



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

*“Avaliação de Métodos de Baixo Custo Para a Proteção de
Taludes em Estradas Rurais Não-Pavimentadas”*

DANILO JOSÉ BRANDÃO VITOR SILVA

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Lollo

Co-Orientador: Prof. Dr. George de Paula Bernardes

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Ilha Solteira – SP
junho/2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP – Guaratinguetá.

Silva, Danilo José Brandão Vitor

S586a Avaliação de métodos de baixo custo para a proteção
de taludes em estradas rurais não pavimentadas / Danilo
José Brandão Vitor Silva . – Guaratinguetá : [s.n.],
2009

71 f. : il.

Bibliografia: f. 67-71

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2009

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Lollo

Co-orientador: Prof. Dr. George de Paula Bernardes

1. Erosão 2. Taludes (Mecânica dos solos) I. Título

CDU 624.131.6



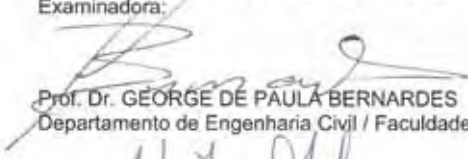
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

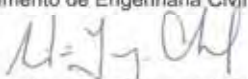
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

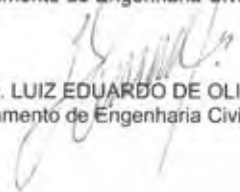
TÍTULO: Avaliação de Métodos de Baixo Custo para a Proteção de Taludes em Estradas Rurais Não-Pavimentadas

AUTOR: DANILO JOSÉ BRANDÃO VITOR SILVA
ORIENTADOR: Prof. Dr. GEORGE DE PAULA BERNARDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL, Área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GEORGE DE PAULA BERNARDES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta


Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMOES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta


Prof. Dr. LUIZ EDUARDO DE OLIVEIRA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta

Data da realização: 25 de junho de 2009.

DADOS CURRICULARES

DANILO JOSÉ BRANDÃO VITOR SILVA

NASCIMENTO 28.11.1980 – PINDAMONHANGABA / SP

FILIAÇÃO Benedito Vitor da Silva Filho
Raquel Maria Trani Brandão Silva

2000/2006 Curso de Graduação
Universidade Estadual Paulista – Campus de
Guaratinguetá

DEDICATÓRIA

*A Deus, por ter colocado em meu caminho
pessoas que possibilitaram a realização deste
trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida.

Ao professor George por não apenas transmitir seus conhecimentos, mas como também pelo seu grande apoio, incentivo e empenho para que esse trabalho pudesse ser realizado.

Ao professor Lollo por todo apoio oferecido.

Ao professor Brandão (meu tio) por todo o incentivo dado para a realização deste curso de Pós-graduação.

Aos professores Silvio e Luiz Eduardo por se demonstrarem solícitos não apenas em participarem da banca deste trabalho, mas por se mostrarem bastante solícitos na indicação bibliografias necessárias para a realização deste trabalho.

Aos meus pais pelo grande incentivo e motivação durante todo o período de realização curso.

À minha namorada Nadia pela compreensão, paciência e por sempre se fazer presente nos momentos em que precisei.

À professora Isabel pela ajuda oferecida na classificação do solo.

Aos funcionários Flávio e Elson do laboratório de mecânica dos solos e estradas da FEG-UNESP, pela presteza em colaborar durante a realização dos ensaios.

Às bibliotecárias da FEG-UNESP por serem sempre cordiais quando solicitadas.

À Votorantim Celulose e Papel, na pessoa do senhor Benedito, pelo apoio oferecido com relação mão de obra e maquinário necessários para a preparação do experimento.

A CAPES pelo apoio financeiro, o qual foi fundamento para a realização do trabalho.

SILVA, D.J.B.V. **Avaliação de métodos de baixo custo para proteção de taludes em estradas rurais não-pavimentadas**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de três diferentes métodos de proteção de talude de estradas rurais não-pavimentadas contra o desenvolvimento de processos erosivos. Os materiais naturais utilizados como proteção foram retirados da mesma área onde foi realizado o experimento, permitindo assim sua execução e manutenção com custo baixo. Este estudo foi realizado na fazenda Santa Edwirges, propriedade da Votorantim Celulose e Papel, situada na região leste do Estado de São Paulo, no Vale do Paraíba – Município de Lorena entre as coordenadas 0485535 / 0497741 UTM e coordenadas 7480000 / 7466000 UTM. A fazenda possui uma área de 12 km², na qual foram abertas mais de 100 Km de estradas para o manejo do eucalipto. Essas obras lineares aumentaram os processos erosivos na região, intensificando, conseqüentemente, a produção de sedimentos que podem vir a comprometer os recursos hídricos do local. Os métodos de proteção investigados foram: (1) plantio de mudas de grama “São Carlos” *Axonopus compressus*; (2) a utilização de serrapilheira (restos de galhos e folhas de eucalipto *E. grandis*) e; (3) envelopamento com um solo local com propriedades mais resistentes aos processos. A análise da erodibilidade dos solos em estudo foi realizada através de ensaios de laboratório. O experimento de campo consistiu da montagem de cinco células retangulares com 6 m² (2m x 3 m) com uma calha na base de cada célula, na qual era conectada a uma caixa de água de 300 litros para quantificar o volume do escoamento superficial. A determinação da quantidade de sedimentos erodidos foi baseada no somatório dos sólidos em suspensão e dos sedimentos armazenados em uma bolsa de geotêxtil fixada na saída do tubo de descarga dentro da caixa de água. O controle da pluviosidade foi realizado através de um pluviômetro fixado a 2,0 metros de altura, distante 20 metros do experimento em uma área livre de interferências de árvores. Os resultados mostraram que o método utilizando a serrapilheira mostrou ser o mais eficiente na proteção do solo contra erosão. Em relação à célula desprotegida, este tratamento apresentou um percentual de redução de perda de solo de 90%. Para as proteções com grama e com o envelopamento a redução foi de 80% e 65 %, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão, Erodibilidade, Proteção de taludes, Material de baixo custo.

SILVA, D.J.B.V. **Evaluation of low cost methods for protection of slopes in forest unpaved roads**. 2009. 71 f. Dissertation (Masters in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the efficiency of three protection methods of slopes in unpaved roads, against the development of erosion processes. The materials used as protection were removed from the same area where the experiment was carried out, it allowed its simple implementation and maintenance with a low cost. This study was performed in Santa Edwirges farm, owned by Votorantim Celulose e Paper, located in the east of São Paulo State, in the Paraíba Valley – Lorena-SP, between coordinates 0485535 / 0497741 and UTM coordinates 7480000 / 7466000 UTM. The farm has 12 km², in which more than 100 Km of roads were opened for the eucalyptus cultivation. The construction of these roads has increased the erosion processes in the region and, consequently, intensified the sediment production that may compromise the local water resources. The methods analyzed were: (1) planting of grass "São Carlos" *Axonopus compressus*, (2) litter, composed of remains of branches and leaves of eucalyptus *E. Grandis*, and (3) Compacted Soil Cover using a local soil with properties more resistant to erosion processes. The erodibility analysis of soils in study was performed by laboratory essays. The field experiment consisted of the assembly of five rectangular cells with 6 m² (2m x 3 m). Each cell had a gutter at the base, which was connected to a tank of 300 liters to quantify the volume of the runoff. The determination of the amount of eroded sediment was based on the sum of the solids in suspension and stored sediment in a geotextile bag that was fixed at the exit of the discharge tube inside the tank. The control of the precipitation was carried out by a pluviometer installed at 2 metres above the ground and 20 metres from the experiment in a free area without interferences of trees. The results had shown that the litter was the most efficient protection method against erosion. In relation to the unprotected cell, this treatment presented a reduction percentage of soil loss nearly 90%. The protections with grass and the compacted soil cover the reduction was of 80% and 65%, respectively.

KEYWORDS: Erosion, Erodibility, Slope Protection, Low Cost Material.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Erosão em Sulcos.....	20
FIGURA 2 – Erosão Diferenciada.....	21
FIGURA 3 - Localização da área de estudo.....	27
FIGURA 4 (A) Mapa geológico simplificado da área de estudo; (B) Modelo digital das três formas de relevo na fazenda Santa Edwirges: Escarpas (marrom), Colinas Alveolares (verde) e Morros e Morrotes (beje).....	30
FIGURA 5- Rede viária da fazenda Santa Edwirges.	32
FIGURA 6 – Localização de onde foi coletado o solo 1, local do experimento (talude 1).....	35
FIGURA 7 - Localização de onde foi coletado o solo 2 (talude 2).....	35
FIGURA 8- Instrumentação de Campo (exemplo de uma célula completa).....	38
FIGURA 9- Tanque com a bolsa de geotêxtil.....	39
FIGURA 10 – Método A : superfície de controle 1.....	40
FIGURA 11 – Método B : Grama-São-Carlos “Axonopus compressus ”.....	41
FIGURA 12 – Foto A: Método C (Serrapilheira); Foto B: Feixe empregado.....	42
FIGURA 13 – Método D : Envelopamento.....	43
FIGURA 14 – Método E: solo de envelopamento em condição natural.....	44
FIGURA 15 – Visão geral do experimento (A) Método A- Célula de Referência, (B) Método B – Grama, (C) Método C- Serrapilheira, (D) Método D - Envelopamento. Métodos instalados no talude 1.....	44
FIGURA 16 - Método superfície de controle, instalado no talude 2.....	45
FIGURA 17 - Curva de Calibração para determinação do volume de escoamento.....	46
FIGURA 18 – Processo de medição indireta do volume de água escoado.....	46
FIGURA 19 - Utensílios empregados na determinação da massa dos sedimentos em suspensão.....	47
FIGURA 20 – Processo de medição indireta do peso dos sedimentos sólidos, (A) bolsas de geotêxtil com os sedimentos mais grossos coletados em campos (B) homogeneização da umidade da amostra.....	48
FIGURA 21 - Curvas granulométricas: (a) solo 01; (b) solo 02.....	50
FIGURA 22 - Carta de Plasticidade.....	51
FIGURA 23 - Curvas de Mini-MCV: (a) solo 01; (b) solo 02.....	52
FIGURA 24 - Ábaco MCT-M para classificação de solos.....	53

FIGURA 25 - Deslocamento do solo de devido ao surgimento do processos de fendilhamento, tornado-o mais suscetível ao efeitos do escoamento superficial	56
FIGURA 26 - Produção Total de Sedimentos em kg/m ² para os métodos empregados no talude 1	57
FIGURA 27 - Produção de Sedimentos em kg/m ² para os tratamentos analisados no talude 1: Grama, Serrapilheira e Envelopamento.....	57
FIGURA 28 Produção de Sedimentos em kg/m ² para os tratamentos Envelopamento empregados no talude 1 e tratamento superfície de controle empregado no talude 2	59
FIGURA 29 - Escoamento Superficial para as coberturas instaladas no talude 1 em mm	61
FIGURA 30- Escoamento Superficial em mm para os tratamentos Envelopamento empregados no talude 1 e tratamento superfície de controle empregado no talude 2	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Pluviosidade Média Sazonal Bacia do Ribeirão Taboão-SP (1964 a 1994)	31
TABELA 2- Resultados obtidos da densidade e massa específica dos grãos.	49
TABELA 3 - Resultados da granulometria com e sem o uso de defloculante	49
TABELA 4 – Valores dos Limites de Atterberg	51
TABELA 5 – Parâmetros de Classificação MCT- Modificado.....	52
TABELA 6- Produção Média dos Sedimentos pesados das coberturas do talude 1	54
TABELA 7-Produção Média de Sedimentos em suspensão das coberturas do talude 1	55
TABELA 8 - Produção Total de Sedimentos das coberturas do talude 1.	55
TABELA 9 – Produção Total de Sedimentos em kg/m^2	58
TABELA 10 - Escoamento Superficial para cada tratamento (mm).....	59
TABELA 11 – Tabela de Escoamento Superficial em mm	60
TABELA 12 - Custo dos métodos analisados	63

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

IP – Índice de Plasticidade

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

NR – Norma Brasileira

UTM - Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos.....	14
1.2 Estrutura do trabalho	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Erosão	15
2.1.1 Causa da Erosão	15
2.1.2 Erosividade	16
2.1.3 Erodibilidade	17
2.2 Erosão de taludes de estradas não-pavimentadas	19
2.2.1 Práticas e processos de erosão em taludes.....	19
2.2.2 Práticas de controle de erosão em taludes	21
3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
3.1 Localização da área de estudo	27
3.2 Caracterização geológica.....	27
3.3 Caracterização geomorfológica	29
3.4 Precipitação da região de estudo	30
3.5 As estradas da fazenda Santa Edwirges no contexto geológico	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1 Atividades de laboratório.....	34
4.1.1 Coleta das amostras	34
4.1.2 Densidade dos grãos	35
4.1.3 Granulometria.....	36
4.1.4 Limites de Atterberg.....	36
4.1.5 Ensaio de mini-mcv	37
4.2 Atividades de campo	37
4.2.1 Montagem do experimento.....	37
4.2.2 Tipos de proteção.....	39
4.2.3 Sistema de medição e controle	45
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	49
5.1 Ensaio de laboratório	49
5.1.1 Densidade dos grãos	49
5.1.2 Granulometria.....	49
5.1.3 Limites de Atterberg.....	50
5.1.4 Ensaio de mini-mcv	51
5.2 Experimento de campo	53

5.2.1 Produção de sedimentos	53
5.2.2 Escoamento superficial.....	59
5.3 Estimativa de custo para implantação de cada método de proteção.....	62
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	64
6.1 Recomendações para pesquisas futuras.....	65
REFERÊNCIA.....	67

1 INTRODUÇÃO

As estradas são obras públicas de vital importância para o desenvolvimento, uma vez que se tratam do principal meio de escoamento da produção agroindustrial e permitem o intercâmbio entre as comunidades rurais e urbanas (DADALTO; CARMO FILHO; CASTRO, 1990). O Brasil possui aproximadamente 1.725.000 km de estradas distribuídas por todos os Estados da Federação, das quais mais de 90% não são pavimentadas. Minas Gerais é o Estado que possui a maior malha viária, sendo que 7% apenas de toda esta extensão é pavimentada (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER, 2000).

