodos mais utilizados no Brasil são: o do pinos, das estacas e das perfilagens. O primeiro consiste na inserção de pinos na face das margens, cujo recuo é medido pelo grau de exposição que os pinos apresentam, enquanto que o das estacas consiste na instalação de estacas de madeira na superfície do barranco. A mensuração da distância entre elas e a margem demonstra o resultado do processo (ROCHA & SOUZA FILHO, 1996).

O método das perfilagens sucessivas consiste no levantamento de perfis nas margens monitoradas e ilustram a evolução progressiva dos perfis. Este método é apresentado de forma gráfica para evidenciar a evolução da face do barranco e morfologia da seção transversal, ao longo do período monitorado (ROCHA & SOUZA FILHO, 1996). Em determinados trabalhos pode ser observado a utilização combinada de mais de um método para avaliação da erosão, como no trabalho desenvolvido por Souza Filho & Stevaux (1997), onde foi feito o monitoramento da erosão marginal nas margens do rio Paraná durante um período de 2 anos, utilizando o método dos pinos associados com o das perfilagens sucessivas.

ARAÚJO (2007) fez a avaliação espaço-temporal de erosão de margens no córrego do cedro em Presidente Prudente, São Paulo, onde utilizou simultaneamente os métodos das estacas, pinus e das perfilagens sucessivas, destacando que a avaliação por meio do método da perfilagem possibilitou o conhecimento das mudanças morfológicas das seções transversais a partir dos marcos/estacas.

No trabalho realizado por SILVA (2008) sobre avaliação da erosão na margem direita do rio Paraguai a jusante da praia do Julião, município de Cárceres-MT, foi utilizado o método das estacas no monitoramento, associado a dinâmica fluvial e características das margens. Neste trabalho, o autor ressalta que os fatores que condicionam a erosão das margens fluviais são numerosos, destacando-se: a granulometria dos sedimentos, a geometria e a estrutura da margem, as propriedades mecânicas do material, as características hidrodinâmicas do fluxo nas proximidades das margens e as condições climáticas.

SALVADOR (2006) monitorou a erosão na margem direita do rio São Francisco, através de levantamentos topográficos planialtimétricos sistemáticos para a caracterização morfométrica das margens que foram representados através de perfis transversais e plantas planialtimétricas. Segundo o autor, o método permitiu a determinação precisa e automática dos principais atributos topográficos das margens, proporcionando maiores vantagens em relação aos métodos tradicionais. O instrumento eletrônico utilizado foi uma estação total e acessório, como, primas, tripé e piquetes.

2.5 Scan Laser

Uma das ferramentas mais promissora desenvolvidas nos últimos anos são os sistemas de varredura por feixes de laser (scan laser), que impulsionou o uso de sensoriamento remoto para o estudo e análise do ambiente, principalmente pela possibilidade de obtenção de informação tridimensional da paisagem, o que permite o reconhecimento de objetos, como prédios e vegetação (RIBEIRO et al., 2002).

O scan laser é um sistema de sensoriamento remoto ativo utilizado para medir a distância entre o sensor e a superfície dos objetos. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) que é emitido em direção aos objetos. Ao atingir a superfície dos objetos, este feixe é refletido e um eco retorna ao sistema, que faz o papel de emissor e sensor da energia. O sistema é então encarregado de medir este “eco” e registrar o tempo decorrido entre a emissão e a captação do “eco”. A partir da intensidade do sinal de retorno é possível derivar informações a respeito da natureza da superfície do objeto, mas o dado mais relevante é o tempo decorrido entre a emissão e o registro do sinal, pois permite calcular a distância entre o sensor e o objeto (CENTENO & MITISHITA, 2007).

O sistema de varredura laser pode ser dividido em três componentes principais: a unidade de medição a laser (encarregada de emitir e receber o sinal laser), um sistema de varredura e uma unidade de registro de medições de apoio. Para se obter a posição altimétrica e planimétrica com precisão dos pontos contidos no terreno e nas elevações (árvores, edificações etc), é necessário o apoio com informações de GPS diferencial (dGPS) e ainda de um sistema que fornece dados a respeito da orientação da plataforma durante a aquisição da imagem (CENTENO & MISHITA, 2007).

No mercado consumidor existem vários modelos de scan laser que utilizam sistemas diferenciados para o escaneamento, que variam desde as características do sistema de varredura, passando pelo princípio de medição da distância, até a velocidade e intervalos de

medida. A exatidão e a quantidade de pontos medidos variam de acordo com o modelo do scanner (WUTKE, 2006).

A composição de uma cena, formada por milhares de pontos medidos, é denominada "nuvem de pontos", sendo que cada ponto possui as coordenadas (X, Y e Z). Com um *software* de modelamento 3D, é possível modelar edificações civis, plantas industriais e equipamentos com precisão.

Além disso, o uso do scan laser traz rapidez, boa precisão e praticidade na geração de modelos digitais de elevação constituindo-se numa alternativa à restituição fotogramétrica (COELHO et al., 2002). O Modelo Digital de Elevação (MDE) contém informações de altura e elevação de todos os objetos presentes sobre a superfície terrestre (vegetação, construções, linhas de transmissão de energia, etc) (SCHÄFER, 2004).

Através do scan laser também é possível gerar o Modelo Digital do Terreno (MDT). Petrie & Kennie (1990), definem Modelo Digital do Terreno como sendo o mais complexo e abrangente em relação ao MDE porque envolve não somente as cotas das elevações, mas outros elementos geográficos e características naturais como rios, linhas de cume, etc.

Segundo Wutke (2006) as exigências quanto à qualidade dos dados obtidos dependem da finalidade do levantamento, o que também influencia na seleção dos métodos tradicionais. O uso do scan laser possui claras vantagens em relação aos outros sistemas de mapeamento, geração de modelos digitais e cartas topográficas, modelagens em 3D, destacando-se principalmente no que tange à aplicação, ao rendimento, à velocidade, à precisão e à segurança, já que permite capturar informação topográfica em lugares inacessíveis (ROCHA, 2002).

Atualmente esta tecnologia é utilizada em diferentes ramos de atividade desde projetos rodoviários até levantamentos topográficos (SCHAFER, 2004; ROCHA, 2002). Segundo ROCHA (2002) esse método de levantamento topográfico é promissor no que tange à produtividade e eficiência. A possibilidade de obter as informações e a possibilidade de processá-las de uma forma tão rápida diminui ao mínimo a lacuna existente entre o trabalho de escritório e o de campo.

2.6 Caracterização e Histórico da Bacia Hidrográfica do Rio Macacu-RJ

O rio Macacu foi um importante eixo de comunicação da região, onde pequenos portos localizavam-se ao longo dos rios, servindo para escoar os produtos agrícolas. A rede de estradas foi se expandindo à medida que as fazendas eram abertas. Com a expansão agrícola da região no início do século XX começaram a surgir os problemas referentes ao assoreamento dos cursos d'água (DEAN, 1996).

A partir de 1933 foi iniciado um grande projeto de saneamento e drenagem da Baixada da Guanabara, que consistiu na construção de uma série de canais e adutoras, além de diques marginais aos rios. O rio Macacu nas suas porções média e baixa foi bastante alterado com esse projeto (DEAN, 1996).

A bacia hidrográfica do rio Macacu é limitada ao Norte e Noroeste pela Serra dos Órgãos, a Nordeste pela Serra de Macaé de Cima, a Leste pelas Serras da Botija e de Monte Azul e ao Sul pelas Serras de Sambe e dos Garcias (IBGE, 2010).

O rio Macacu nasce na Serra dos Órgãos, a cerca de 1.700 m de altitude, no município de Cachoeira de Macacu, e percorre aproximadamente 74 km até a sua junção com o rio Guapimirim. Os principais afluentes são os rios São Joaquim, Bela Vista, Bengala, Soarinho, das Pedras, Pontilhão e Alto Jacu, pela margem esquerda, e os rios Duas Barras, Cassiano e Guapiaçu, pela margem direita (Helder, 1999).

A partir da confluência do Guapiaçu com o Macacu inicia-se o Canal de Imunana, construído pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) com o objetivo de drenar as áreas adjacentes frequentemente inundadas. Com a construção do canal o curso natural do Macacu foi desviado e ele se uniu ao Guapimirim. Sua área de drenagem, por essa razão, foi enormemente aumentada e o rio Guapimirim, após receber as águas do Macacu/Guapiaçu passou a ser chamado de Guapi até a sua foz na Baía de Guanabara (COREIXAS, 2002).

O rio Macacu é o principal rio que deságua na Baía de Guanabara contribuindo atualmente com o abastecimento de água para vários municípios fluminenses.

O uso do solo na bacia é predominantemente rural, com áreas de vegetação natural, agricultura e de pastagens. Desde a invasão e ocupação européia esta região vem sofrendo intervenções antrópicas crescentes. Iniciou-se com a atividade extrativista, seguido pelo ciclo da cana-de-açúcar no século XVII, o ciclo da mineração, do café e da expansão urbana entre 1870 e 1930 e o desenvolvimento urbano-industrial entre 1930 e 1990 (PEREIRA & CASTRO JUNIOR, 2003). Atualmente está sendo construído nessa bacia, o pólo petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) que ocupará uma área de 45 milhões de metros quadrados, com investimentos previstos em torno de US\$ 8,38 bilhões e visa a produção de resinas termoplásticas e combustíveis e irá gerar cerca de 212 mil empregos (www.petrobras.com.br).

Na bacia os trechos meândricos dos rios foram substituídos por canais retilíneos. A drenagem dos terrenos marginais e o aumento do desmatamento para ocupação intensificaram os processos de erosão e sedimentação das calhas dos rios. A aceleração dos processos erosivos e assoreamento dos leitos fluviais na bacia do rio Macacu são resultado das ações antrópicas na área de drenagem da bacia (FRREDMAN, 1993).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Macacu que abrange os municípios de Cachoeira de Macacu, Nova Friburgo e Silva Jardim (Figura.1).

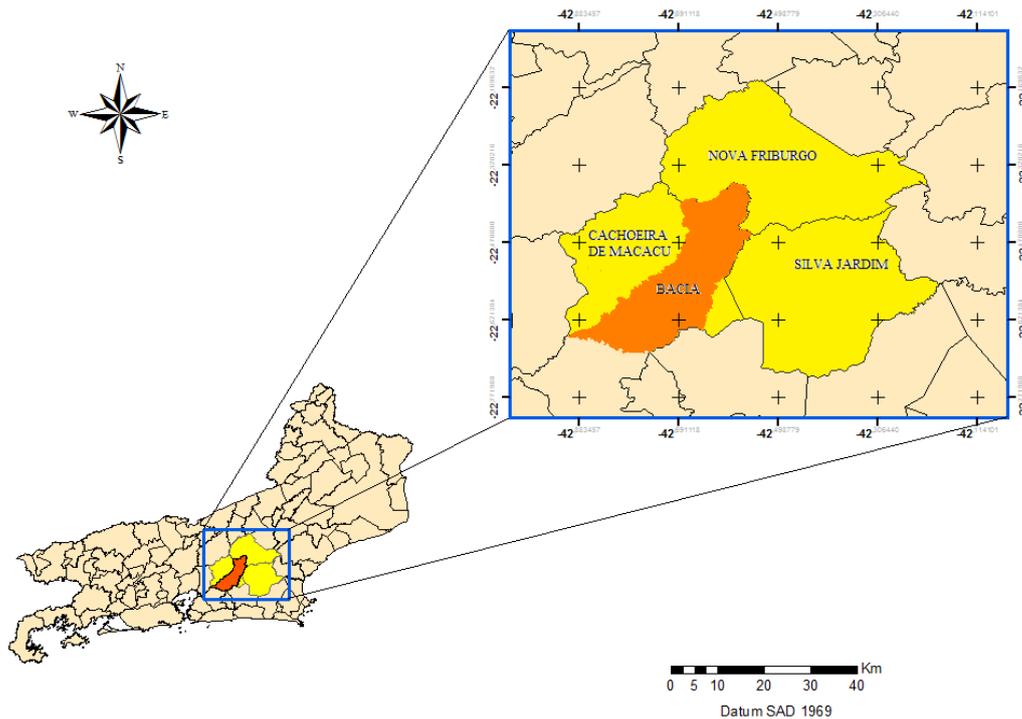


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Macacu, RJ.

A bacia está sujeita as chuvas orográficas, oriundas das massas de ar úmidas provenientes do oceano, que se chocam com a serra, se elevam e precipitam, assim, suas encostas estão sob influência da Massa Tropical Marítima. O clima da região é classificado como tropical quente e úmido e tropical de altitude, mesotérmico ou subtropical, com precipitações anuais que variam de 1.000mm até 2.200mm (RADAMBRASIL, 1983).

Quanto ao relevo, na bacia do rio Macacu encontram-se escarpas e reversos da serra do Mar, seguidas de colinas e maciços costeiros, uma pequena área de tabuleiros costeiros e na proximidade da foz existem áreas de planícies costeiras e modelados de acumulação fluvial (IBGE, 1977). As altitudes máximas são encontradas junto às nascentes dos rios e são na ordem de 1.700 m, no rio Macacu, 1.200 m no rio Guapiaçu e 2.000 m no rio Guapimirim. Observa-se na área da bacia o bioma Mata Atlântica e os ecossistemas campos de altitude, manguezais, brejos, rios e estuários (COSTA, 1999).

3.2 Análise da Perda de Solo

As análises e o processamento dos dados foram feitos com auxílio do software de geoprocessamento Arc.Gis9.3, utilizando a equação universal de perda de solo (EUPS) para quantificação da perda de solo. A base de dados utilizada é composta pelo mapa de solo, mapa de uso e ocupação do solo e modelo digital de elevação, sendo estes disponibilizados por meio pessoal.

A EUPS consiste de um modelo multiplicativo simples, pelo qual a perda média anual de solo, expressa em massa por unidade de área por tempo (ton. ha⁻¹.ano⁻¹), é dada pelo produto de seis fatores determinantes, de acordo com a seguinte equação (WISCHMEIER & SMITH, 1978):

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Em que:

R = fator erosividade da precipitação pluvial e da enxurrada, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

K = fator erodibilidade do solo, em ton. h MJ⁻¹ mm⁻¹;

L = fator comprimento da encosta, adimensional;

S = fator grau de declividade, adimensional;

C = fator de cobertura e manejo da cultura, adimensional;

P = fator práticas de controle da erosão, adimensional;

Os fatores R, K, L e S dependem das condições naturais do clima, do solo e do relevo, e definem em conjunto o potencial natural de erosão. Os fatores C e P são antrópicos e se relacionam com as formas de ocupação e uso das terras (WEILL, 2008).

3.2.1 Fator R

Expressa o potencial da chuva de provocar a erosão do solo, sendo variável de região para região (BAZZANO et al., 2007). Para o cálculo do índice de erosividade utilizou-se a equação desenvolvida por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), expressa por:

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

Sendo:

EI = média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹;

r = precipitação média mensal em mm;

P = precipitação média anual em mm;

A determinação desse Fator foi feita através da média de soma dos valores do índice de erosividade, ou seja:

$$R = \Sigma EI / 12 \quad (3)$$

Em que:

R = erosividade da chuva em MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹;

EI = média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹;

A série histórica utilizada na obtenção da precipitação corresponde a um intervalo de tempo de nove anos referente ao período de 1979 a 1988. A precipitação utilizada é referente a uma média feita de três estações fluviométricas, onde duas estão localizadas no curso superior do rio e a outra no curso médio do rio (KURTZ & ARAÚJO, 2000).

O valor do Fator R foi inserido como atributo em um arquivo vetorial do limite da área, que foi posteriormente convertido para o formato raster tendo o Fator R como atributo único de todas as células.

3.2.2 Fator K

Representa o fator de erodibilidade do solo, ou seja, a sua suscetibilidade natural à erosão hídrica, sendo expresso como a quantidade de solo perdido por unidade de erosividade da chuva (MANNIGEL et al. ,2002). Os valores utilizados para esse fator variou conforme as classes de solos presente na bacia (Figura 2) sendo baseados na metodologia proposta por Denadri (1990) e Wischmeier et al (1971) (Tabela.1).

Tabela 1: Valores do fator de erodibilidade

Classe de solo	Erodibilidade dos solos (fator K)
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	0,0153
Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	0,0438
Cambissolo Háplico Tb distrófico	0,0240
Gleissolo Háplico Tb distrófico	0,0310
Neossolo Flúvico	0,0646
Neossolo Litólico	0,0551
Planossolo	0,041

O valor do fator K foi inserido como um atributo no arquivo vetorial do mapa de solos da área (Figura 2) posteriormente o arquivo foi convertido para raster onde passou a ter o Fator K como atributo único de todas as células.

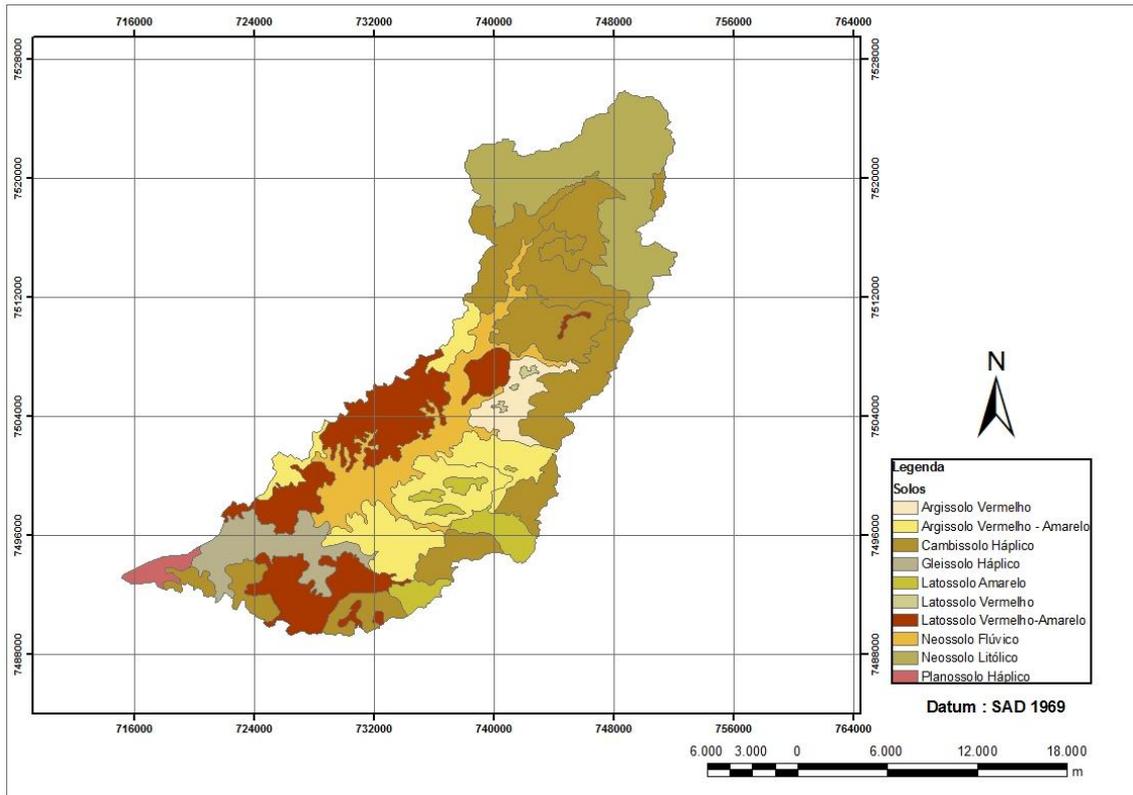


Figura 2: Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ (BOCHNER, 2010).

3.2.3 Fator LS

Tendo como finalidade facilitar a aplicação da EUPS, os valores dos fatores L e S foram obtidos de forma agrupada, conforme sugerido por Prado & Nobrega (2005), pois esses fatores estão diretamente relacionados à topografia.

A partir do modelo digital de elevação (MDE) da bacia (Figura 3) foi gerado o mapa de declividade no formato raster. O valor do Fator LS foi inserido como atributo de acordo com a classe de declividade (Tabela 2), como propôs Kok *et al.* (1995).