O principal problema ambiental acarretado pelas estradas é o desencadeamento e a potencialização dos processos erosivos decorrentes da retirada da cobertura vegetal, da movimentação do solo e da compactação inadequada de seu leito, tornando tais vias muito vulneráveis aos processos de erosão causada pela chuva (CORREA, 2005).

Geralmente as estradas não-pavimentadas resultam da evolução de trilhas ou caminhos pré-existentes e demandam serviços de movimentação de terra gerando taludes de corte e ou aterro que em grande parte das vezes são construídos sem qualquer conhecimento técnico, baseando-se somente na experiência popular. Em decorrência disto, os impactos dessas obras lineares são intensos ao meio físico.

Segundo Carvalho (1991), uma das principais formas de processos erosivos que se apresentam em estradas é a erosão em taludes, isto ocorre em virtude dessas superfícies serem mais frágeis devido, ora à exposição do solo, ora às deficiências comumente resultantes da construção. Estes aspectos associados geralmente à falta de proteção superficial e à inexistência ou ineficácia de sistema de drenagem podem desencadear processos erosivos.

Da erosão que se observa em estradas, aproximadamente 75% são provenientes dos taludes de aterro e corte. Uma importante medida para controle da erosão nas superfícies de taludes é a aplicação de coberturas que impeçam mecanicamente a perda de solo (SOUZA, 2000).

Este trabalho apresenta uma análise comparativa de três métodos de proteção de taludes de estradas rurais não-pavimentadas, em que se empregam materiais de baixo custo. Os métodos de proteção investigados são de simples implementação e exigem pouca manutenção, dando assim, condições aos produtores rurais de manterem as estradas em condições de tráfego.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo a investigação da eficiência de três métodos de baixo custo que tem por finalidade a redução da produção de sedimentos de talude de estradas rurais não-pavimentadas. Os três diferentes tipos de coberturas utilizadas são constituídos de materiais naturais existentes no próprio local do experimento, tais como: Grama “São Carlos” *Axonopus Compressus*, Serrapilheira (restos de galhos e folhas de eucalipto que se depositam durante o seu ciclo de crescimento) e envelopamento (recobrimento do talude com solo resistente aos processos erosivos).

1.2 Estrutura do trabalho

No capítulo 1 uma breve abordagem da importância das estradas não-pavimentadas é apresentada, enfatizando a potencialização dos processos erosivos quando estas são mal construídas. Além disso, foi indicada também a necessidade de se proteger a superfície dos taludes de estradas, a fim de reduzir a produção de sedimentos. Finalmente, foi descrito o objetivo do trabalho. O capítulo 2 sintetiza conceitos relacionados à erosão, apresenta algumas ferramentas que viabilizam a avaliação do potencial de erosão de um solo, enumera os principais tipos de processos erosivos que se desenvolvem em superfícies inclinadas e apresenta as práticas mais empregadas para o controle da erosão na superfície dos taludes. O capítulo 3 descreve a área de estudo (Fazenda Santa Edwirges), incluindo toda a sua caracterização geológica, geomorfológica, além de apresentar a dinâmica de precipitação da região para uma série histórica de 30 anos. No capítulo 4 foram apresentados os ensaios empregados para a caracterização das amostras de solos coletas, as coberturas analisadas no experimento, além da metodologia utilizada para quantificação dos sedimentos erodidos e do volume de escoamento superficial para cada tipo de proteção. Em seqüência, no capítulo 5, foi realizada a interpretação dos resultados dos ensaios quanto ao potencial de erodibilidade dos solos em estudo, além disso, foi realizada uma análise quantitativa dos sedimentos erodidos e do volume de escoamento para cada uma das coberturas empregadas, visando identificar dentre estas propostas qual a mais eficiente com relação ao controle dos processos erosivos em talude de estradas rurais. No capítulo 6, são apresentadas as considerações finais da dissertação e as recomendações para futuras pesquisas. Por fim, foram apresentadas as referências necessárias à realização do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erosão

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005) a erosão se iniciou quando as primeiras camadas de ar se agitaram e as primeiras gotas de chuva caíram sobre a terra. Esta forma de erosão foi designada pelos autores de geológica porque se originou de fenômenos naturais que constantemente ocorrem na crosta terrestre. Este processo de modificação é normal e benéfico para a formação do próprio solo.

Esta forma de erosão impõe um ritmo tal que a remoção de partículas de solo se equilibra, em termos gerais, com a formação do novo solo, não havendo assim a ocorrência de impactos ambientais. No entanto, o homem por meio de práticas que destroem o equilíbrio da natureza rompe com este processo, dando origem à erosão acelerada (antrópica). Este fenômeno é de grande relevância uma vez que se processa com rapidez e acarreta grandes danos à exploração agropecuária e aos recursos hídricos, como também para diversas outras atividades econômicas e ao próprio meio ambiente (PRUSKI, 2006).

Desta forma, a erosão do solo se constitui em uma das causas de depauperamento acelerado das terras. O homem destrói os anteparos naturais quando por falta de conhecimento faz mal uso do solo, acarretando o desenvolvimento de processos erosivos. Quando isso ocorre, os agentes atmosféricos podem remover em pouco tempo o que a natureza levou séculos para formar. Sabe-se que são necessários vários séculos para formação de um centímetro de solo e que em um terreno em declive, mal protegido, bastam poucos anos para arrastar uma camada desta espessura (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2005).

2.1.1 Causa da Erosão

Os principais agentes causadores de erosão é a água e o vento. Na erosão eólica, o principal agente responsável pelo processo erosivo é o vento, enquanto que na erosão hídrica é a água.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005) a erosão hídrica inicia-se quando as gotas de chuva caem sobre a superfície do solo e destroem os agregados, e se finaliza com as seguintes etapas: as partículas de solo se soltam, o material desprendido é transportado e depositado.

Já na erosão eólica, o processo erosivo ocorre por meio do transporte de partículas de solo pela ação do vento, o seu efeito na erosão é ocasionado pela abrasão proporcionada pelos grãos

de areia e partículas de solo em movimento. Essa forma de erosão apresenta-se principalmente em regiões planas, com baixa precipitação, alta incidência de vento, pouca vegetação para proteger o solo (PRUSKI, 2006).

Segundo Pruski (2006) no Brasil, a erosão hídrica é a mais freqüente que a eólica, e causa prejuízos bastante relevantes nas áreas econômica, social, como também ambiental. A erosão hídrica é um dos principais fatores causadores da degradação e deterioração da qualidade ambiental, sendo esta acelerada pelo uso e manejo inadequado do solo.

2.1.2 Erosividade

Segundo Lal et al. (1994), a erosividade é a capacidade dos agentes de erosão em causar desagregação e transporte de partículas do solo. É provocada em parte pelo impacto direto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial que a chuva gera. A capacidade que a chuva tem de causar erosão do solo é atribuída à taxa e a distribuição dos pingos de água, os quais interferem na carga de energia da chuva. A erosividade de uma chuva é atribuída à sua energia cinética, parâmetro facilmente relacionado à intensidade da chuva ou à sua quantidade total.

Para Montebeller, Franco; Carvalho; Valcacer e Ceddia (2004), a medida do potencial erosivo da chuva vem se tornando atualmente objeto de muitos estudos, uma vez que este parâmetro é indispensável no estudo de modelos de previsão de perda de solo por erosão hídrica, proporcionando uma ferramenta primordial no planejamento racional do uso e ocupação do solo.

Para Wischmeier e Smith (1978) o potencial erosivo da chuva pode ser avaliado por meio de índices de erosividade que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região. Os autores determinaram que a melhor relação para medir o potencial erosivo da chuva é o produto da energia cinética total pela intensidade máxima em 30 minutos (EI_{30}), considerando as fases de impacto das gotas de chuva, a desagregação do solo, a turbulência do fluxo e o transporte das partículas. A erosividade da chuva depende da intensidade com que ocorre e da sua energia cinética que determina o trabalho erosivo das gotas de chuva sobre a superfície do solo. A energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em 30 minutos são os parâmetros pluviométricos que melhor se correlacionam com as perdas de solo por erosão hídrica.

O índice de erosividade, EI_{30} , é dado pela equação (1)

$$EI_{30} = E_c \times I_{30} \quad (1)$$

Onde:

EI_{30} = índice de erosividade em MJ/há multiplicado por mm/h

E_c = energia cinética da chuva

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos, em mm/h

2.1.3 Erodibilidade

Segundo Lal et al. (1994) a erodibilidade de um solo é definida como uma medida da suscetibilidade do solo de resistir ao destacamento e ao transporte de suas partículas pelos agentes erosivos. Fica condicionada pela resistência que o solo pode opor à ação dos agentes erosivos. Constitui-se em um importante fator físico que afeta a magnitude da erosão do solo.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005), os solos erosionam de forma diferente, apesar de estarem submetidos as mesmas condições de: chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo. Essa diferença é devida às propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo. Segundo Bognola et al. (1999) as diferenças devido às propriedades do próprio solo, afetam a velocidade de infiltração da água, permeabilidade e a capacidade total de armazenamento. A estrutura do solo influencia a velocidade de infiltração, a resistência à dispersão, o deslocamento por salpico, a abrasão e as forças de transporte da enxurrada.

A resposta do solo a esses processos erosivos é complexa e não permanece sempre a mesma. Com o passar do tempo ocorrem modificações uma vez que algumas destas propriedades são alteradas pelos processos de intemperismo, como também, pela alteração da matéria orgânica ao longo do tempo em razão do tipo de manejo empregado (LAL et al., 1994).

Bertoni e Lombardi Neto (2005) afirmam que a erodibilidade é influenciada muito mais pelo manejo que por qualquer outro fator. Por isto afirma Silva; Curi; Lima e Ferreira (2000) que a erodibilidade é o fator que tem despertado o maior interesse na pesquisa de erosão, por ser governado pelos atributos intrínsecos do solo, os quais podem variar de solo para solo e com o tipo de manejo.

Visto a sua importância para o planejamento do uso racional do solo, o estudo da erodibilidade do solo é complexo. Bognola et al. (1999) afirma que se torna arriscado estimar valores ou mapear a erodibilidade potencial dos solos com base unicamente na classificação pedológica, visto que há muitos fatores característicos do solo que podem ser influenciados, por exemplo, pela posição topográfica, contexto geomorfológico, dentre outros.

Segundo Santos; Bernardes; Simões e Automore (2007) a granulometria é uma das propriedades estudadas na tentativa de se avaliar a erodibilidade dos solos. Lal et al. (1994) destaca a textura dos solos como uma das propriedades que influencia no desencadeamento dos processos erosivos no solo. Araújo (2000) afirma que muitas vezes, a avaliação do potencial de erosão de um solo é feita não de forma direta, mas sim por meio de medidas indiretas que possam representá-la. Assim, tem sido comum a apresentação de propostas buscando relacionar a erodibilidade dos solos com suas características físicas, químicas e mineralógicas.

Volk (1937 apud ARAÚJO, 2000) desenvolveu um método que correlaciona a erodibilidade dos solos com sua tendência a se dispersar naturalmente. Para a aplicação deste método é necessário obter as curvas granulométricas dos solos em estudo com e sem defloculante. Feito isso, utiliza-se a equação (2) que define a porcentagem de dispersão:

$$\text{Porcentagem de } _ \text{ de } _ \text{ Dispersão: } \frac{\% \text{ de } _ \text{ partículas menores } _ 5\mu\text{m } _ \text{ sem } _ \text{ dispersante}}{\% \text{ de } _ \text{ partículas } _ \text{ menores } _ 5\mu\text{m } _ \text{ com } _ \text{ dispersante}} \quad (2)$$

Os resultados são interpretados da seguinte maneira: se a porcentagem de dispersão for maior que 50% o solo é considerado altamente dispersivo; se estiver entre 20% e 50% é considerado moderadamente dispersivo e se for menor que 20%, é não dispersivo.