Tabela 2: Valores do fator LS

Classe de Declividade (%)	Fator LS
0 -5	0,5
5- 15	3,5
15 – 30	9,0
> 30	16,0

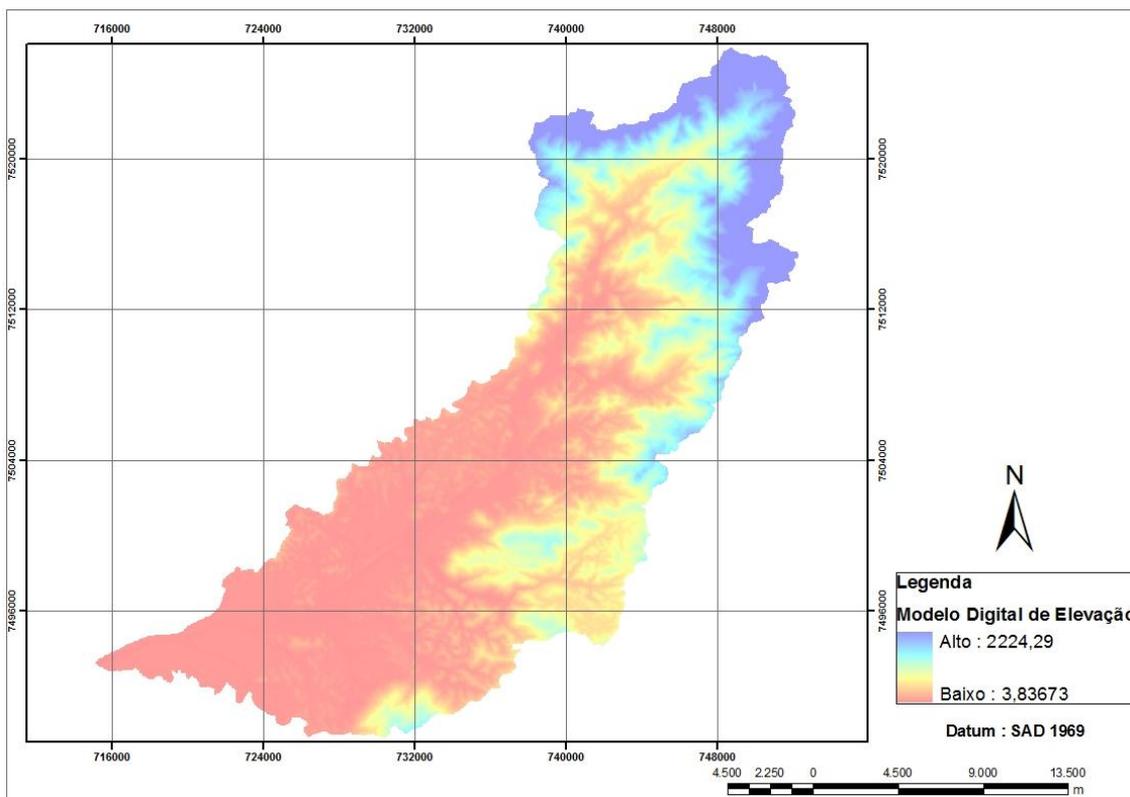


Figura 3: Modelo digital de elevação da bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ (BOCHNER, 2010).

3.2.4 Fator CP

O fator C segundo Weill (2008) refere-se ao efeito combinado da proteção oferecida pela cobertura vegetal e os diferentes sistemas de manejo. Enquanto que o fator P refere-se à relação entre a intensidade esperada de perdas de solo com determinada prática conservacionista e perdas quando a cultura está plantada no sentido do declive (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1999). Nesse trabalho foi utilizado os valores agrupados de C e P (Tabela 3) proposto por Stein et al. (1987), pois este será dado em função do uso e ocupação do solo.

Tabela 3: Valor agrupado dos fatores de C e P

Classe de uso	Valor CP
Mata	0,000001
Capoeira	0,000100
Café	0,000750
Pastagem	0,002000
Solo exposto	1,000000

O valor do fator CP foi inserido como atributo no arquivo vetorial do mapa de uso e ocupação do solo (Figura 4) que posteriormente foi convertido para o formato raster tendo o fator CP como atributo único de todas as células.

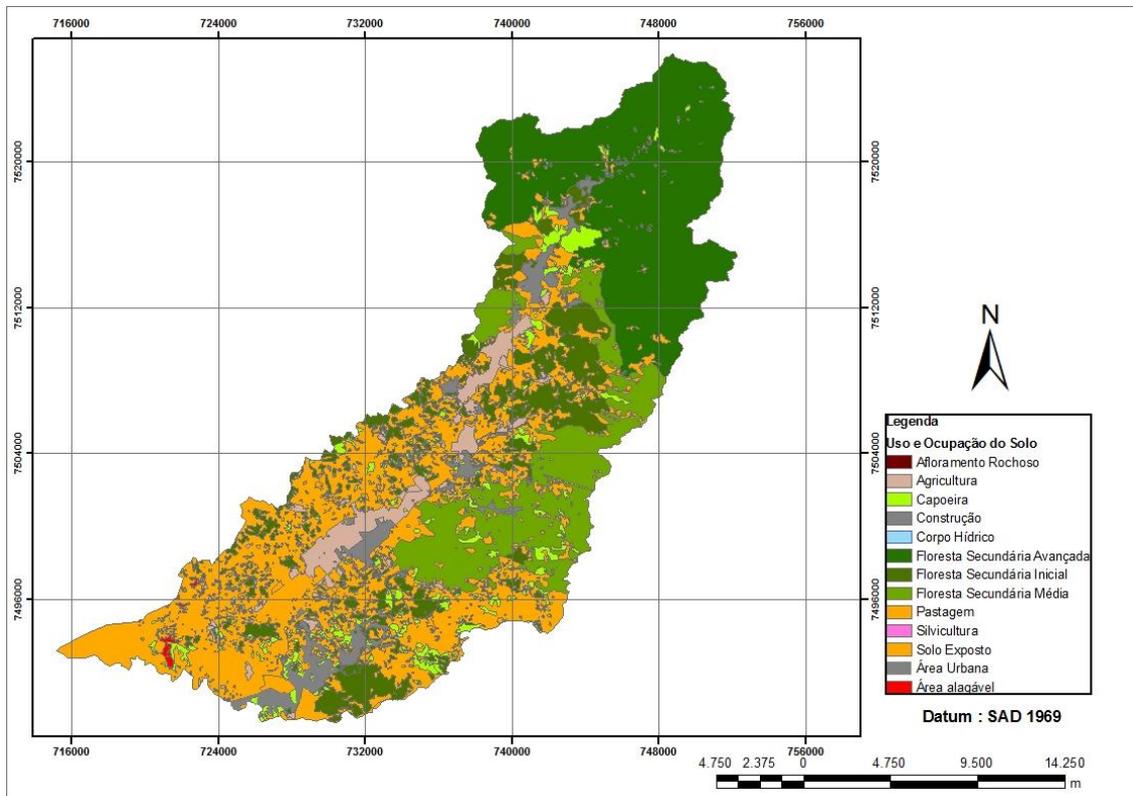


Figura 4: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ (BOCHNER, 2010).

Através da ferramenta *Algebra de Mapas* do ArcView 9.3, foi realizada a multiplicação dos temas no formato raster dos fatores R, K, LS e CP, obtendo-se um novo arquivo raster com os valores de perda de solo. A reclassificação do arquivo foi realizada de modo que os valores de perda de solo fossem agrupados em cinco classes distintas. Após a conversão do arquivo para o formato vetorial tornou-se possível quantificar as áreas de acordo com a classe.

3.3 Estudo da Erosão Fluvial

3.3.1 Localização do transecto

O trecho analisado do rio Macacu localiza-se no município de Cachoeira de Macacu, encontrando-se no curso médio da bacia (Figura 5). Os critérios utilizados na escolha da área do transecto foram: facilidade de acesso ao local, existência de margem erodida com ausência de vegetação e possibilidade da montagem dos equipamentos na margem oposta do trecho a ser monitorada.

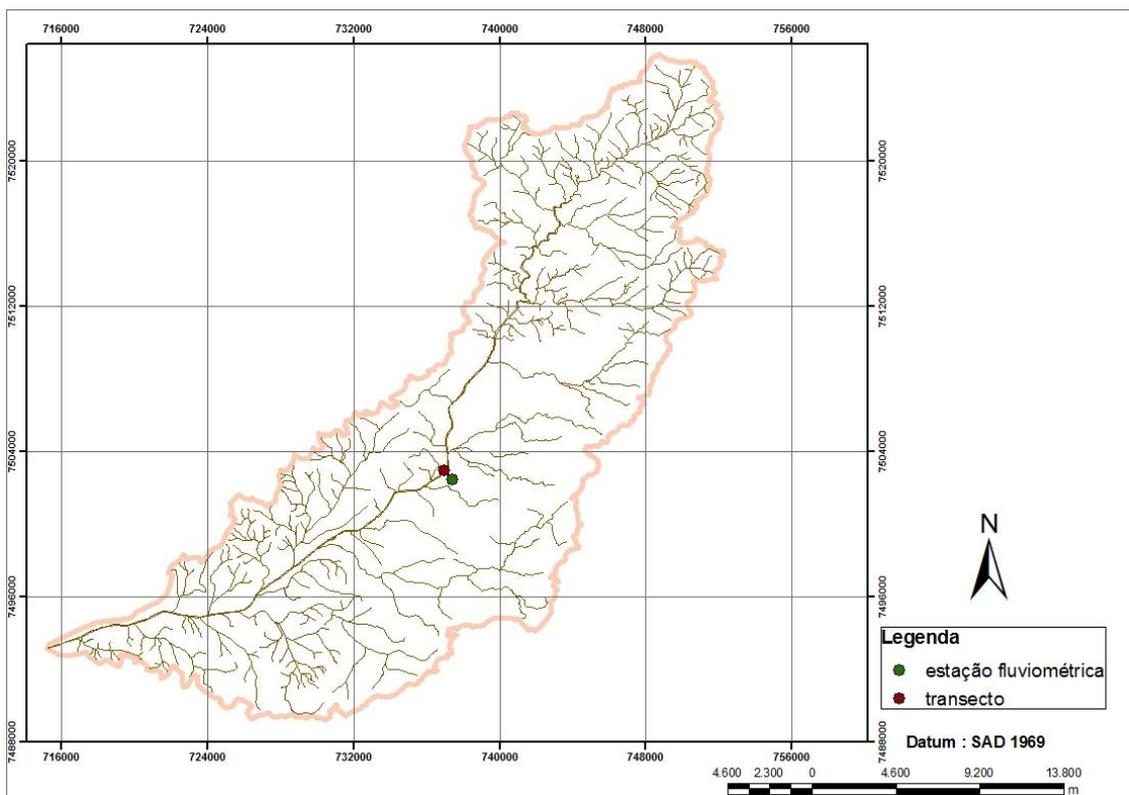


Figura 5: Localização do transecto e da estação fluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Macacu-RJ.

3.3.2 Utilização do scan laser e GPS geodésico

No monitoramento da erosão utilizou-se o aparelho scan laser modelo Quarryman® Pro da marca MDL (Figura 6a) juntamente com pontos de apoio, sendo estes as coordenadas geográficas precisas, que foram obtidas através do GPS Geodésico (Figura 6b). A varredura foi feita nos meses de junho e julho.

O scan laser modelo Quarryman® é um instrumento que pode ser operado como uma estação total ou como um escaneamento por laser em 3D, permitindo a coleta de milhões de pontos que são armazenados em um cartão de memória compacto que é inserido no instrumento (www.alphageofisica.com.br).

O escaneamento é realizado de forma automática após a programação do aparelho. Nesta programação, ou seja, na calibração do aparelho são feitas marcações nas extremidades da face, escolha se a varredura será feita por polígono ou retângulo e são estabelecidas as distâncias de coleta dos pontos no plano horizontal e vertical.