De uma forma qualitativa o limite de liquidez (LL) assim como o índice de plasticidade (IP), também podem ser utilizados como instrumento de avaliação do potencial de erosão dos solos. Para isto divide-se a Carta de Plasticidade em três regiões. A primeira é definida como de alto potencial de erosão, apresenta solos com limite de liquidez inferior a 30% e índice de plasticidade menor que 15%. Nessa região, temos os solos silte-arenosos e argilas arenosas. A segunda região localizada no intervalo $30\% \leq LL \leq 50\%$ e $10\% \leq IP \leq 30\%$ compreende aos solos que apresentam médio potencial de erosão tais como argilas e siltes de baixa plasticidade. A

terceira região encontra-se os solos com $LL > 50\%$ e $IP > 30\%$ que são as argilas e siltes de alta plasticidade e por isso apresentam baixo potencial de erosão.

2.2 Erosão de taludes de estradas não-pavimentadas

2.2.1 Práticas e processos de erosão em taludes

As estradas não-pavimentadas ou vicinais são responsáveis pela interligação entre propriedades rurais e povoados vizinhos, servindo de acesso às vias principais ou à sede de municípios. Além disso, podem contribuir para diminuição do êxodo rural, uma vez que permitem o acesso da população rural à educação, aos serviços de saúde, comércio e lazer (PRUSKI, 2006).

Segundo Pruski (2006) existe predominância das estradas não-pavimentadas em relação às pavimentadas. Essa é uma realidade encontrada principalmente nos países que estão em desenvolvimento, visto que grande parte de suas economias é baseada na produção e comercialização de produtos primários os quais são transportados principalmente nesse tipo de estrada.

Sendo assim, essas estradas em boas condições são importantes tanto para a economia agrícola como para a convivência social e o acesso a recursos fundamentais da sociedade. Mas o que ocorre é que nestas estradas é muito comum o desencadeamento de processos erosivos o que acaba dificultando a trafegabilidade e causando prejuízos tanto para o setor privado, pelo aumento de custos operacionais, como também, para o setor público, os quais estão sempre envolvidos com a recuperação dessas vias (DADALTO; CARMO FILHO e CASTRO, 1990).

Segundo Carvalho (1991) uma das principais formas de processos erosivos que ocorre em rodovias é a erosão em taludes de corte ou aterro. Souza (2000) afirma ainda que a construção de taludes com declividade entre 70% e 100% e a interceptação do fluxo subsuperficial que este promove são práticas que intensificam o processo de deteriorização da estrada não-pavimentada.

A execução de taludes de cortes e de aterros em solos permite, de um modo geral, o surgimento de superfícies mais frágeis devido, ora à exposição do solo, ora às deficiências comumente resultantes da construção. Estes aspectos associados geralmente à falta de proteção

superficial e à inexistência ou ineficácia de sistema de drenagem podem desencadear processos erosivos (CARVALHO, 1991).

O desencadeamento de processos erosivos em taludes de corte ou de aterro de estradas ocorre basicamente devido às seguintes condições antrópicas: falta de projeto específico; projeto inadequado, por falta de conhecimento do meio físico; deficiências construtivas; má conservação.

Os principais processos erosivos que ocorrem na superfície dos taludes são:

a) **Erosão Laminar:** a elevada concentração de água no solo gera uma saturação dos macroporos. Nesse instante, não ocorre mais infiltração de água e toda chuva escoar difusamente pela superfície do talude. As rugosidades do terreno geram resistência de atrito ao fluxo superficial. Quando as tensões cisalhantes superam as forças de resistência das partículas individuais, inicia-se a remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 1999).

b) **Erosão em Sulcos.** Apresentam-se na forma de sulcos paralelos e normalmente são encontrados em taludes de maior declividade e sem proteção superficial conforme Figura 1. A distância entre os sulcos, a sua profundidade e a sua forma decorrem fundamentalmente do tipo de solo, do comprimento e declividade do talude, como também, da ausência ou não sistema de drenagem (CARVALHO, 1991).

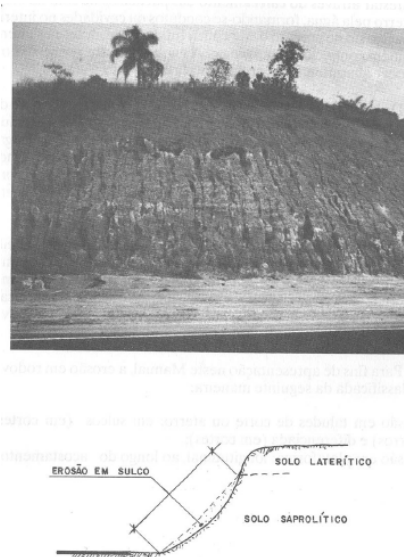


FIGURA 1 – Erosão em Sulcos

Fonte: Carvalho, 1991

c) **Erosão Diferenciada:** corresponde a processos erosivos que ocorrem em taludes de corte constituídos por materiais com diferentes susceptibilidades à erosão, manifestando-se com intensidades distintas ao longo do perfil do talude. Este tipo de erosão assemelha-se a erosão em sulcos, conforme ilustrado na Figura 2. Devido ao diferente avanço da erosão, é comum ocorrer o descalçamento das partes superiores mais resistentes, em consequência de uma erosão mais intensa na camada inferior (CARVALHO, 1991).

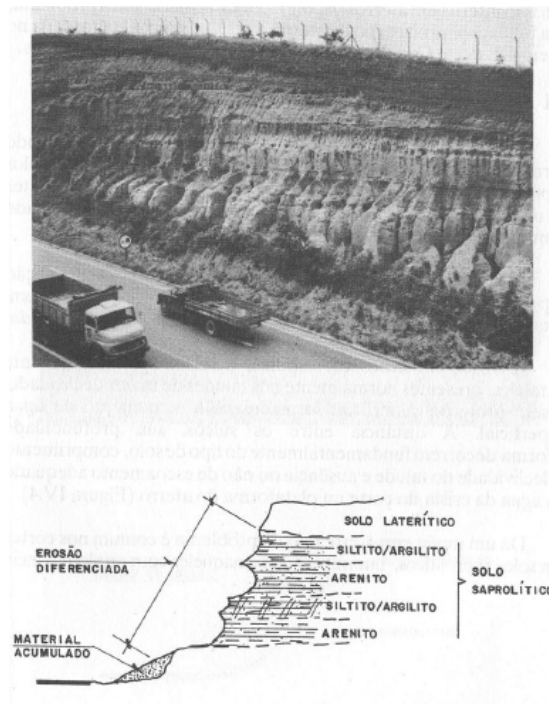


FIGURA 2 – Erosão Diferenciada

Fonte: Carvalho, 1991

2.2.2 Práticas de controle de erosão em taludes

Os taludes de corte e aterro resultantes da construção de estradas, rodovias, aeroportos, e outros empreendimentos necessitam, além de drenagem, de proteção eficiente para evitar a formação de focos erosivos.

Segundo Burroughs e King (1989) o sucesso no controle da erosão na superfície de taludes de cortes e aterros dependerá do tempo de aplicação de qualquer medida de proteção, do tipo e da

taxa em que for aplicado o tratamento, da erodibilidade do solo e também da inclinação do talude.

A seguir, serão apresentados alguns tipos de práticas empregadas para o controle da erosão em taludes de estradas.

a) Proteção vegetal

Bertoni e Lombardi Neto (2005) afirmam que a cobertura vegetal é a proteção natural de um terreno contra o desenvolvimento dos processos erosivos. Os benefícios que a vegetação pode proporcionar são: proteção contra o impacto das gotas de chuva; dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; aumento da infiltração da água por meio de canálculos no solo formados pela decomposição das raízes das plantas; melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica; e diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

Segundo a Food and Agriculture Organization of United States (1989 apud SOUZA, 2000), algumas espécies de grama e leguminosas ao formar uma camada densa e fibrosa protege o solo. Estas agem como “plantas enfermeiras” para as plantas nativas jovens, reduzindo a perda de umidade do solo e provendo sombra. Recomenda-se a mistura de pelo menos três espécies para assegurar uma contínua proteção do solo de um talude. Para a seleção das espécies alguns fatores devem ser considerados: estabilidade do declive, ângulo e exposição; condições climáticas; características físicas e químicas do solo; considerações estéticas e visuais; susceptibilidade a ataques de animais e; competição entre as espécies plantadas e as nativas.

Burroughs e King (1989) afirmam que a recuperação vegetal, além de promover o controle da erosão, gera também melhorias quanto aos aspectos estéticos e ambientais. Quando a re-vegetação for a solução mais adequada para o controle da erosão nos taludes, a inclinação destes deverá permitir a fixação e o desenvolvimento das plantas indicadas. As sementes lançadas sozinhas, como por meio da hidrosemeadura, não controlam a erosão até a germinação e o crescimento das plantas, podendo ser lavada pela água.

Segundo Carvalho (1991) para que uma cobertura vegetal seja empregada como proteção contra erosão, deverá atender aos seguintes requisitos mínimos:

- Apresentar crescimento rápido, revestindo o terreno durante todas as estações do ano;

- Adaptar-se facilmente às condições climáticas locais e ser de fácil obtenção;
- Não possuir maiores atrativos (frutos, lenha, materiais de construção) que induzam ao acesso e à utilização da área;
- Ser constituída por mais de uma espécie, para impedir desvantagens, tais como: comportamento sazonal homogêneo e eventual ataque destrutivo de pragas.

Carvalho (1991) ainda afirma que as técnicas de aplicação da cobertura vegetal com gramíneas são bastante diferenciadas. A sua escolha depende de fatores como: tipo de solo, inclinação do talude e condições climáticas. Dentre estas técnicas destacam-se:

- Hidrosemeadura: nesta técnica sementes de gramíneas, leguminosas ou outros vegetais são lançadas sobre a superfície do talude em meio aquoso, o qual é constituído por nutrientes e um elemento fixador. A eficiência deste processo dependerá das condições climáticas, pois chuvas em excesso podem “lavar” as sementes do talude, enquanto que condições de baixa umidade não permitem sua germinação e crescimento.
- Plantio de mudas: para se revestir taludes pode-se também empregar o processo de plantio de mudas, utilizando sobre a superfície do terreno uma camada de solo fértil.
- Implantação de placas de grama: empregado para revestir taludes de cortes e aterros, quando se deseja obter uma rápida proteção. A sua implantação é realizada normalmente sobre uma delgada camada de solo fértil, colocada uniformemente sobre a superfície do talude. Em taludes com inclinações superiores 1V:2H, fixam-se as placas pela cravação de estaquinhas de madeira ou telas plásticas fixadas por grampos.

Em estudos realizados por Burrougs e King (1989) verificou-se que após o estabelecimento da grama sobre a superfície de um talude de corte houve uma redução da produção de sedimentos que varia de 86% a 100%, dependendo da taxa com que a cobertura foi aplicada. Em um experimento realizado em um aterro na Carolina do Norte (EUA), do 6º ao 14º mês depois da semeadura, as taxas de perda de solo foram reduzidas em 97% quando comparadas com as taxas registradas em 9,5 meses após a construção do talude.

b) Proteção mecânica

Uma solução que pode oferecer maior resistência à face do talude em relação aos agentes erosivos, como chuvas, ondas e enxurradas é a proteção mecânica dos taludes. Esta alternativa pode ser utilizada quando o talude tem inclinação estável. Este tipo de proteção mecânica pode ser feita com enrocamento ou geossintéticos. Entretanto, nunca se deve esquecer das condições de drenagem do corpo do talude (CARVALHO et al. 2006).

Coelho (1998 apud SOUZA, 2000) define como bioengenharia as técnicas utilizadas na cobertura dos taludes das estradas a fim de controlar a erosão, empregando elementos inertes como madeira e fibras sintéticas juntamente com a vegetação. O autor sugere a bioengenharia em casos em que a vegetação não consegue proteger efetivamente as faces dos taludes, sendo indicada principalmente a superfícies muito declivosas. O autor enumera diferentes vantagens desta técnica: menor utilização de maquinarias, uma vez que emprega maior quantidade de mão-de-obra; melhoramento da estrutura e resistência do solo com o passar do tempo devido à vegetação; facilidade de execução em locais de difícil acesso; e possibilita a utilização de materiais naturais existentes no próprio local, reduzindo desta forma os custos de transporte.

Segundo a Deflor (2005) existe também a possibilidade de se empregar biomantas antierosivas para estabilizar a face de taludes instáveis. Estas são confeccionadas industrialmente, a partir de fibra vegetal, palha agrícola, fibra de coco e fibra sintética. As fibras são costuradas, formando uma trama resistente, protegidas por redes de polipropileno ou juta. As biomantas antierosivas protegem imediatamente o solo, até que a vegetação se estabeleça. Dentre as principais vantagens das biomantas antierosivas temos:

- Podem ser aplicadas sementes de gramíneas e leguminosas;
- Não requer manutenção periódica;
- É de rápida aplicação;
- Pode ser aplicada em taludes de qualquer inclinação;
- Conserva umidade por longo tempo;
- É aplicada hidrossemeadura sob a biomanta antierosiva;
- Possui baixo custo de implantação;
- Pode ser aplicada em períodos de estiagem;
- Incorpora matéria-orgânica no solo.

c) Proteção com materiais artificiais

Brasil (2005) sugere a *impermeabilização betuminosa* como uma forma de proteção superficial dos taludes. Para o seu emprego utiliza-se asfalto diluído por rega ou preferencialmente por aspersão, sendo muito eficiente contra erosão. Como inconvenientes para esta modalidade de proteção seria a pequena resistência à insolação e péssimo aspecto visual, devendo ser evitada em locais onde se deseja manter ou repor a harmonia paisagística.

A seguir será enumerada uma série de proteções para superfície de taludes propostas por Carvalho (1991), as quais são empregadas pelo Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo:

- A *proteção com pano de pedra* constitui-se basicamente no revestimento do talude com blocos de rochas em forma regular e tamanho apropriado para o transporte e colocação manual. Estes blocos são arranjados sobre o talude e geralmente rejuntados com argamassa, protegendo-o da erosão. Quando os blocos forem argamassados, devem ser instalados drenos tipo barbacã.

- A *Proteção com argamassa* é uma das técnicas mais antigas, entretanto pouco utilizada devido ao seu custo relativamente alto e por apresentar dificuldades operacionais para a sua aplicação. Consiste na aplicação manual ou mecanizada de cobertura de argamassa de cimento e areia. É, indubitavelmente, uma técnica eficiente e que exige pouca manutenção, se aplicada corretamente, ou seja: a superfície do talude deve estar perfeitamente limpa, sem vestígios de vegetação, solo orgânico e entulho; devem ser executadas juntas de dilatação, bem como drenos tipo barbacã.

- A *Proteção com Concreto Projetado “Gunita”* é a evolução do “argamassamento”. Tem por objetivo operacionalizar sua execução, obtendo maior rendimento. A mistura de areia, cimento e pedrisco (gunita) é projetada com auxílio de bombas, contra as superfícies a ser protegida, resultando uma espessura média de 3 a 5 cm. Seu custo é elevado, em virtude do emprego de tela metálica para armação e sustentação da “casca” formada. Esta tela é fixada à superfície do talude por chumbadores e pinçadores, sendo depois projetada a “gunita”.

- A *Proteção com Tela*, é uma técnica que utiliza tela metálica fixada à superfície do talude por meio de chumbadores, em locais onde existe a possibilidade de queda de pequenos blocos de

rocha o que acarreta a instabilização das área sobrejacentes. A tela deve estar protegida contra corrosão, principalmente quando instalada em meio agressivo.

d) Sistema de drenagem

Um sistema adequado de drenagem constitui-se em um importante mecanismo para o controle ou a eliminação dos processos erosivos em taludes. As águas que escoam sobre a superfície de um talude de corte ou aterro irão erodi-lo, carregando o material, oriundo da erosão, para a pista, o que poderá dificultar ou impedir o tráfego normal dos veículos que utilizam a via (BRASIL, 2005).

A drenagem da água superficial do talude tem por objetivo captar o escoamento superficial, podendo ser feita por meio de canaletas dispostas longitudinalmente, na crista do talude e em bermas, e, transversalmente, ao longo de linhas de maior declividade do talude. Para declividades grandes, pode ser necessário recorrer a escadas d'água, para minimizar a energia de escoamento das águas. As bermas de equilíbrio devem ser construídas para diminuir a energia das águas. Esta solução é de custo muito baixo e não exige pessoal especializado (MASSAD, 2003).

Os sistemas de drenagem podem apresentar problemas devido ao seu dimensionamento, que associados a deficiências do sistema de proteção superficial costumam provocar infiltrações nos taludes e na própria plataforma, ocasionado saturação e erosão em sulcos.

Em seu estudo, Carvalho (1991) sugere medidas preventivas e corretivas que se constituem em manutenções sistemáticas e freqüentes nos sistemas de drenagem.

3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da área de estudo

A região em estudo refere-se à fazenda Santa Edwirges, de propriedade da Votorantim Celulose e Papel, na região leste do Estado de São Paulo, no Vale do Paraíba – Município de Lorena conforme pode ser visto na Figura 3. Possui uma área de 12 km² e encontra-se próxima ao divisor de águas da serra Quebra Cangalha, onde estão localizadas as nascentes do ribeirão Taboão. Sua localização está entre as coordenadas 0485535 UTM - 0497741 UTM e coordenadas 7480000 UTM - 7466000 UTM.



FIGURA 3 - Localização da área de estudo

3.2 Caracterização geológica

A fazenda Santa Edwirges encontra-se totalmente inserida em um contexto geológico formado por rochas cristalinas de idade precambriana (> 500 milhões de anos). O mapa da Figura 4A apresenta as diferentes unidades geológicas encontradas na região: a) rochas metamórficas (xistos, gnaisses e migmatitos) do Complexo Embu (HASUI; SADOWSKI, 1976, CARNEIRO; HASUI; GIANCURSI, 1978); b) rochas ígneas (de composição predominantemente granítica) do Complexo Quebra-Cangalha; c) faixas de alta deformação (zonas milonitizadas); d) terraços

fluviais compostos de silte e argila e e) sedimentos inconsolidados localizados no leito dos cursos de água.

Pela Figura 4A pode-se perceber que a grande maioria da área é constituída pelo *Complexo Embu*, o qual corresponde a 60% da área de estudo. Esta unidade é constituída por rochas metamórficas (gnaisses) que possuem na sua composição minerais mais facilmente alteráveis, como micas e feldspatos. Desta maneira, o solo de alteração proveniente destas rochas é normalmente fino, onde predominam minerais argilosos favorecendo o desenvolvimento de solos mais impermeáveis e homogêneos. Os solos são normalmente espessos e possuem coloração avermelhada devido à presença de minerais ricos em ferro como a biotita. A homogeneidade e a composição fina destes solos são fatores que dificultam o desenvolvimento de processos erosivos acelerados como as ravinas.

A unidade *Granitóide Quebra-Cangalha* corresponde a 35% do mapa geológico, sendo constituído em grande parte por granitos leucocráticos (de tonalidades claras). As rochas desta unidade possuem minerais mais resistentes à alteração como o quartzo e o feldspato potássico. Entretanto, em decorrência da presença destes minerais, os solos são predominantemente de coloração esbranquiçada, de constituição areno-argilosa e com a presença significativa de frações minerais mais grosseiras (saibros). A textura grossa destes solos e a ausência de uma cobertura vegetal fornecem as condições favoráveis para a ocorrência de processos erosivos acelerados como sulcos e ravinas.

As *zonas milonitizadas* (ou zonas de cisalhamento) correspondem à cerca de 10% da área total estudada. Estas regiões correspondem a áreas que foram submetidas a intensas tensões tectônicas em condições dúcteis, ou seja, a profundidades maiores que 10 km (RAMSAY, 1980). Por esta razão, apresentam uma foliação bastante desenvolvida e a presença de minerais finos com estrutura em camadas como mica e clorita em decorrência de processos de retrometamorfismo devido a percolação de fluidos nas zonas de cisalhamento. A alteração destas rochas produz solos com elevada proporção de argila e não são suscetíveis ao aparecimento de processos erosivos lineares.

A unidade *Terraço Fluvial* e a unidade *Sedimentos Inconsolidados* correspondem a 5% do mapa geológico e representam a planície fluvial do ribeirão Taboão e seus principais afluentes. Nesta área são identificados paleo-terraços com sedimentos de composição pelítica (silte e argila) e, secundariamente, areia e seixos angulosos de quartzo e feldspato. Também se observam

sedimentos inconsolidados de cor preta indicando a presença de solos com grande quantidade de matéria orgânica. No aspecto geotécnico constituem-se solos de baixa resistência, saturados em água e propícios à inundação.

3.3 Caracterização geomorfológica

Apesar de a fazenda Santa Edwirges ser constituída de uma área relativamente pequena, possui uma significativa variação no relevo. Isto se deve, em grande parte, a diversidade do substrato geológico descrita anteriormente. Regionalmente, a área está inserida na unidade geomorfológica do Planalto do Médio Vale do Paraíba (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 1981).

Com base em elementos morfométricos (hipsometria e declividade), foi possível identificar, três unidades geomorfológicas distintas: Escarpas Degradadas, Morros e Morrotes e Colinas Alveolares. Estas unidades podem ser visualizadas a partir do Modelo Numérico de Terreno apresentado na Figura 4B. Em seguida, se apresenta a descrição das unidades geomorfológicas definidas para a área de estudo.

a) Escarpas Degradadas – ocorre no terço superior da área estudada apresentando declividades dominantes superiores a 30%, topos normalmente estreitos e alongados e afloramentos esporádicos de blocos de rochas. O substrato destas rochas é formado principalmente pelas rochas graníticas da Unidade Quebra-Cangalha. Os solos possuem composição areno-argilosos com elevado potencial de erodibilidade.

b) Morros e Morrotes – ocupa a porção centro-norte da área de estudo apresentando declividades dominantes entre 20% e 30% e topos com formas arredondadas. Neste relevo há uma menor intensidade dos processos de dissecação que o observado no relevo de Escarpas Degradadas. Geologicamente, correspondem a rochas gnáissicas e migmatíticas. Os solos associados são normalmente argilosos, espessos e de coloração avermelhada. A atividade erosiva é predominantemente laminar ainda que feições erosivas lineares ocorram de maneira localizada.

c) Colinas Alveolares – ocupa uma faixa de direção sudoeste/nordeste na parte central da bacia. Representam a transição entre os relevos de escarpas e os relevos de morros e morrotes. Correspondem as áreas de declividade baixa (inferiores a 15%) e as áreas de relevo plano (planícies aluvionares). Em alguns lugares foi possível identificar a deposição de sedimentos

recentes (Terciários/ Quaternários) os quais corresponde a unidade geológica Terraço Fluvial. Estes relevos possuem grande influência na dinâmica hidrológica da bacia uma vez que possuem o nível freático próximo à superfície e se constituem em um local apropriado para a formação de bacias de retenção.

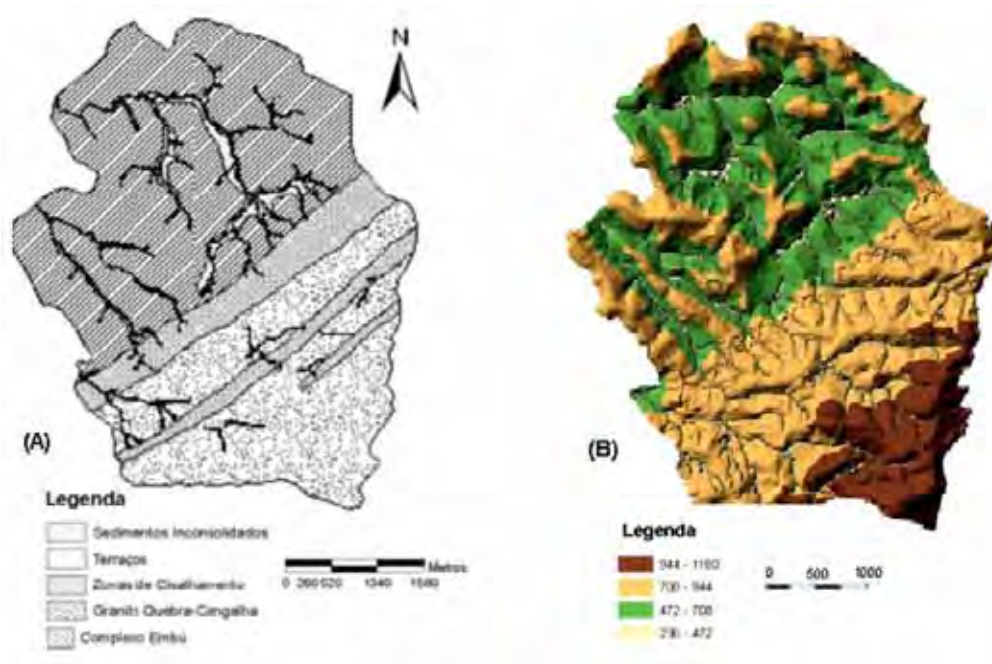


FIGURA 4 (A) Mapa geológico simplificado da área de estudo (fonte: Rodriguez e Milanezi,2005); (B) Modelo digital das três formas de relevo na fazenda Santa Edwirges: Escarpas (marrom), Colinas Alveolares (verde) e Morros e Morrotes (beje).

3.4 Precipitação da região de estudo

Dados pluviométricos da área de estudo foram interpretados por Freire (2005), utilizando para isso uma rede de seis estações pluviométricas bem distribuídas ao redor da área de estudo. Os dados foram analisados para uma série histórica de 30 anos e fornecidos pelo SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

As estações meteorológicas foram instaladas em diferentes formações geomorfológicas presentes na região. Assim, foi possível observar a ocorrência de diferentes índices de precipitação para cada relevo devido à influência do Sistema Orográfico, que é a movimentação

de massas de ar e de chuvas provocadas pelo relevo. As massas de ar são empurradas morro acima, promovendo esfriamento e condensação da água, formando neblinas, chuviscos ou chuvas.