No transecto analisado optou-se pela varredura através do retângulo já que as margens possuem formatos similares e distâncias de 5cm no plano vertical e horizontal vertical.

Através do GPS Geodésico da Leica modelo 1200 obteve-se as coordenadas geográficas precisas do ponto onde o scan laser estava posicionado no momento do escaneamento e do ponto utilizado como apoio para o processamento das coordenadas geográficas.



Figura 6(a): Scan Laser.



Figura 6(b): GPS Geodésico.

O processamento dos dados do GPS foi feito utilizando o software Leica Geo Office Combined, após obtenção das coordenadas precisas, utilizou-se o software MDL Quarryman-Pro para processamento e tratamento dos dados do scan laser, sendo posteriormente exportado para o formato DXF. No software ArcGis 9.3 foi feita a conversão do arquivo para o formato shapefile e realizada a interpolação dos pontos utilizando a ferramenta *Topo to raster*, gerando o modelo digital de elevação da margem, sendo este utilizado na obtenção do mapa de declividade e curva de nível. As visualizações e obtenção das imagens em 3D foram feitas à partir do ArcScene.

3.4 Textura do Solo e Vazão do Rio Macacu

A fim de se obter uma melhor análise do processo de erosão fluvial na bacia tornou-se necessário o conhecimento de outros fatores tais como: textura do solo e a vazão do rio já que estes também influenciam na dinâmica do processo erosivo.

3.4.1 Vazão do rio Macacu

A partir da série histórica de vazão do rio Macacu obtida no site <http://www.hidroweb.ana.gov.br/> foi obtida a distribuição da vazão anual do rio. A série histórica utilizada é do período de 1969 a 2009.

3.4.2 Análise granulométrica do solo

Através da análise granulométrica do solo coletado na margem analisada obteve-se a textura do solo. A coleta foi feita em três diferentes alturas sequenciais, com o auxílio de uma

pá. As amostras de solos foram analisadas no Laboratório de Solos da UFRRJ conforme Embrapa (1997)

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A precipitação média anual obtida da área a partir da série histórica (1979 a 1988) foi de 2.558,4 mm gerando um fator R equivalente a 962,9. O problema verificado foi que o relevo da bacia apresenta uma amplitude altimétrica muito elevada, variando de 25 metros no baixo Macacu, até a mais de 1.500 m na sua nascente. (KURTZ & ARAÚJO, 2000) por isso o ideal seria gerar três valores do fator R já que o volume de precipitação é diferente ao longo da bacia. Através do mapa de perda de solo (Figura 7), tornou-se possível analisar e estimar a perda de solo, tendo os fatores de erodibilidade do solo (Fator K), erosividade da chuva (Fator R), comprimento de rampa e declividade (Fator LS) e uso e ocupação do solo (Fator CP) como critérios de análise

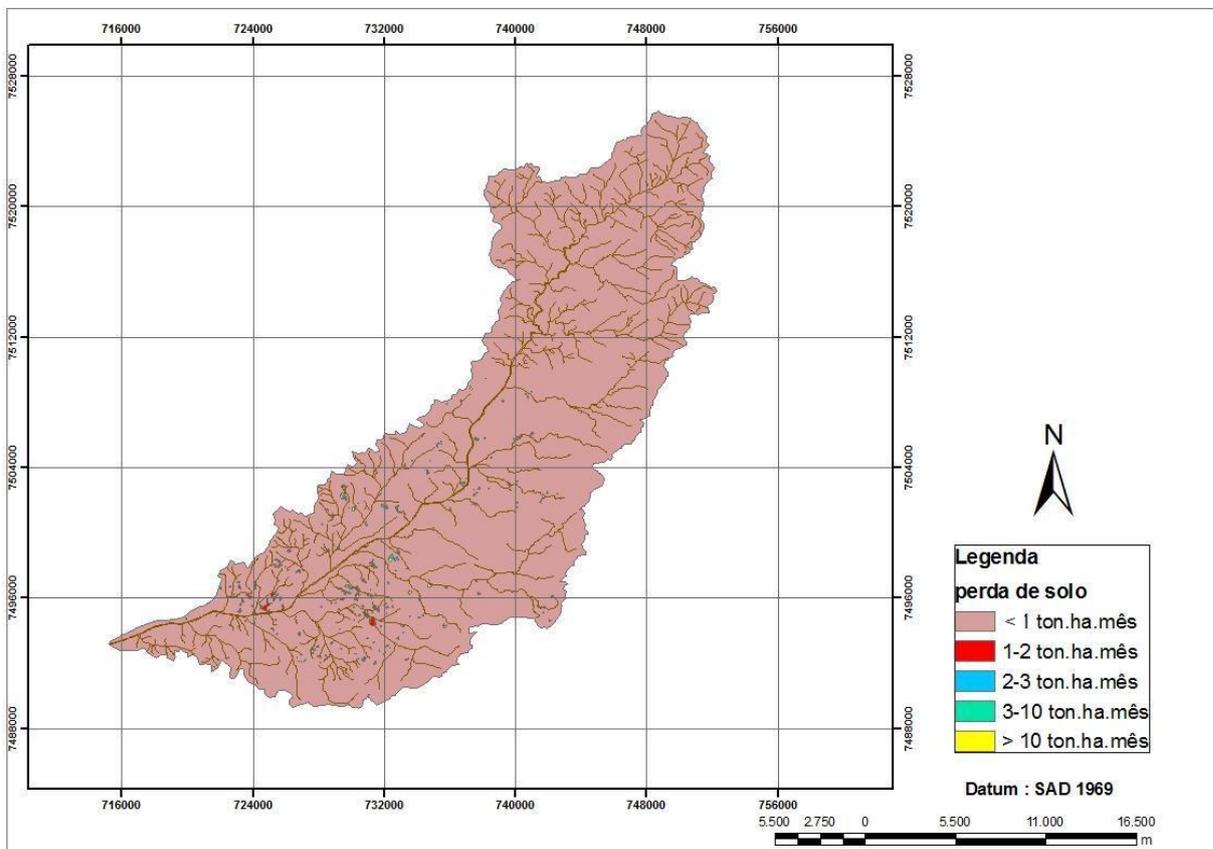


Figura 7: Mapa da perda de solo da bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ.

A área de estudo de acordo com a metodologia utilizada apresentou pouca perda de solo (Tabela 4), onde 99,5% da sua área apresentaram baixo risco de ocorrer perda de solo. Isso ocorre devido principalmente à região ainda apresentar boa cobertura florestal, principalmente nas áreas mais susceptível a ocorrer erosão, que seria o alto rio Macacu, que representa a encosta serrana, ou seja, a região de maior declividade da bacia.

A bacia apresenta-se bem conservada, o que pode ser visto quando comparada com outros estudos realizados utilizando a EUPS em diferentes bacias. Weill (2008) trabalhando

na microbacia do rio Cerveiro, no município de Piracicaba-SP, encontrou uma variação de 4,7- 8,9 de perda de solo para 35,6% da área total da bacia e em 27,7% uma perda de 0,375 ton.ha.mês, sendo estas as mais representativas na área. Costa (2007) indicou que os municípios onde se localiza a bacia possuem uma baixa vulnerabilidade aos processos erosivos, tendo este resultado com base na perda de solo obtida através da EUPS.

Tabela 4: Quantificação e área da perda de solo na bacia hidrográfica do rio Macacu obtidas por meio do software ArcGis 9.3

Perda de Solo (ton.ha.mês)	Área (ha)	Área %	Risco de Erosão
< 1	50.399,4	99,5	Baixo
1 – 2	91,1	0,18	Baixo
2 – 3	46,4	0,09	Médio
3 –10	34,9	0,07	Alto
< 10	59,3	0,12	Muito Alto
Total	50.631,1	100	–

A fim de se obter uma análise detalhada da perda de solo, a bacia foi dividida em três setores: curso superior, curso médio e curso inferior (Figura 8). Os cursos foram demarcados de acordo com o perfil do rio (Figura 9).

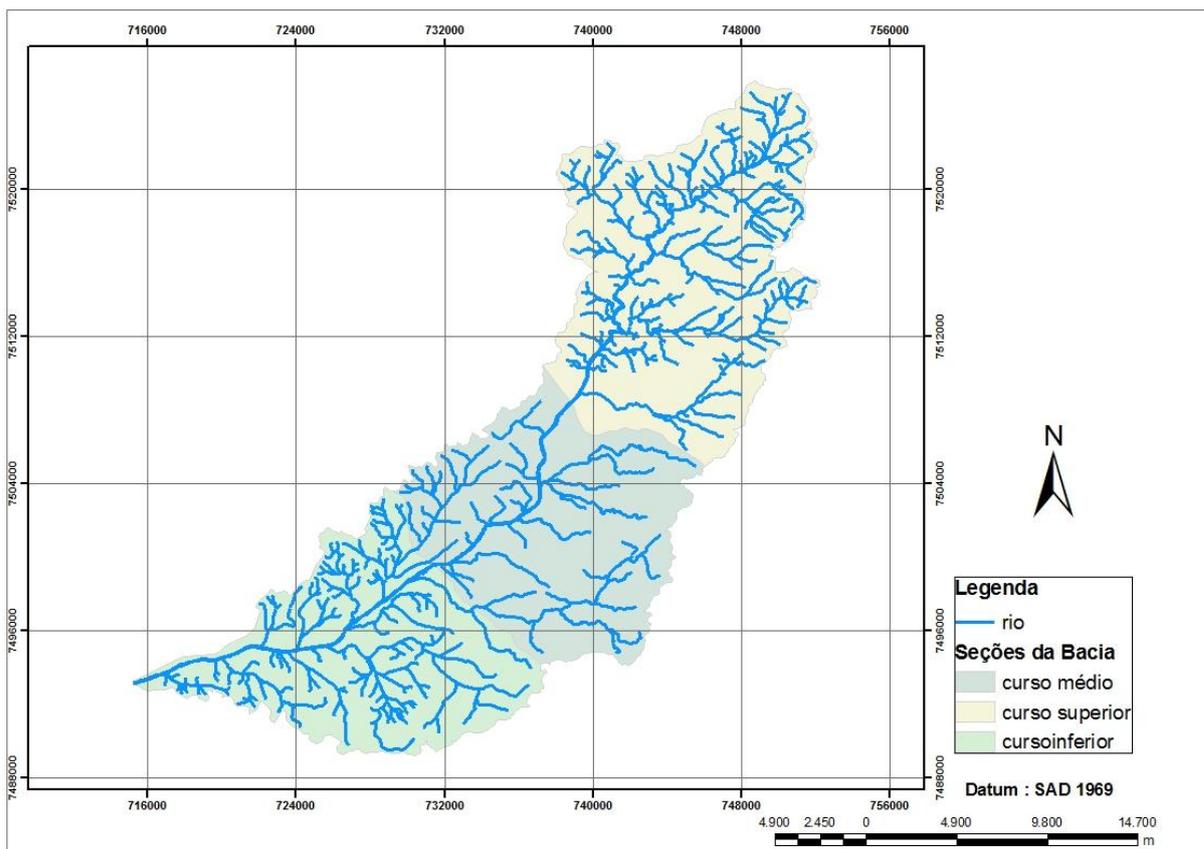


Figura 8: Mapa das secções da bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ.