A Tabela 1 apresenta a pluviosidade média sazonal associada ao seu correspondente relevo. Observa-se que na região de Escarpas as chuvas foram mais intensas, enquanto que nos Morros e Morrotes houve chuvas intermediárias. Na região de Vale a incidência foi de chuvas menos intensas. Os maiores índices de precipitação registrados para as regiões de Escarpa em comparação com os demais tipos de relevo (Morros e Morrotes e Vales) deve-se ao fator orográfico.

Tabela 1 - Pluviosidade Média Sazonal Bacia do Ribeirão Taboão-SP (1964 a 1994)

Estações Pluviométricas	Precipitação (mm)				Relevo
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	
1	652,6	173,6	136,2	514,8	Escarpa
2	720,7	196,4	136,9	562,9	Escarpa
3	635,1	187,6	142,1	498,5	Escarpa
4	642,2	176,5	137,5	507,2	Morros e Morrotes
5	583,1	170	124,7	484,8	Vale
6	640,7	165,3	124,9	506,4	Morros e Morrotes
Média	645,7	178,2	133,7	512,4	

3.5 As estradas da fazenda Santa Edwirges no contexto geológico

Com o crescimento do novo ciclo econômico referente às florestas plantadas para as indústrias de celulose e papel, extensas áreas abandonadas estão sendo substituídas por plantio de eucalipto. Esta nova atividade vem gerando grandes áreas de manejo e construção de novas estradas vicinais.

As estradas da Fazenda Santa Edwirges possuem aproximadamente 100 km de extensão e foram abertas no ano de 2003, quando se iniciou o plantio de eucalipto. Desde então possibilitando o seu cultivo dentro da fazenda. Desta forma, é fundamental que estas estradas

estejam em boas condições de trafegabilidade para que seja mantido o desenvolvimento desta cultura.

A Figura 5 apresenta a atual malha viária da Fazenda Santa Edwirges.



FIGURA 5- Rede viária da fazenda Santa Edwirges.

Segundo Rodriguez e Milanezi (2005) existem algumas feições geotécnicas na área de estudo que devem ser destacadas. Nos granitóides Quebra-cangalha há tanto afloramentos de rocha sã (em cortes de estrada e drenagens), quanto solo de alteração (solo residual) e colúvios (solo transportado). Nos cortes feitos em colúvios foram observados pequenos sulcos no terreno. Este tipo de solo é gerado por processo de transporte e deposição de massa por gravidade, característico de regiões escarpadas e faz parte do processo natural de dissecação do relevo. Os solos coluvionares são porosos e colapsíveis, entretanto se bem compactados podem adquirir propriedades adequadas para construção de bases de estradas.

Os solos de alteração são predominantemente de coloração esbranquiçada (devido pouca biotita), de constituição areno-argilosa e com a presença significativa de frações minerais mais grossas. Devido a sua textura grossa e a ausência de uma cobertura vegetal, os solos de alteração favorecem a ocorrência de processos erosivos acelerados. As maiores ravinas observadas na

região de estudo estão presentes nos granitóides, nas porções representadas por solos de alteração.

Na região representada pelos gnaisses do Complexo Embu foi verificada a presença de afloramentos de rochas constituídas de minerais facilmente alteráveis como biotita, feldspatos e muscovita, entretanto a sua maior porção é constituída de solos de alteração (RODRIGUEZ; MILANEZI, 2005).

O solo de alteração proveniente de rochas de gnaiss é normalmente fino, espesso e possui coloração avermelhada devido à biotita (rica em ferro), além de ter a predominância de minerais argilosos, favorecendo assim o desenvolvimento de solos mais impermeáveis, homogêneos e pouco suscetíveis a ravinas, mesmo havendo a ausência da cobertura vegetal.

Nas escarpas ocorrem afloramentos de rocha sã, ao contrário do que verifica nos morros e morrotes. Isto pode deixar o custo da construção de estradas mais elevado, uma vez que há a necessidade de utilização de maquinário para escavação por um período de tempo maior. Nos gnaisses, deve-se ter cautela com relação à abertura de estradas devido ao mergulho de sua foliação (RODRIGUEZ; MILANEZI, 2005).

Visto a sua grande potencialidade física e natural, é nítida a vantagem econômica e ambiental da fazenda de se construir estradas nos gnaisses-bandados associados a morros e morrotes em comparação à granitóide Quebra-cangalha localizados em relevos de escarpas degradadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Atividades de laboratório

As características geológicas e geomorfológicas da região conforme descritas anteriormente criam um ambiente propício para a formação de grupos de solo com características bem distintas. A caracterização dos grupos a que pertencem os solos da área de estudo é fundamental para uma avaliação do potencial de erosão. Para isso, foram coletadas amostras de solo de onde foi realizado o experimento e de onde foi extraído material empregado no tratamento envelopamento, para a realização de ensaios de limites de Atterberg, granulometria e mini-mcv, os quais forneceram ferramentas que possibilitaram fazer uma avaliação indireta do potencial de erosão dos solos em análise.

4.1.1 Coleta das amostras

As primeiras amostras definidas por solo 1, foram obtidas do talude onde foi realizado o experimento (talude 1). As coordenadas do ponto de amostragem são 0491937 e 7469689 em UTM. Localizado na região de escarpas, próximo ao divisor de águas, o solo apresenta pouco evoluído, sendo um solo residual jovem silte-arenoso de cor rosa, onde se observam os processos erosivos em estágio avançado de desenvolvimento conforme Figura 6.

As segundas amostras obtidas de solo mais evoluídas (solo 2) foram retiradas de um outro ponto próximo da região de estudo na área de morros e morrotes, com relevo de declividade média, sendo um solo residual argiloso bem desenvolvido e de coloração avermelhada de acordo com a Figura 7. Nesta localidade o solo apresentava-se pouco erodido. As coordenadas são 0490663 e 74706340 UTM.



FIGURA 6 – Localização de onde foi coletado o solo 1, local do experimento (talude 1)



FIGURA 7 - Localização de onde foi coletado o solo 2 (talude 2)

4.1.2 Densidade dos grãos

A metodologia utilizada para determinação da densidade dos grãos, G_s , foi a descrita na Norma Brasileira (NBR 6508, 1984). A execução deste ensaio para os dois solos em estudo possibilitou a realização do ensaio de granulometria (processo de sedimentação).

4.1.3 Granulometria

A análise granulométrica é uma das ferramentas que podem ser utilizadas na tentativa de se avaliar a erodibilidade dos solos. A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 7181, 1984) determina que para a realização do ensaio de granulometria é necessária a utilização de um defloculante para provocar o rompimento das ligações elétricas entre as partículas de argila, tornando-as assim, individuais no meio aquoso. Entretanto, este ensaio foi realizado também sem a adição do defloculante de modo a avaliar a capacidade dos minerais argílicos de formarem grumos e de sedimentarem-se mais rapidamente. Assim, quanto maior for a distância entre as duas curvas, maior será a capacidade dos minerais argílicos de se agruparem e conseqüentemente, de resistirem ao impacto das gotas de chuva.

Os ensaios de granulometria foram executados visando determinar a porcentagem de dispersão segundo proposta de Volk (1937 apud ARAÚJO, 2000). Segundo a Equação (2), mencionada no capítulo 2, quanto menor a dispersão entre as curvas com e sem defloculante, maior o potencial de erosão do solo.

Com base na porcentagem de dispersão os solos são interpretados do seguinte modo: se a porcentagem de dispersão for maior que 50% o solo é considerado altamente dispersivo; se estiver entre 20% e 50% é considerado moderadamente dispersivo e se for menor que 20%, não é dispersivo.

4.1.4 Limites de Atterberg

Os procedimentos de ensaios para a determinação dos Limites de Atterberg seguiram as recomendações das Normas ABNT (NBR 6459, 1984) Determinação do Limite de Liquidez e (NBR 7180, 1984) Determinação do Limite de Plasticidade, os quais são executados para amostras passadas na peneira #40 (0,42mm). No presente trabalho, esses ensaios foram também realizados utilizando-se o material passado na peneira #200 (0,074mm) para avaliar a influência da parcela de areia fina nos valores de limites de liquidez e plasticidade.

O **Limite de Liquidez (LL)** é definido como a umidade abaixo da qual o solo se comporta plasticamente; é a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo. Sua determinação é feita pelo aparelho de Casagrande e corresponde ao teor de umidade com que o

solo fecha uma certa ranhura sob o impacto de 25 golpes do aparelho de Casagrande (CAPUTO, 1988).

O **Limite de Plasticidade (LP)** é definido como a umidade para o qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar com ele um cilindro de 3 mm de diâmetro, rolando-se com a palma da mão. Representa o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço; é a umidade de transição entre os estados plástico e semi-sólido do solo (CAPUTO, 1988).

A diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade é definida como **índice de plasticidade (IP)** e indica a faixa de valores em que o solo se apresenta plástico.

4.1.5 Ensaio de mini-mcv

A metodologia empregada para realização do ensaio de compactação (Mini-MCV) e da determinação da perda de massa por imersão foi baseada na proposta de Marson (2004) que visou tornar as normas de ensaio (DNER-ME 256, 94) Solos Compactados em equipamentos miniatura – Determinação da perda de massa por imersão e (DNER-ME 258,94) Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV) mais simples e objetiva.

A classificação MCT–M das amostras em estudos foi obtida determinando-se os parâmetros c^* , e^* e P_i (perdas de massa por imersão).

4.2 Atividades de campo

4.2.1 Montagem do experimento

Inicialmente, houve a necessidade de se fazer a regularização da superfície dos taludes utilizando-se uma máquina retro-escavadeira de propriedade da empresa Votorantim Celulose e Papel. Este procedimento se fez necessário devido à existência de irregularidades em sua superfície, oriundas de processos erosivos que se encontram em pleno desenvolvimento. O talude 1, após regularização, apresentou uma altura de 6,90 m e inclinação de $60,70^\circ$ - 1H : 1,78V, enquanto que o talude 2 ficou com uma inclinação de $55,2^\circ$ - 1H : 1,44V e altura de 4,90m.

Após a realização do trabalho da retro-escavadeira, foi feita uma regularização manual, com a finalidade de eliminar os sulcos mais profundos deixados pelos dentes da retro-escavadeira nas

superfícies dos taludes, onde os processos erosivos poderiam ocorrer de forma mais intensa, em decorrência da concentração de escoamento superficial.

O controle da pluviosidade foi realizado através de um pluviômetro fixado a 2,0 metros de altura, distante 20 metros do experimento e em uma área livre de interferências de árvores.

O experimento de campo consistiu na instalação de quatro células com dimensões de 2,0 m x 3,0 m (6m²), dispostas sobre um talude. As paredes das células eram compostas por tábuas com 30 cm de largura dos quais 10,0 cm eram enterrados no solo. Na instalação das tábuas, as paredes dos furos foram mantidas verticais no lado interno para melhor contato das tábuas com o solo natural. Após o posicionamento das tábuas, o furo foi preenchido pelo lado externo com uma pequena compactação e em seguida sendo fixados por meio de piquetes cravados no lado externo. Na parte inferior de cada célula fixou-se uma calha platibanda 28, com 15,0 cm de abertura e bocal de 5,0 cm, que foi conectada a um tanque de armazenamento com capacidade de 300 litros por meio de tubo de PVC. Os suportes de calhas foram fixados nos piquetes e cravados no solo para o apoio da calha, conforme ilustrado na Figura 8.



FIGURA 8- Instrumentação de Campo (exemplo de uma célula completa).

Para a coleta dos sedimentos, foram instaladas bolsas constituídas de um Geotêxtil com abertura de poros de 0,117 mm sendo estas inseridas dentro dos tanques de armazenamento e

fixadas na extremidade da tubulação. Pela Figura 9, pode-se observar que além da bolsa de coleta havia também dentro do coletor um pequeno suporte, o qual tinha a função de não permitir o contato da bolsa de geotêxtil com a água que era armazenada na caixa de água.



FIGURA 9- Tanque com a bolsa de geotêxtil

Os materiais armazenados dentro das bolsas de geotêxtil serão denominados neste trabalho de sedimentos sólidos, que representam a parcela mais grossa. A parcela fina depositada no fundo do tanque e também aquela em suspensão serão chamadas de sedimentos em suspensão.

4.2.2 Tipos de proteção

Para a realização do experimento foram avaliados três métodos de proteção de taludes (grama, serrapilheira e envelopamento), constituídos de materiais naturais existentes no próprio local onde foi realizada a pesquisa. Uma célula foi mantida desprotegida a qual serviu de referência para avaliação da eficiência dos métodos na redução da quantidade de sedimentos e do escoamento superficial. Essas coberturas foram instaladas no talude 1.

No talude 2, onde foi extraído o material para o envelopamento, foi montada uma célula com solo desprotegido. O objetivo foi a avaliação do escoamento superficial e a produção de sedimentos ocorrida nesta célula (condição natural) e no método de envelopamento (condição compactada). Esta avaliação foi feita, mesmo sabendo que os taludes 1 e 2 apresentavam uma ligeira diferença em suas inclinações, fato que pode interferir em um aumento da energia do escoamento superficial e conseqüentemente na sua capacidade erosiva. Entretanto, devido às dimensões das células (pequeno comprimento de rampa) e ao processo de compactação realizado na superfície da célula do método envelopamento, inferiu-se que essa variação na declividade não

interferiu de maneira muito significativa com o desencadeamento dos processos erosivos, possibilitando desta forma a obtenção de resultados representativos.

No presente estudo, os métodos de proteção de taludes foram analisados empregando materiais naturais da própria região de estudo. A seguir serão descritos os métodos de proteção estudados na pesquisa:

a) Método A : célula de referência

A face do talude no método A foi mantida na condição natural, conforme Figura 10, com o objetivo de servir de referência aos tratamentos das demais células. Para a sua instalação, foi necessária a regularização da superfície do talude para eliminar as pequenas depressões, onde os processos erosivos poderiam ocorrer de forma mais intensa. Os cálculos das eficiências dos métodos de proteção foram determinados com base na quantidade de sedimentos medida na célula de referência.



FIGURA 10 – Método A : superfície de controle 1

b) Método B: plantio de grama “São Carlos”

A grama “São Carlos” *Axonopus compressus*, ilustrada na Figura 11, possui alta resistência ao pisoteio e apresenta boa resistência às pragas e ervas daninhas. Adapta-se a locais de meia sombra ou a sol pleno, tem boa tolerância a locais úmidos e frios, formando um tapete bem denso. Possui crescimento pouco a intenso (LORENZI; SOUZA, 2001). Esta espécie de grama estabiliza solos erosivos em regiões de alta pluviosidade, sendo uma excelente proteção para taludes contra o desenvolvimento de processos erosivos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2008).

Este tratamento foi instalado, plantando-se em pequenas cavidades na superfície do talude mudas de grama. Os orifícios foram executados com a ajuda de um pequeno bastão de madeira em que uma de suas extremidades era apontada. Este método foi realizado sem a adição de qualquer tipo de insumo agrícola ou solo orgânico, pois estes materiais poderiam interferir na determinação dos sedimentos erodidos.

Devido à fragilidade inicial da grama, foi colocado sobre ela, logo após o término de seu plantio, pequenos ramos de eucalipto, a fim de protegê-la do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial. Esta proteção complementar permaneceu até ser realizada a segunda coleta de sedimentos, 14 dias depois do início do monitoramento.



FIGURA 11 – Método B : Grama-São-Carlos “*Axonopus compressus*”

c) Método C: trama de serrapilheira

O material utilizado no método C é formado por galhos e folhas que são depositados no chão durante o ciclo de crescimento das árvores de eucalipto *E. Grandis*. Os galhos foram amarrados com arame formando uma trama que era fixada na superfície do talude por piquetes, como apresentado na Figura 12 a fim de não se desprendessem e assim não se deslocassem da sua posição implantada. O arranjo das tramas cobriu toda a célula, formando praticamente um telhado.

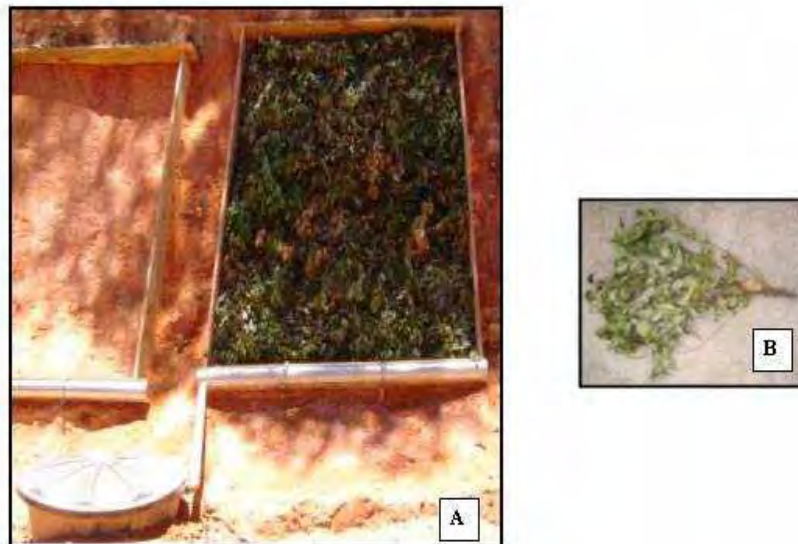


FIGURA 12 – Foto A: Método C (Serrapilheira); Foto B: Feixe empregado no Tratamento Serrapilheira

d) Cobertura D: envelopamento – solo compactado

O método D demonstrado na Figura 13 consistiu-se no revestimento de uma célula com uma camada de 10cm de solo local (solo 2), o qual possui como característica a resistência aos processos erosivos (solo argiloso tipo CH com perda de massa por imersão de 0,0 % e classificação Mini-MCV, LG'). O solo foi lançado diretamente sobre a face do talude por meio de compactação manual, utilizando-se um pequeno soquete de madeira. Não houve controle de

compactação na aplicação do solo de envelopamento, uma vez que o objetivo era propor uma alternativa de proteção de controle de erosão de taludes de estradas rurais não-pavimentadas de fácil aplicação pelos moradores de áreas rurais, e também porque sobre esta superfície não haveria tráfego nem pisoteio de animais.

A fixação do solo de envelopamento sobre a superfície do talude foi favorecida pelos pequenos sulcos deixados na superfície durante o processo de regularização feita pela retro-escavadeira. Este tratamento foi o que ofereceu maior grau de dificuldade na instalação, devido à alta declividade do local.



FIGURA 13 – Método D : Envelopamento

e) Método E: superfície de controle – talude natural.

A instalação do método E foi feita de modo semelhante ao do tratamento A, sendo necessária a regularização da superfície do talude para eliminar as pequenas depressões, sendo sua superfície também mantida desprotegida conforme observado na Figura 14.

O método E foi empregado para se realizar uma análise comparativa com o tratamento D (envelopamento) em relação a produção de sedimentos e o volume do escoamento superficial, visto que ambos são constituídos do mesmo tipo de solo (solo 2), entretanto utilizados em condições diferentes.



FIGURA 14 – Método E: solo de envolvimento em condição natural

Por meio das Figuras 15 e 16 tem-se uma visão geral das duas regiões onde foi realizado o experimento.

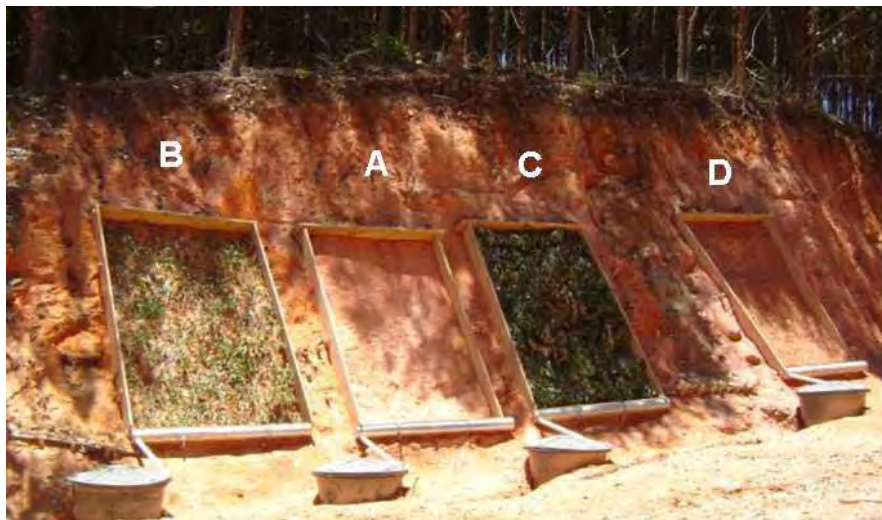


FIGURA 15 – Visão geral do experimento (A) Método A- Célula de Referência, (B) Método B – Grama, (C) Método C- Serrapilheira, (D) Método D - Envolvimento. Métodos instalados no talude 1



FIGURA 16 - Método superfície de controle, instalado no talude 2.

4.2.3 Sistema de medição e controle

Os parâmetros empregados neste trabalho para a quantificação do volume do escoamento superficial e do peso do material sólido total gerado pela erosão em cada tratamento analisado foram os propostos por Souza (2000) em sua dissertação de mestrado. A autora para mensurar o material sólido total erodido divide este tipo de sedimento em duas parcelas, sendo a primeira constituída dos sedimentos mais grossos de solo, os quais serão chamados neste trabalho de sedimentos pesados e a segunda constituída pelas partículas mais finas de solo misturas à massa de água do escoamento superficial coletado, as quais serão consideradas como sedimentos em suspensão. A quantidade total de sedimentos foi determinada a partir da soma dos sedimentos pesados juntamente com os sedimentos em suspensão.

4.2.3.1 Escoamento superficial

A determinação do volume de escoamento superficial foi obtida através de uma régua de nível. Para isso foi montada uma curva de calibração, apresentada na Figura 17, com ajuste por regressão linear relacionando a altura do líquido com o seu correspondente volume. Assim, para a obtenção do volume do escoamento superficial em campo, bastava-se colocar a régua ilustrada na

Figura 18 dentro de cada coletor e fazer a leitura da altura do nível d'água e, com este valor, obter o volume equivalente na curva de calibração.

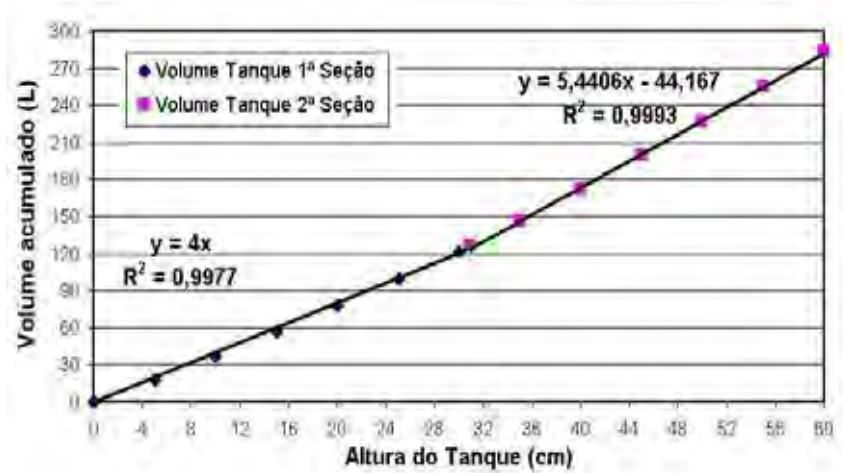


FIGURA 17 - Curva de Calibração para determinação do volume de escoamento

Em algumas situações, o volume de água escoado e a perda de solo eram muito pequenos, que se optou por deixar os coletores no campo, aguardando mais eventos de chuva até que fosse possível coletar o material.



FIGURA 18 – Processo de medição indireta do volume de água escoado

4.2.3.2 Determinação do peso de sedimentos em suspensão

Para o cálculo do peso de sedimentos em suspensão, as amostras eram coletadas da solução, água + solo, contida nos tanques de armazenamento, utilizando-se para isto garrafas plásticas de 1.000 ml. Antes de se coletar a amostra, a solução era homogeneizada por meio de intensa agitação. Após cada leitura de campo, os tanques eram esvaziados e limpos. No laboratório, as amostras eram novamente homogeneizadas e partes de seus volumes eram transferidos para cápsulas previamente pesadas. Em seguida, as cápsulas eram postas para secar em estufa a 105 °C durante 24 horas para determinação do peso dos sólidos. A Figura 19 apresenta os instrumentos utilizados para determinação da massa de sedimentos em suspensão: garrafas plásticas, cápsulas de alumínio e balança de precisão.



FIGURA 19 - Utensílios empregados na determinação da massa dos sedimentos em suspensão

Conhecendo-se o volume inicial colocado nas cápsulas, calculou-se a concentração de sólido em suspensão. O peso total de sedimentos em suspensão foi determinado pela multiplicação do volume total do escoamento no tanque pela respectiva concentração.

4.2.3.3 Determinação do peso de sedimento pesado

Para a obtenção do peso do sedimento pesado (parcela mais grossa do solo), foram utilizadas bolsas de geotêxtil, cujos poros possuíam abertura de 0,117 mm, o que permitia a

retenção dos grãos maiores do solo – pedregulho, areia grossa, média e fina (parcialmente), permitindo a passagem apenas das partículas menores como argilas, siltes e uma pequena parcela das areias finas.

No processo de coleta de campo, as bolsas com os sedimentos mais grossos eram retiradas e colocadas em baldes para o transporte até o laboratório. Para que a próxima medida pudesse ser realizada, uma nova bolsa era fixada junto à tubulação após a limpeza dos tanques.