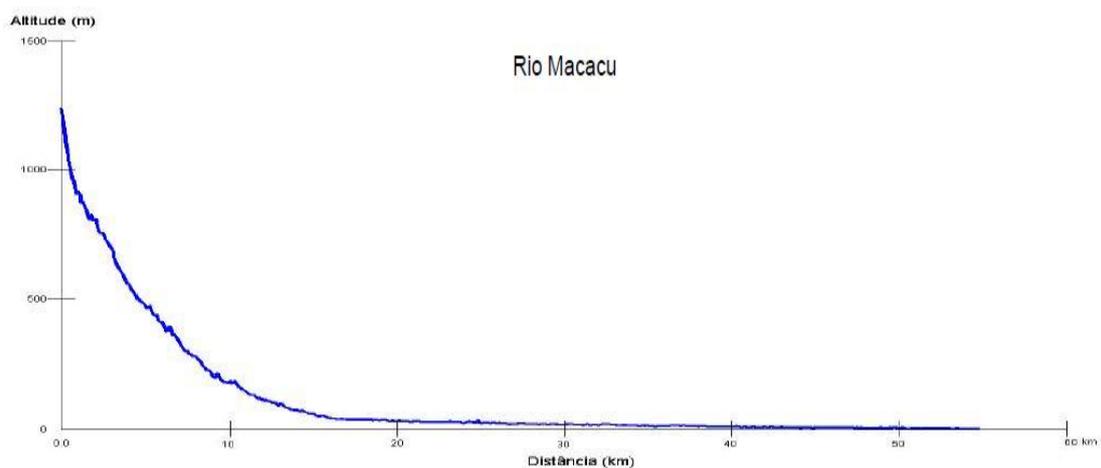


Figura 9: Perfil topográfico do leito do rio Macacu.

Utilizando como base o mapa de perda de solo e os setores da bacia, pode-se identificar que o curso médio e inferior são os que apresentam maiores áreas de perdas de solo (Figura 10 e 11).

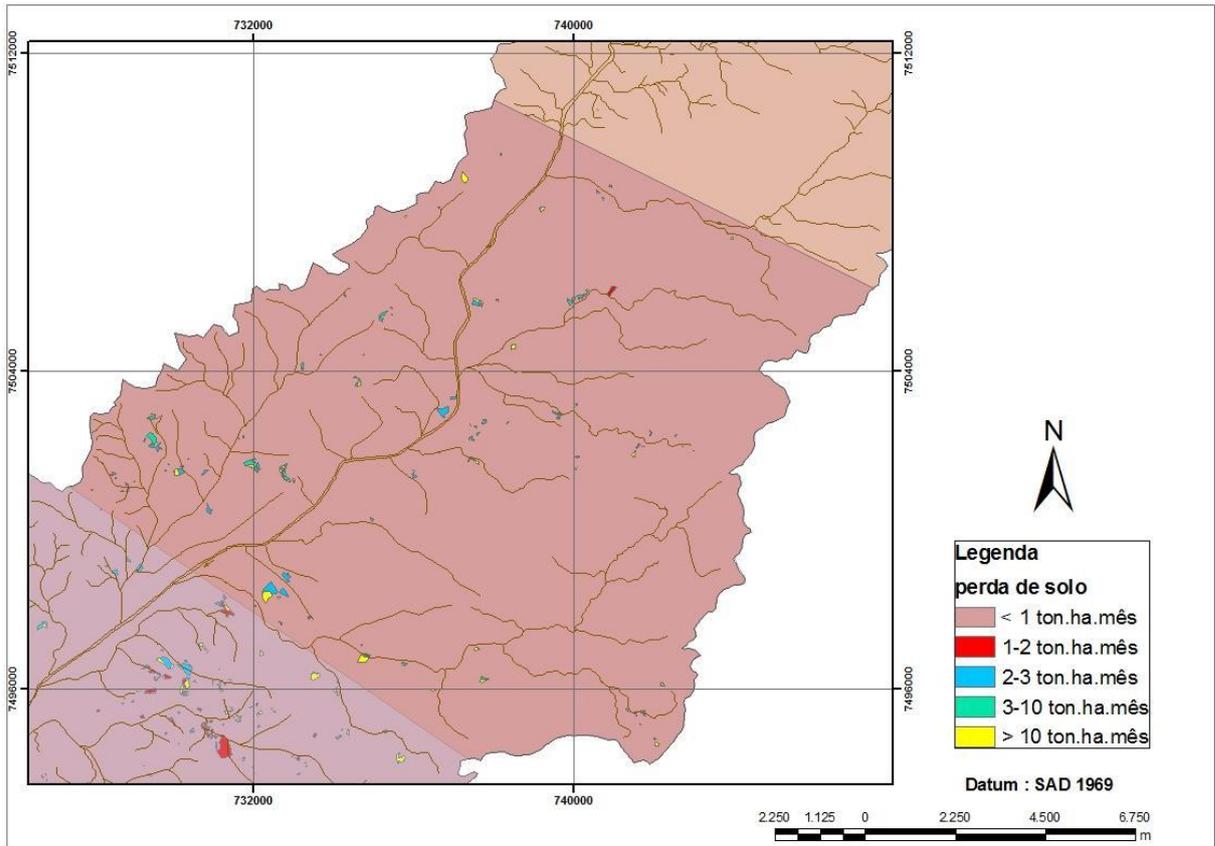


Figura 10: Mapa de perda de solo do curso médio da bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ.

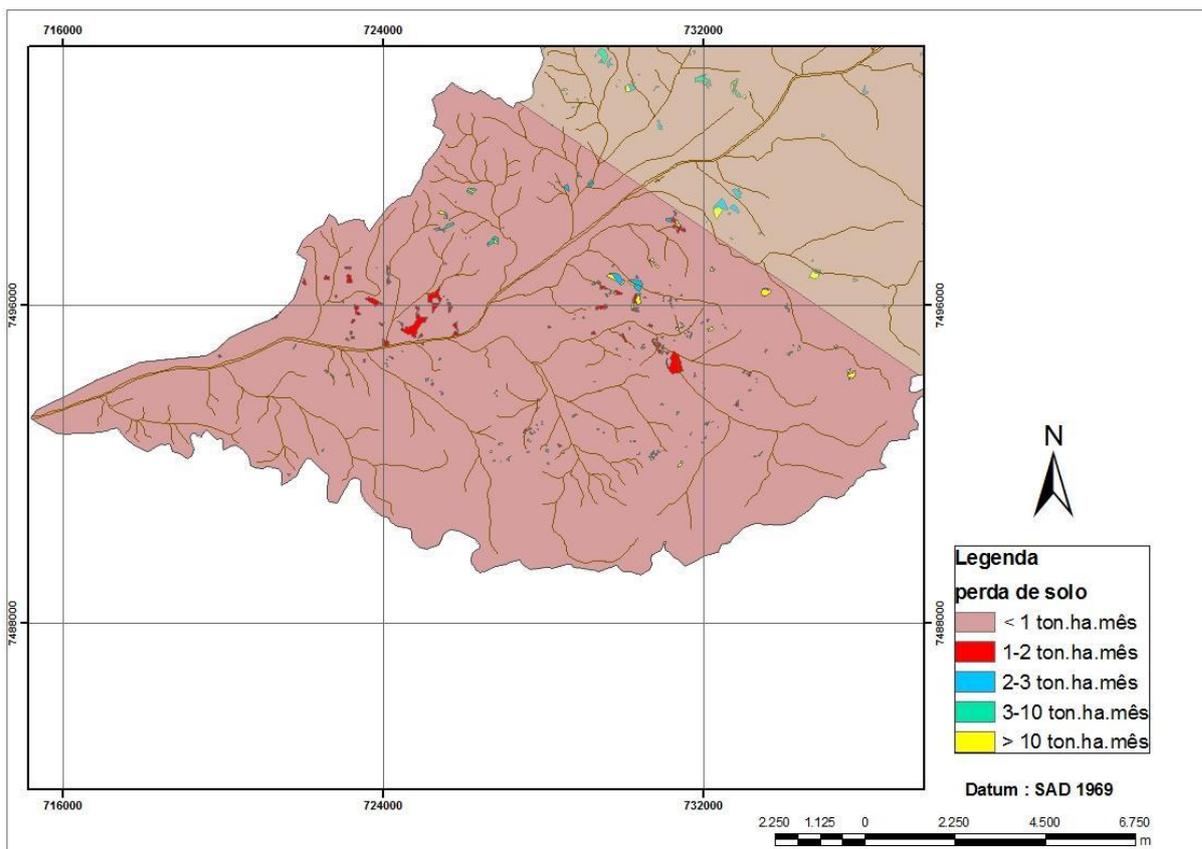


Figura 11: Mapa de perda de solo do curso inferior da bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ.

As áreas que representam maiores quantidades de perdas de solo estão concentradas no curso médio do rio. Este fato pode estar associado à maior atividade agrícola neste setor, conforme é possível observar no mapa de uso e ocupação do solo.

Prado & Nobrega (2005) no estudo realizado de perda de solo através da EUPS na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga, obtiveram as maiores taxas de perda de solo (> 2 ton.ha.mês) nas áreas onde encontravam-se os cultivos agrícolas de cana-de-açúcar e mandioca, atribuindo a este fato a variações da cobertura do solo durante o ano, ou seja, sua cobertura quando ele está sendo cultivado e sua exposição no período de preparo do solo. Primavesi (2005) afirma que o uso de maquinário no preparo do solo contribui para compactação do solo, reduzindo o potencial de infiltração do solo, acarretando um aumento da erosão hídrica e conseqüentemente maior perda de solo.

Silva (2004) no estudo da perda de solo por meio da EUPS na Bacia do rio Paracatu, indicou que as áreas obtidas como mais críticas em relação à perda de solo estão associadas a regiões de elevada declividade.

Na bacia do rio Macacu o curso superior do rio corresponde às áreas de maior declividade da bacia (Figura 12), porém esta região apresentou perda de solo insignificante. Isto está relacionado com a cobertura florestal em praticamente toda a área e que cobre mais de 55% da bacia (BOCHNER, 2010), que foi preservada devido a dois fatores: primeiro pelo relevo acidentado que dificulta o acesso e a ocupação, pois enquanto que a declividade média em toda bacia está em torno de 15° , no alto Macacu essa declividade média é de 23° ; segundo

e mais atual, a presença do Parque Estadual dos Três Picos nessa região, que auxilia na manutenção e existência da cobertura florestal.

Devido aos resultados de perda de solo obtido no estudo, foi atribuída uma maior influência do fator CP nos resultados porque a região da bacia mais suscetível apresentou insignificantes taxas de perda de solo

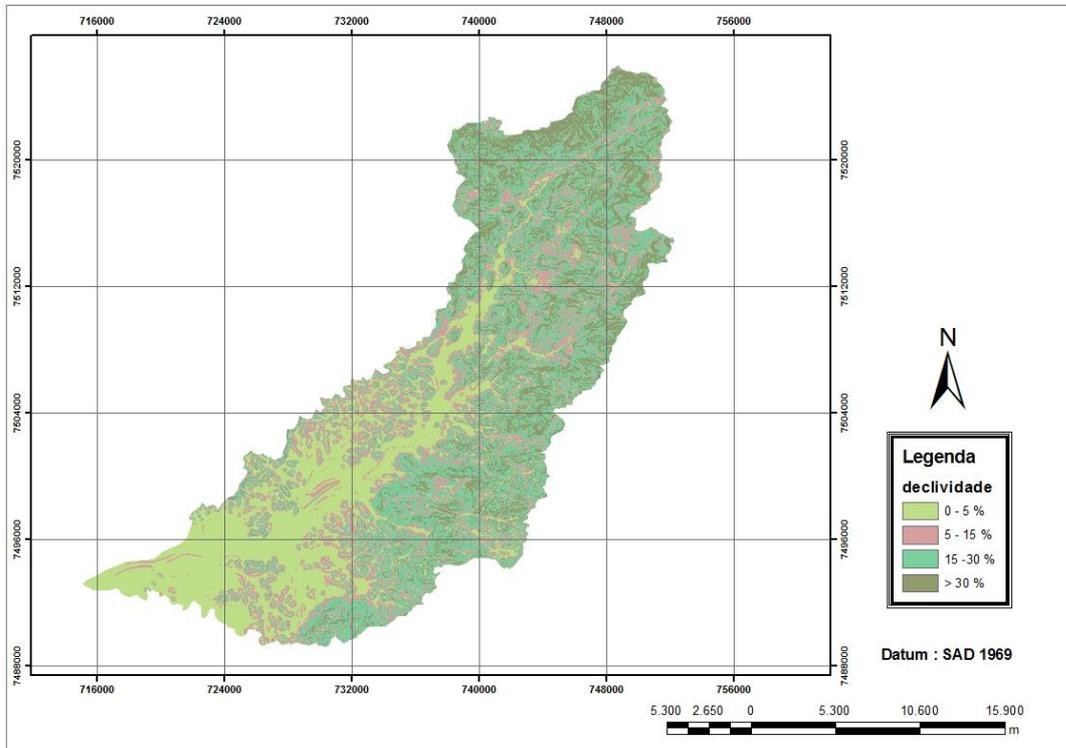


Figura 12: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Macacu-RJ.

A perda de solo está diretamente relacionada com o aumento de sedimento no curso de água contribuindo com o aumento da erosão fluvial. Minella et al. (2007) aponta que o fluxo de sedimento nos rios é proveniente de fontes difusas e ressalta a importância da identificação destas fontes para adoção de práticas conservacionistas.

A identificação do curso médio como uma seção da bacia que apresenta um alto potencial na contribuição de sedimento no fluxo do rio, foi determinante na escolha da margem que foi analisada.

A margem analisada (Figura 13) possui uma largura de 27m e uma altura de 7m, sendo esses dados obtidos através do scan laser.



Figura 13: Margem analisada com a localização das áreas de coleta dos solos.

A varredura da margem, que obedeceu a configuração de 5cmx5cm, ou seja, gerou pontos a cada 5cm tanto na linha vertical como horizontal, formou uma nuvem de pontos composta por 107.353 unidades, os quais cada um armazenava informações de coordenadas X, Y e Z (Figura 14).

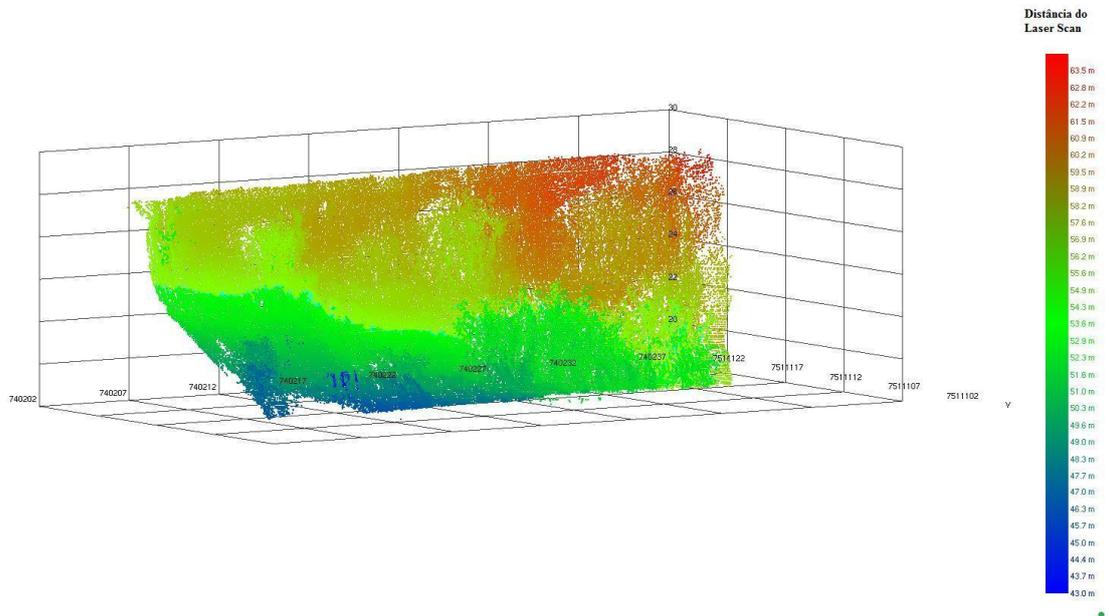


Figura 14: Nuvem de pontos da margem analisada.

Devido à presença da vegetação em pequenos trechos da margem, alguns pontos foram deslocados (Figura 15) porque que o scan laser captou o sinal refletido pela vegetação e não pelo solo. Este fator representa uma limitação do aparelho para estudo dos processos

erosivos em margem onde há presença de vegetação, já que o tratamento destes dados eleva o tempo do processamento.

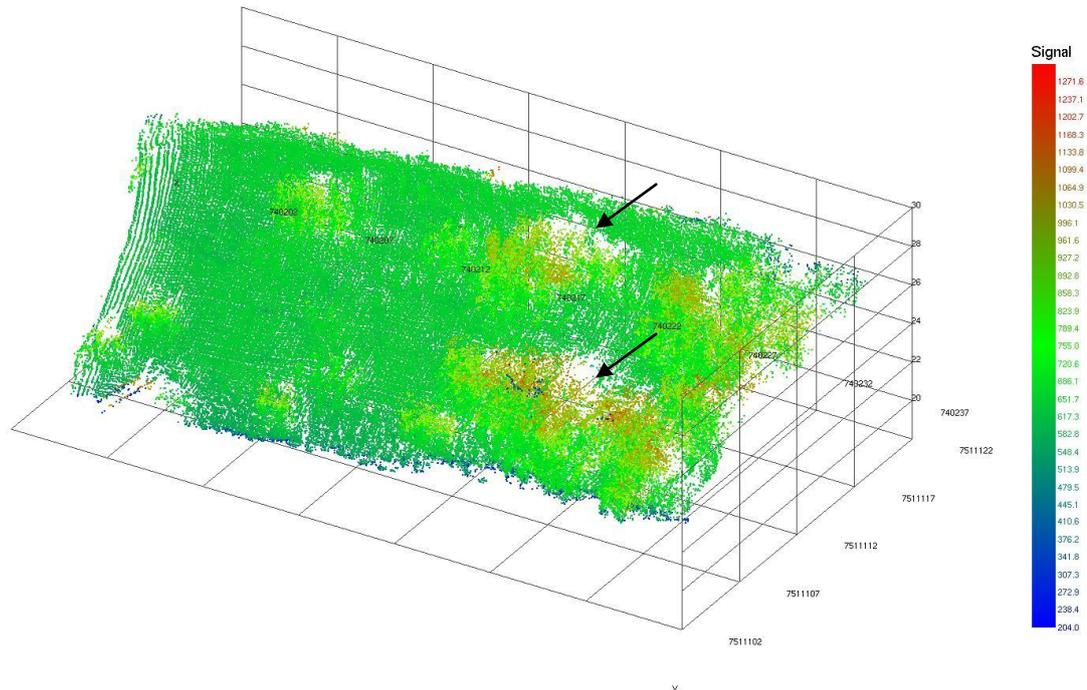


Figura 15: Influência da vegetação na varredura da margem.

A partir da nuvem de pontos foi gerado um modelo digital de elevação (MDE) com alta resolução espacial, com células de tamanho 5cmx5cm. Com isso foi possível gerar diversos outros temas relacionados a essa margem. As curvas de nível foram especializadas com intervalos de 40 cm, sendo que as regiões onde as curvas apresentam-se distorcidas foi resultado da influência da vegetação no MDE, obtidos por meio da varredura (Figura 16). Através do MDE com a utilização da ferramenta “Slope” do programa ArcGis 9.3 foi obtido o mapa de declividade (Figura 17) que quando associado com os resultados de textura do solo (Tabela 5) permitiu identificar as áreas mais suscetíveis a serem erodidas e como está ocorrendo este processo de erosão.