No laboratório, esse material era retirado da bolsa e pesado em balança com precisão de duas casas decimais, conforme ilustrado na Figura 20A. Em seguida era homogeneizado em bandejas com a finalidade de uniformizar sua umidade como apresentada Figura 20B. Posteriormente, amostras destes sedimentos foram colocadas em cápsulas e secas em estufas a 105 °C durante 24 horas, com a finalidade de se determinar o teor de umidade. Conhecido este teor foi então possível medir de forma indireta o peso seco deste sedimento utilizando a equação (3).

$$P_s = \frac{100 \times P_u}{100 + W}, \quad (3)$$

onde:

P_s = Peso seco da amostra (Kg)

P_u = Peso úmido da amostra (Kg)

W = Umidade da amostra (%)



FIGURA 20 – Processo de medição indireta do peso dos sedimentos sólidos, (A) bolsas de geotêxtil com os sedimentos mais grossos coletados em campos (B) homogeneização da umidade da amostra.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Ensaios de laboratório

5.1.1 Densidade dos grãos

Os resultados da densidade e da massa específica dos grãos foram apresentados na Tabela 2, sendo que para o cálculo da massa específica dos solos basta multiplicar o valor G_s obtido pelo valor da massa específica da água.

Tabela 2- Resultados obtidos da densidade e massa específica dos grãos.

Solo	G_s	ρ (g/cm ³)
1	2,68	2,675
2	2,655	2,65

5.1.2 Granulometria

O resultado do ensaio de granulometria realizado com e sem defloculante para os dois solos estudados está expresso na Figura 21 e na Tabela 3, considerando cada fração de solo definida na ABNT.

Tabela 3 - Resultados da granulometria com e sem o uso de defloculante

Solo	Areia (%)								Silte (%)		Argila (%)		Total de Finos (%)	
	Grossa		Média		Fina		Total		C/Def	S/Def	C/Def	S/Def	C/Def	S/Def
	C/Def	S/Def	C/Def	S/Def	C/Def	S/Def	C/Def	S/Def						
01	6	6	39	31	14	24	59	61	28	31	13	8	39	39
02	6	6	19	20	12	40	37	66	8	32	55	2	63	34

As curvas granulométricas realizadas com e sem defloculante para os dois solos estudados são mostradas na Figura 21.

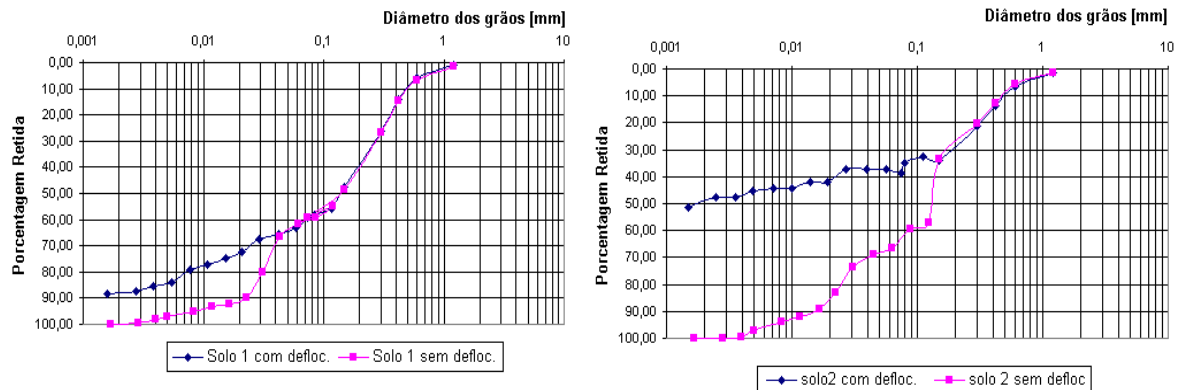


FIGURA 21 - Curvas granulométricas: (a) solo 01; (b) solo 02

Analisando-se a Figura 21 (curva granulométrica) a qual representa os resultados obtidos para o solo 1 e 2 com e sem a adição de defloculante e os dados contidos na Tabela 3, percebeu-se que:

- As frações mais grosseiras do solo 1 não apresentaram significativa variação, mantendo sua porcentagem total de areia praticamente inalterada. Já com relação às frações finas do solo, foram observados um ligeiro aumento na porcentagem de silte e uma pequena redução de argila;
- O solo 2 apresentou uma redução da ordem de 29% para as suas frações mais grosseiras. Conseqüentemente, esta diminuição gerou um aumento significativo das frações finas deste solo: cerca de 20% na porcentagem de silte e 51% para a argila.

Por meio da Metodologia desenvolvida por Volk (1937 apud ARAÚJO, 2000) foi possível calcular as porcentagens de dispersão segundo a Equação (2). Para o solo 1, a porcentagem de dispersão foi de 20%, o que caracteriza um solo com média erodibilidade. No caso do solo 2, a porcentagens de dispersão foi de apenas 5,4%, sendo este um solo não dispersivo. Estes resultados estão coerentes com os comportamentos observados nos taludes em campo, Figuras 8 e 9.

5.1.3 Limites de Atterberg

Os resultados dos ensaios de limites de plasticidade e liquidez e de índice de plasticidade são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos Limites de Atterberg

		Diâmetro (mm)	LL (%)	LP (%)	I.P (%)
Solo 1	#40	0,42	28,90	14,20	14,70
	#200	0,07	42,70	30,00	12,70
Solo 2	#40	0,42	64,30	30,80	33,50
	#200	0,07	91,80	54,10	37,70

Os resultados dos ensaios de limites de Atterberg foram plotados na carta de plasticidade da Figura 22.

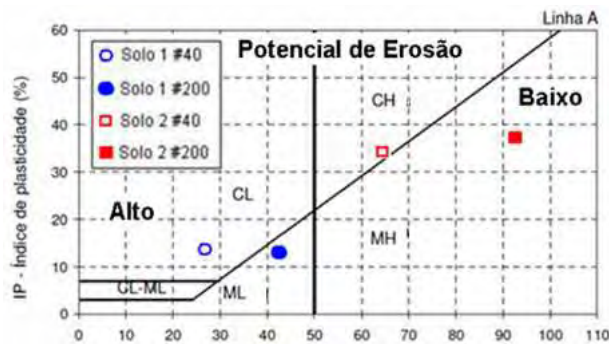


FIGURA 22 - Carta de Plasticidade

Assim como já foi mencionado de forma qualitativa, a Carta de Plasticidade pode ser dividida em três regiões para a avaliação do potencial de erosão.

Para os ensaios de Limites de Atterberg realizados segundo a norma brasileira (peneira #40), o solo 1 apresenta-se com um alto potencial de erosão e o solo 2 foi classificado como de baixa erodibilidade. Com a retirada da parcela de areia fina obtida nos ensaios com solos passados na peneira #200, houve um aumento significativo do valor de limite de liquidez dos materiais, fazendo com que o solo 1 passasse para uma situação de erodibilidade média. No caso do solo 2, o aumento do limite de liquidez não alterou a classificação do solo quanto a sua erodibilidade.

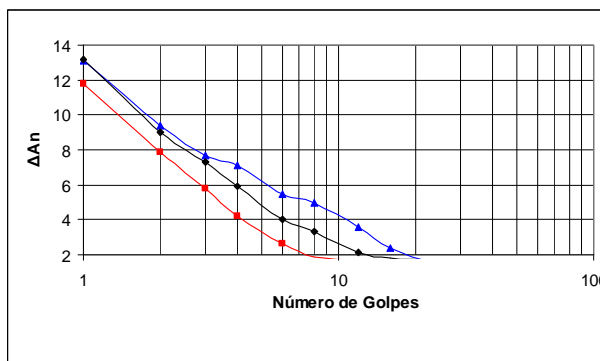
5.1.4 Ensaio de mini-mcv

A classificação MCT–M das amostras em estudos foi obtida determinando-se os parâmetros classificatórios c' , e' e P_i (perdas de massa por imersão). A Tabela 5 resume os coeficientes de

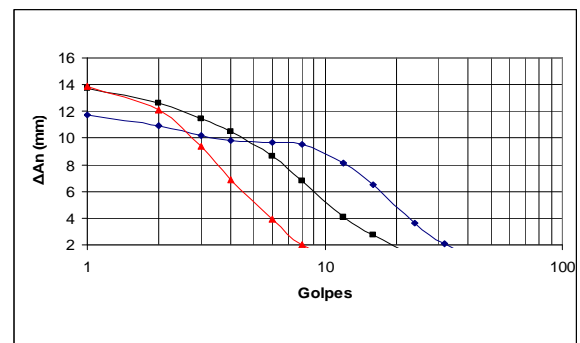
classificação MCT-Modificado obtidos para os solos em estudo, sendo o parâmetro c' obtido a partir das curvas de Mini-MCV apresentadas na Figura 23.

Tabela 5 – Parâmetros de Classificação MCT- Modificado

Amostra	Parâmetros		
	c'	Pi (%)	e'
SOLO1	1,10	136,25	1,65
SOLO 2	1,83	0,0	0,0



(a)



(b)

FIGURA 23 - Curvas de Mini-MCV: (a) solo 01; (b) solo 02

Dispondo-se dos coeficientes classificatórios foi possível obter a classificação do solo 1 e do solo 2 segundo a Metodologia MCT-Modificada, bastando para isto plotar o ponto de coordenadas c' e e' no Ábaco Classificatório desta metodologia conforme pode ser observado na Figura 24.

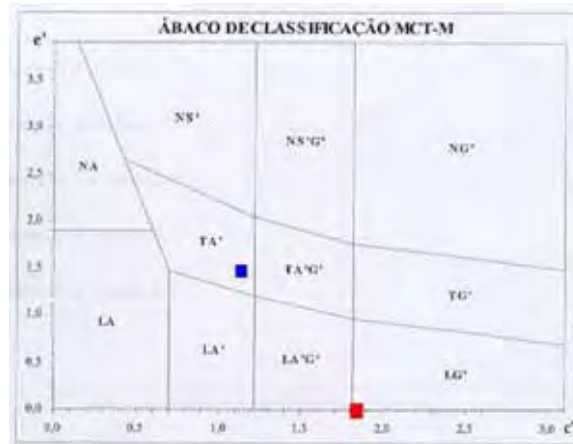


FIGURA 24 - Ábaco MCT-M para classificação de solos.

Fonte: Marson (2004).

Legenda: o ponto azul representa os parâmetros obtidos para o solo 1 e em vermelho os do solo2.

O solo 1 foi classificado como TA' (solo transicional arenoso). Trata-se de um solo ainda não muito afetado pelos processos pedogenéticos, visto que se posiciona na faixa central do ábaco da Classificação MCT-M. Este solo apresenta um caráter de transição no processo de evolução genética dos solos tropicais, normalmente associados às formações sedimentares. Encontram-se na camada superior do perfil do terreno, podendo ser submetido a condições de drenagem que favorecem sua evolução genética.

O solo 2 obteve a classificação LG' (Solos Argilosos Lateríticos). Este grupo é formado por argilas e argilas arenosas, pertencentes ao horizonte B dos latossolos, solos podzólicos e terras roxas estruturadas. Quando apresentam percentagens de areia elevadas, tem um comportamento semelhante aos solos arenosos lateríticos LA'.

5.2 Experimento de campo

5.2.1 Produção de sedimentos

As Tabelas 6 a 9 apresentam a produção total de sedimentos obtidos para os cinco métodos. Os parâmetros utilizados para a quantificação da perda de solo foram: sedimentos em suspensão, sedimentos pesados e sedimentos totais; destacando que os sedimentos totais é composto pela soma dos sedimentos em suspensão e pesados.

A parte experimental foi monitorada durante o verão entre os dias 13 de janeiro a 13 de março de 2009. Durante este período de experimento, o volume total de chuva medido nos dois meses foi superior ao esperado para todo o verão que em média é de 645,7 mm. A primeira coluna das Tabelas 6 a 9 indica o intervalo de tempo entre as leituras. É importante destacar que não houve uma leitura com intervalo fixo devido às condições adversas do tempo e das estradas que dificultavam o acesso à área do experimento. A segunda coluna apresenta o volume de chuva acumulado no respectivo intervalo de leitura. As demais colunas apresentam a quantidade de sedimentos totais dividida pela área total da célula, medidos em kg/m^2 para cada tipo de tratamento (célula de referência, a grama, a serrapilheira e envelopamento) empregado no experimento.