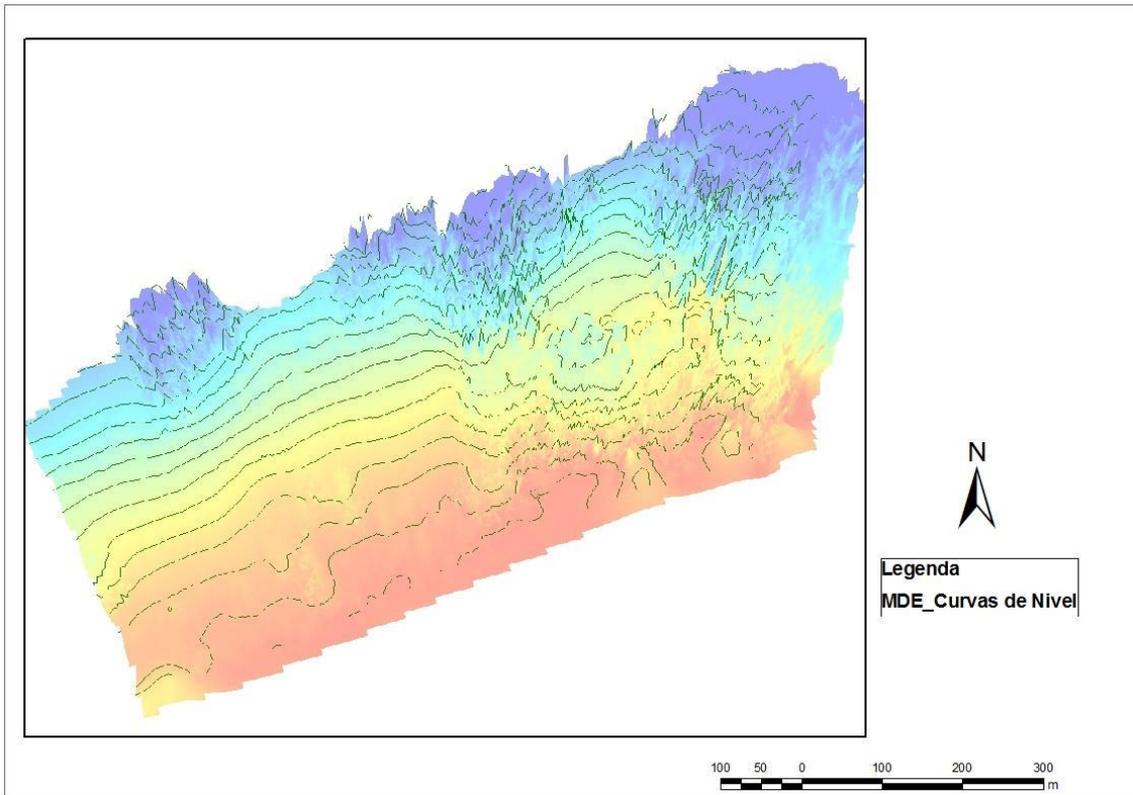


Figura 16: Modelo digital de elevação e curvas de nível.

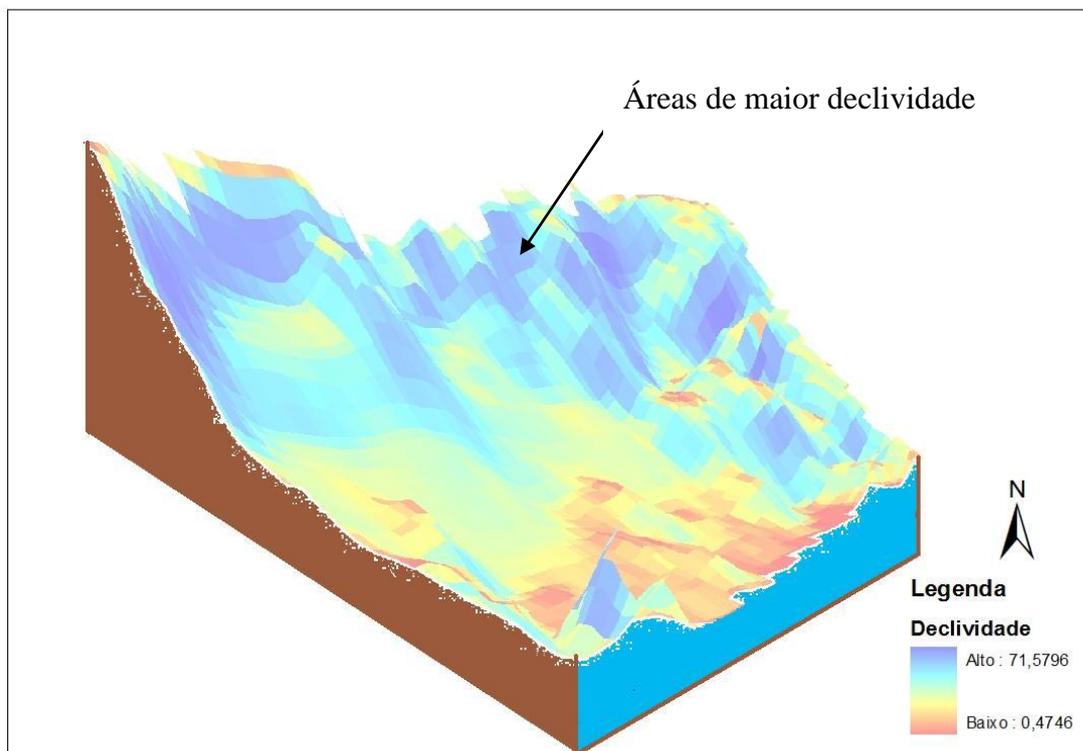


Figura 17: Imagem em 3D da declividade da margem analisada.

A análise granulométrica do perfil da margem mostrou que há o predomínio de areia (grossa e fina) durante todo o perfil, porém encontram-se as maiores taxas na parte média e inferior da margem ocorrendo também uma redução do teor de silte.

Tabela 5: Textura do solo do perfil da margem do rio

Perfil da Margem	Areia (grossa+fina) %	Silte %	Argila %
Superior	44,4	44,4	11,2
Médio	76,1	12,2	11,7
Inferior	71,5	0,8	27,7

As mudanças abruptas nos teores das partículas é característico de áreas de deposição aluvial, o que permite classificar esse solo como Neossolo Flúvico, o que é comprovado pelo radargrama gerado por Peixoto (2009) nessa mesma área, onde foi possível observar as linhas de sedimentação em um corte transversal ao canal do rio.

De acordo com Silva (2006) a composição granulométrica diferenciada nas camadas, com maior concentração de areia na base e a argila na parte superior, contribui para atuação do processo erosivo diferenciado ocasionando maior erosão na base.

Na margem analisada a erosão está se dando de forma diferenciada, concentrada mais nas camadas subsuperficiais com elevados teores de areia, o que pode ocasionar o solapamento. Segundo Silva (2006), o solapamento contribui para o desmoronamento em bloco da parte superior sendo este ocasionado pela falta de sustentação do bloco. Essa característica também é verificada pela maior declividade na região superior e média da margem, o que pode intensificar ainda mais a ocorrência do solapamento basal.

A utilização do scan laser no monitoramento da erosão fluvial possibilita obter com precisão um maior número de informações dos atributos morfométricos da margem devido à varredura automática que pode ser feita no sentido vertical e horizontal da margem, obtendo-se a partir dela o modelo digital de elevação.

O monitoramento espaço-temporal da erosão fluvial com esta metodologia é recente, o que reflete na pouca bibliografia disponível sobre esse tema. O método que mais se aproxima desse é o uso de estação total. Salvador (2006) utilizou no monitoramento com estação total um marco georreferenciado em cada sítio monitorado.

No estudo adotou-se apenas uma referência espacial. Ao ser feito o processamento dos dados observou-se que o mesmo não foi suficiente, pois ocorreu um deslocamento da margem (Figura 18) no período das varreduras, sendo que para um monitoramento preciso e eficiente é necessário a sobreposição exata das varreduras, com isso foi identificada a necessidade de duas referências espaciais (avante e a ré). A utilização de apenas uma referência espacial é suficiente quando se trata apenas da análise das alterações ocorridas nessa margem.

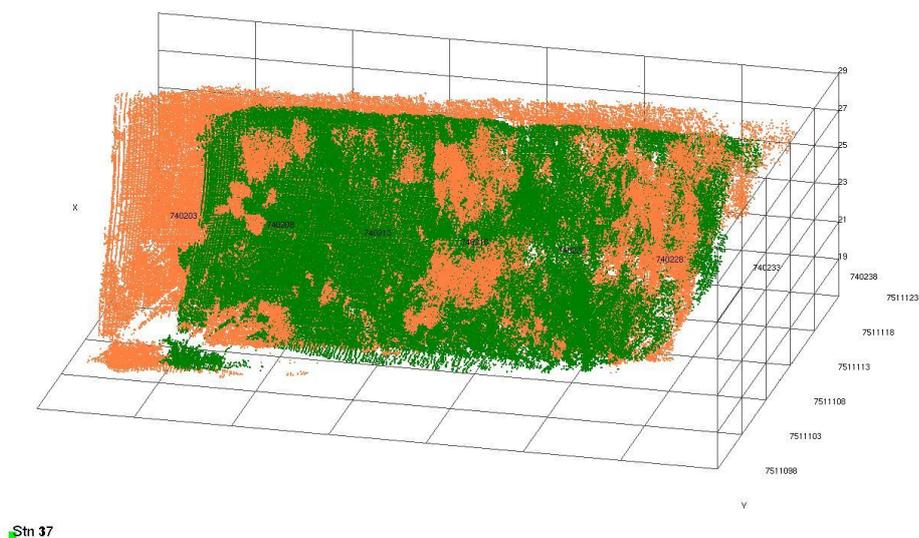


Figura 18: Deslocamento do perfil da margem em duas leituras de datas distintas.

A Figura 19 indica que o rio Macacu apresenta uma variação entre $18\text{m}^3/\text{s}$ e $6\text{m}^3/\text{s}$. Os períodos de maiores vazões referem-se aos meses de novembro a março, ou seja, a época de cheia dos rios, fator este que contribui na erosão fluvial. A retificação em alguns trechos do rio levou a diminuição da lâmina de água, porém, aumentou sua velocidade atribuindo ao rio um maior poder erosivo.

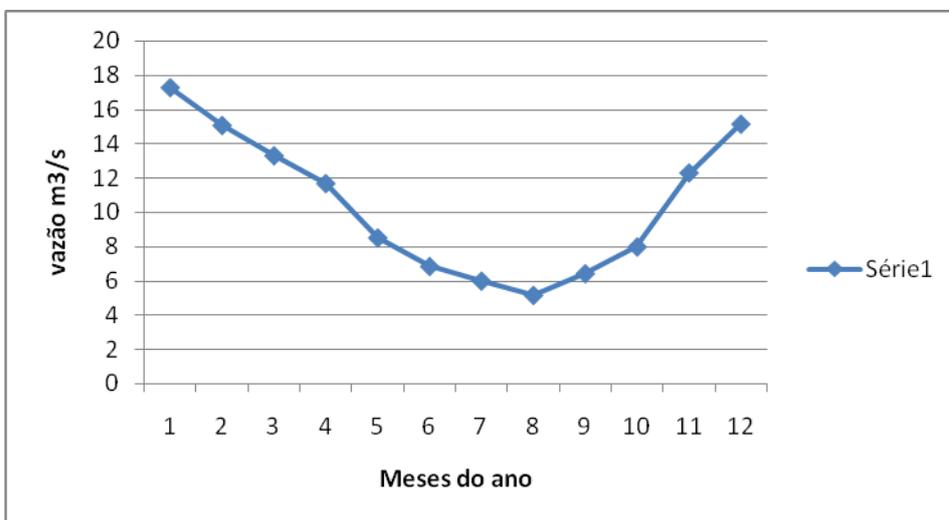


Figura 19: Vazão média mensal do rio Macacu (HIDROWEB, 2010).

5. CONCLUSÃO

A utilização da EUPS em conjunto com as ferramentas de SIG possibilitou obtenção do mapa de perda de solo que indicou os setores do curso médio e inferior do rio como as áreas mais críticas quanto à perda de solo, porém, a bacia apresenta-se bem conservada. O diagnóstico mostra a importância da manutenção e ampliação das ações conservacionista e do planejamento do uso e ocupação do solo nessa bacia de forma a evitar a sua degradação ambiental.

A utilização do scan laser no estudo do impacto da erosão fluvial sobre a margem apresentou-se eficiente, pois através da utilização do modelo digital de elevação associado com o SIG foi possível obter informações sobre a declividade e altitude da margem que quando associado com outros fatores nos indica como e onde está ocorrendo o processo erosivo, sendo estas informações de extrema importância para auxiliar nas decisões sobre possíveis intervenções. Torna-se importante um maior estudo no que tange a análise e monitoramento da erosão fluvial com a utilização do scan laser, pois o tempo de estudo do trabalho não foi o suficiente para detalhar todas as vantagens e limitações desta ferramenta promissora.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional De Águas - ANA. Disponível em: <http://www.hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 7 julho. de 2005.

ARAÚJO, G.H.S.; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320p.

ARAÚJO, ALEX PAULO. **Dinâmica fluvial do córrego do Cedro e processos de erosão marginal**. 2007. 84 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.

BAZZANO, M. G .P; ELTZ, F. L.F; CASSOL, E. A. **Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS**. Ver. Bras. Ciênc. Solo. 2007, vol.31, n.5, PP. 1205-1217. ISSN 0100-0683.

BOCHNER, J. K. Proposta metodológica para identificação de áreas prioritárias para recomposição florestal – estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Macacu- RJ. Seropédica: UFRRJ. Dissertação. 2010. 187p.

BOTELHO, R.G.M.. Bacia Hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

BORDAS, M. P. ; SEMMELMANN, F. R. Elementos de Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia. Ciência e aplicação**. 3ª edição. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999.

BERTOL, ILDEGARDIS et al. **Erodibilidade de um nitossolo háplico alumínico determinada em condições de campo**. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2007, vol.31, n.3, pp. 541-549. ISSN 0100-0683.

BRIGHETTI, G. **Obras de Regularização de Leito**. Notas de Aula PHD 5023 - Obras Fluviais. São Paulo: EPUSP, 2001.a. 27 p.

CENTENO, J.A.S.; MITISHITA, E.A. **Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: a experiência da UFPR**. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis-SC, 2007, p. 3645-3652.

COREIXAS, MARILENA ALFRADIQUE. **Nossos Rios**. Rio de Janeiro. PEA/PDBG/UERJ/SEMADS/SEE/FEEMA, 2002, 32p

COSTA, T. C. C.; UZEDA, M.C.; FIDALGO, E. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U.J ET AL. **Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 13., 21-26 abril 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. P. 2493-2500.

COELHO, A.H.; VÖGTLE, T.; WEINDORF, M.; BÄHR, H.P. **Utilização do método de pirâmide de imagens para a extração de modelos digitais de terreno de imagens geradas por dados de laser scanner.** In: Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis-SC, 2002.

DEAN, W. (1996) **A Ferro e Fogo: a história da devastação da Mata Atlântica brasileira.** Cia. das Letras. São Paulo.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos.** Piracicaba : USP-Esalq, 1990. 81p. Tese de Doutorado.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recuperação de Voçorocas em Áreas Rurais.** Rio de Janeiro, 2006. Disponível : <http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/vocoroca/recuperacao.htm>. Acesso: 19/05/2010.

GUERRA, A.J.T. (1996). **Técnicas e métodos utilizados no monitoramento dos processos erosivos.** *Sociedade e Natureza*, 15. p. 15-19.

GUERRA, A.J.T. **Erosão e Conservação dos Solos – Aplicações, Temas e Conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 339p.

GUERRA, A.J.T. e BOTELHO, R.G.M. Erosão dos solos. In: CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T.(org.) **Geomorfologia do Brasil.** Editora Bertrand Brasil, 2003. Rio de Janeiro,. P.181-227.

GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO-JUNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F. Movimentos de massa. In: FLORENZANO, T.G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE C. M. **Estabilidade dos taludes naturais e de escavação.** São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 194 p.

HELDER, C. **Subsídios para Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Macacu, São João, Macaé e Macabu – SEMA – Rio de Janeiro, 1999.**

IBGE. 1977. **Geografia do Brasil: Região Sudeste. vol.3.** Rio de Janeiro. Superintendência de Estudos Geográficos e Sócio-econômicos. Departamento de Geografia. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia

KOK, K.; CLAVAU, M.B.W.; HEEREBOUT, W.M.; BRONSVELD, K. **Land degradation and land cover change detection using low-resolution satellite images and the CORINE database: a case study in Spain.** ITC Journal. p. 217- 228, 1995 (3).

KURTZ, B. C. & ARAÚJO, D. S. D. 2000. **Composição florística e estrutura do componente arbóreo de um trecho de Mata Atlântica na Estação Ecológica Estadual do Paraíso, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.** Rodriguésia 51(78/79): 69-111.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP.** *Bragantia*, Campinas, 51(2) : 189-196, 1992.

LEINZ, V. & AMARAL, S. S. do. **Geologia Geral.** 3.ed. São Paulo: Editora Nacional, 1998.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. v.1. 178p.

MDL – Measurement Devices Limited. **Quarryman: sistema de escaneamento laser 3D para perfis de rocas sem refletor.** Disponível em: http://www.alphageofisica.com.br/mdl/mdl_new/quarryman_SPANISH_br.pdf. Acesso: 20/09/2009.

MORETI, D.; CARVALHO, M.P.; MANNIGEL, A.R. & MEDEIROS, L.R **Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP).** R. Bras. Ci. Solo, 27:713-725, 2003.

MANNIGEL, A. R.; PASSOS e CARVALHO, M.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. **Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo.** Acta Scientiarum, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MINELLA, JEAN PAOLO GOMES; MERTEN, GUSTAVO HENRIQUE; REICHERT, JOSÉ MIGUEL AND SANTOS, DANILO RHEINHEIMER DOS. **Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas.** *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2007, vol.31, n.6, pp. 1637-1646. ISSN 0100-0683.

MORETI, D.; CARVALHO, M. P.; MANNIGEL, A. R. and MEDEIROS, L. R.. **Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP).** *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2003, vol.27, n.4, pp. 713-725. ISSN 0100-0683.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo.** 4. ed. São Paulo: Nobel, 2005.541 p

PRADO, J. P. B. de; NÓBREGA, M. T. de. **Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)**. Acta Sci. Technol., Maringá, v. 27, n. 1, p. 33-42, jan./jun. 2005.

PETRIE, G., KENNIE. T.J.M. **Terrain modelling in surveying and civil engineering**. Londres: Editora Whittles, 1990.

RADAMBRASIL. **Levantamento dos recursos naturais**. Cuiabá - Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. Secretária Geral. Projeto RADAMBRASIL, 1983.

RIBEIRO, S.R.A.; SANTOS, D.R.; CENTENO, J.S. **Aplicação da metodologia de dados orientados a objeto na classificação de uma área urbanizada, utilizando uma imagem digital obtida por meio da tecnologia do laser scanner**. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente - SP, 2002, p.144-149.

ROCHA, A.C.P. **Aplicações do Scanner a Laser I-SiTE para levantamentos topográficos**. Revista Escola de Minas, 55(4): 307-311, 2002.

ROCHA, PAULO CÉSAR & SOUZA FILHO, E. E. **Erosão marginal em canais associados ao Rio Paraná na região de Porto Rico-PR**. Boletim Paranaense de Geociências, v. 44. UFPR, Curitiba, 1996.

SALVADOR, V. **Caracterização morfométrica da margem direita do rio São Francisco em processo erosivo utilizando modelagem numérica do terreno e seus efeitos nos agroecossistemas**. In: III SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO. 25-27 de outubro de 2006, Aracaju/ SE.

SANTOS A.R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, Viçosa, MG**. 2001. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SILVA, L. N. P. **TRANSFORMAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DO SOLO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DAS PITAS, AFLUENTE DA MARGEM ESQUERDA DO RIO JAURU (PERÍODO DE 1986-1998)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). Universidade do Estado de Mato Grosso. Cáceres, 2006.

SILVA, AGUINALDO; SOUZA FILHO, EDVARD ELIAS DE Y CUNHA, SANDRA BAPTISTA. **Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT)**. Rev. Bras. Geociênc. 2008, vol.38, n.1, pp. 167-177. ISSN 0375-7536

SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. Geologia e Geomorfologia do Complexo Rio Baía, Curutuba, Ivinhema. In: **A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná**. UEMNupélia.1997.

SCHÄFER, A. **Aplicação de produtos fotogramétricos e do sensor Laserscanner em projetos rodoviários. Estudo de caso: Trecho da SC-414**. Florianópolis, 2004. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. 112 pg.

TUCCI, CARLOS E. M. **Hidrologia. Ciência e aplicação**. 3ª edição. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 2004

TUYSUZ, O. **Jeomorfoloji de Seçme Konular Ders Notlari Ana Sayjasi; Fluvial Systems**. Disponível em: <<http://www.eies.itur.edu.tr/>> Acesso em: 08 dez. 2005.

THORNE, C. R. **Process of bank erosion river cannels**. Unpublished Ph.D. thesis. School odenvironmental Sciences. UEA, Norwick, UK, 1978.447p.

VENTURIM, R. P.; BAHIA, V. G. **Considerações sobre os principais solos de Minas Gerais e sua suscetibilidade à erosão**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.19, n.191, p.7-9, 1998.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C. B. E CROSS, B.V. (1971). **A soil erodibility nomograph for farmland and constrution sites**. *Jour. Soil Wat. Conserv.*, v.26, 189-193, 1971.

WEILL, MARA DE ANDRADE MARINHO AND SPAROVEK, Gerd. **Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP): II - Interpretação da tolerância de perda de solo utilizando o método do Índice de Tempo de Vida**. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2008, vol.32, n.2, pp. 815-824. ISSN 0100-0683.

WUTKE, J.D. **Métodos para avaliação de um sistema laser scanner terrestre**. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

W. TEIXEIRA, M.C.M. TOLEDO, T.R. FAIRCHILD E F. TAIOLI, *Decifrando a Terra* (Oficina de Textos, São Paulo, 2000)