Tabela 6- Produção Média dos Sedimentos pesados das coberturas do talude 1

Período	Altura de chuva (mm)	Célula de Referência (kg/m^2)	Grama (kg/m^2)	Serrapilheira (kg/m^2)	Envelopamento (kg/m^2)
13 - 22 Jan/09	127	6,46	2,60	0,56	2,75
22 - 27 Jan/09	60	3,44	0,53	0,51	0,78
27 Jan - 2 Fev/09	87,5	2,30	0,33	0,21	0,48
2 - 7 Fev/09	52	0,52	0,18	0,17	1,34
7 - 10 Fev/09	12,5	0,03	0,01	0,01	0,05
10 - 14 Fev/09	55	0,36	0,02	0,01	0,19
14 - 25 Fev/09	130	8,49	0,60	0,14	2,99
25 Fev- 13 Mar/09	127	8,45	0,53	0,55	1,18
Total	651,0	30,05	4,79	2,16	9,74

Por meio da Tabela 6 observa-se que a quantidade de sedimentos pesados medidos para a primeira coleta foi bem superior as demais leituras devido ao solo solto oriundo do processo de regularização do talude. A quantidade de sedimentos pesados produzida na célula de referência (método D) foi muito superior a demais coberturas empregadas. A serrapilheira foi o tratamento que apresentou a menor quantidade de sedimentos pesados.

Tabela 7-Produção Média de Sedimentos em suspensão das coberturas do talude 1

Período	Altura de chuva (mm)	Célula de referência (kg/m ²)	Gramma (kg/m ²)	Serrapilheira (kg/m ²)	Envelopamento (kg/m ²)
13 - 22 Jan/09	127	0,15	0,25	0,12	0,08
22 - 27 Jan/09	60	0,12	0,20	0,18	0,12
27 Jan - 2 Fev/09	87,5	0,15	0,13	0,11	0,08
2 - 7 Fev/09	52	0,13	0,18	0,07	0,12
7 - 10 Fev/09	12,5	0,01	0,01	0,01	0,00
10 - 14 Fev/09	55	0,07	0,06	0,01	0,01
14 - 25 Fev/09	130	0,17	0,33	0,15	0,15
25 Fev-13Mar/09	127	0,14	0,16	0,14	0,37
Total	651,0	0,93	1,33	0,78	0,93

Como pode ser visto na Tabela 7, o tratamento com grama apresentou a maior produção de sedimentos em suspensão, superando os demais métodos, inclusive a célula com solo desprotegido. Os tratamentos com solo descoberto (método A) e com envelopamento (método D) apresentaram a mesma produção para esse tipo de sedimento. Assim como foi observado para o caso dos sedimentos pesados, a produção de sedimentos em suspensão registrou o menor valor para o método com serrapilheira.

Tabela 8 - Produção Total de Sedimentos das coberturas do talude 1.

Período	Altura de chuva (mm)	Célula de Referência (kg/m ²)	Gramma (kg/m ²)	Serrapilheira (kg/m ²)	Envelopamento (kg/m ²)
13 - 22 Jan/09	127	6,60	2,85	0,67	2,83
22 - 27 Jan/09	60	3,57	0,73	0,70	0,90
27 Jan - 2 Fev/09	87,5	2,44	0,46	0,31	0,56
2 - 7 Fev/09	52	0,66	0,47	0,24	1,46
7 - 10 Fev/09	12,5	0,04	0,02	0,02	0,05
10 - 14 Fev/09	55	0,43	0,08	0,02	0,20
14 - 25 Fev/09	130	8,66	0,94	0,28	3,13
25 Fev-13 Mar/09	127	8,58	0,69	0,69	1,55
Total	651,0	30,98	6,24	2,94	10,67

Por meio da Tabela 8 foi possível observar que a quantidade total de sedimentos produzida na célula de referência foi muito superior aos demais tratamentos, sendo observada a formação de erosão por sulcos nesta célula a partir da segunda coleta. Dentre os métodos de proteção empregados para o controle dos processos erosivos, o envelopamento foi o que produziu maior quantidade de sedimentos. Na quarta e na quinta leituras realizadas foi verificado que a quantidade de sedimentos na célula com envelopamento foi superior a célula de referência. Isso ocorreu devido ao processo de fendilhamento que desagregou o solo de envelopamento, fazendo com que se desprendesse da superfície onde foi instalado. A Figura 25 apresenta os pontos de destacamento de solo do tratamento e envelopamento.

Este processo tornou o tratamento mais suscetível aos efeitos do escoamento superficial e impacto das gotas de chuvas.

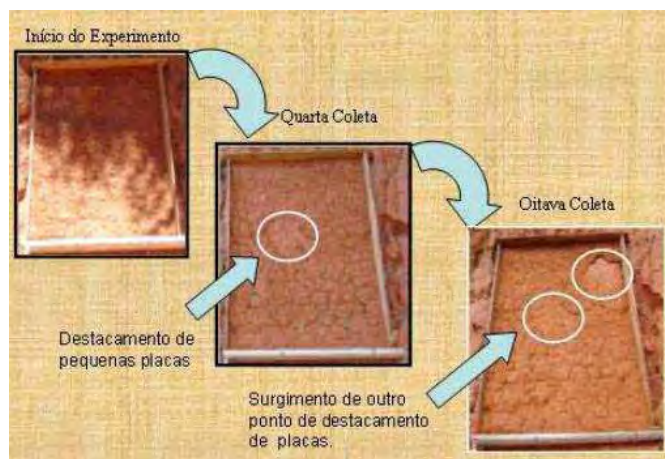


FIGURA 25 - Deslocamento do solo de devido ao surgimento do processos de fendilhamento, tornando-o mais suscetível ao efeitos do escoamento superficial e impacto das gotas de chuvas

Com relação aos outros métodos, a serrapilheira foi a que apresentou o melhor resultado, seguido pela proteção com grama. A redução de perda de solo registrada para o envelopamento foi de 65%, para a grama foi de 80% e para a serrapilheira foi de 90%.

Os gráficos das Figuras 26 e 27 construídos a partir dos dados da Tabela 8 apresentam, por intervalos de leitura, a produção total de sedimentos para cada uma das células empregadas no talude 1.

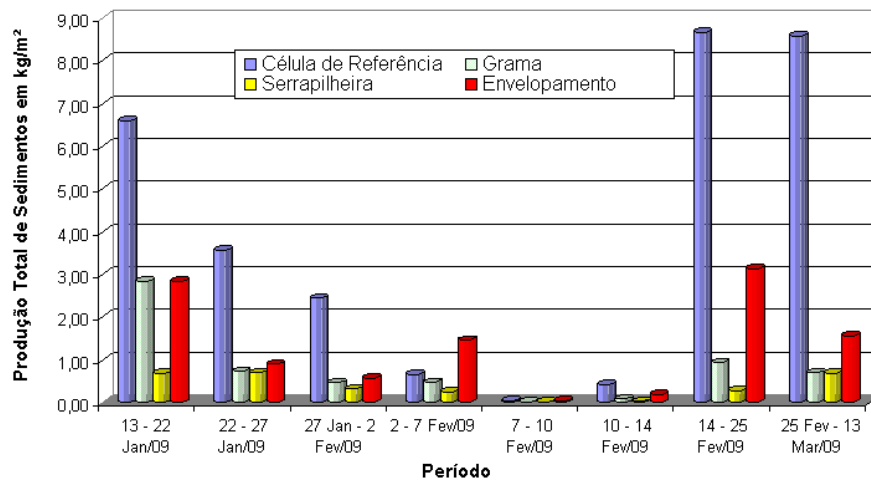


FIGURA 26 - Produção Total de Sedimentos em kg/m² para os métodos empregados no talude 1

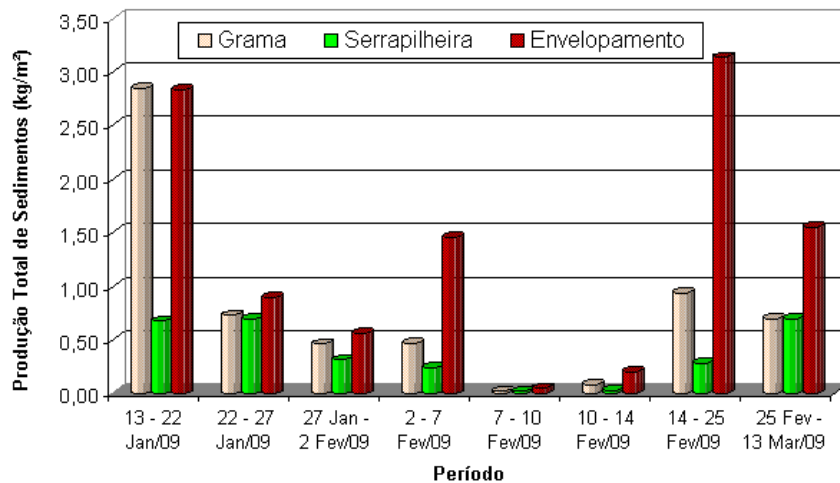


FIGURA 27 - Produção de Sedimentos em kg/m² para os tratamentos analisados no talude 1: Grama, Serrapilheira e Envelopamento.

Foi realizada uma comparação da produção de sedimentos entre os métodos D (envelopamento – condição compactada) e E (superfície de controle – condição natural), visto que os resultados poderiam ser interessantes para o estudo, uma vez que o solo utilizado nestas coberturas é o mesmo, entretanto empregado em condições diferentes.

Tabela 9 – Produção Total de Sedimentos em kg/m^2 .

Período	Altura de chuva (mm)	Superfície de controle (Condição Natural) kg/m^2	Envelopamento (Condição Compactada) kg/m^2
13 - 22 Jan/09	127	2,59	2,83
22 - 27 Jan/09	60	0,25	0,90
27 Jan - 2 Fev/09	87,5	0,16	0,56
2 - 7 Fev/09	52	0,12	1,46
7 - 10 Fev/09	12,5	0,17	0,05
10 - 14 Fev/09	55	0,09	0,20
14 - 25 Fev/09	130	0,62	3,13
25 Fev-13 Mar/09	127	0,43	1,55
Total	651,0	4,44	10,67

Analisando a Tabela 9, pôde-se observar que o método D (envelopamento) e E (superfície de controle) comportaram-se de forma bastante diferentes, apesar de serem constituídos do mesmo solo. Isto pode ter ocorrido em razão da alteração na estrutura original do solo, pois como já foi mencionado por Bognola et al.(1999), esta propriedade do solo influencia sua resistência à dispersão, seu deslocamento por salpico e a abrasão. Além disso, um outro fator que contribuiu para o aumento da produção de sedimentos no método D foi o processo de deslocamento do solo de envelopamento.

O gráfico da Figura 28 compara a produção total de sedimentos do tratamento com envelopamento (instalado no talude 1) e da superfície de controle (montado no talude 2) para os respectivos intervalos de leitura.

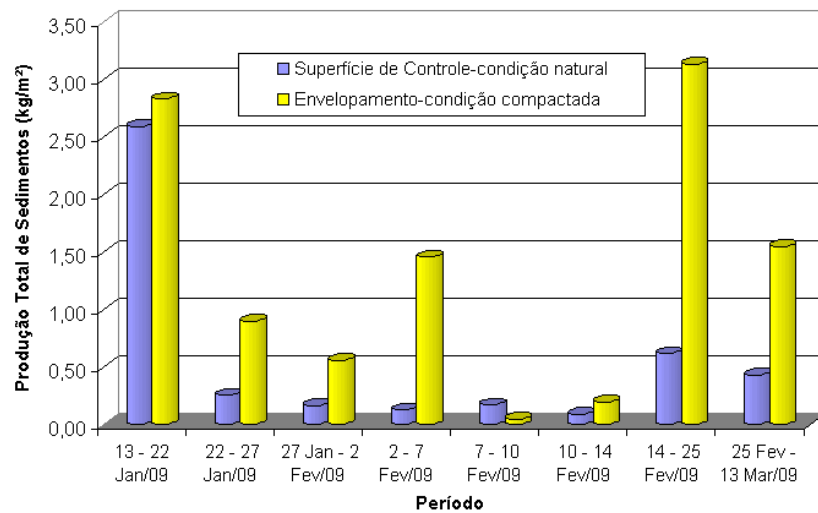


FIGURA 28 Produção de Sedimentos em kg/m^2 para os tratamentos Envelopamento empregados no talude 1 e tratamento superfície de controle empregado no talude 2

5.2.2 Escoamento superficial

As Tabelas 10 e 11 apresentam o volume do escoamento superficial para as coberturas implantadas no talude 1 e 2. Em ambas as tabelas, as duas primeiras colunas referem-se ao período de leitura e ao total de precipitação. As quatro colunas seguintes apresentam os valores de escoamento superficial para cada área da célula.

Tabela 10 - Escoamento Superficial para cada tratamento (mm)

Período	Altura de chuva (mm)	Célula de Referência (mm)	Gramma (mm)	Serrapilheira (mm)	Envelopamento (mm)
13 - 22 Jan/09	127	25,29	41,61	47,05	13,33
22 - 27 Jan/09	60	18,67	32,65	28,91	20,00
27 Jan - 2 Feb/09	87,5	30,73	30,73	27,10	21,66
2 - 7 Feb/09	52	14,67	27,10	18,67	14,67
7 - 10 Feb/09	12,5	0,47	0,52	2,67	0,52
10 - 14 Feb/09	55	10,67	13,33	13,33	8,00
14 - 25 Feb/09	130	44,33	47,96	28,91	34,35
25 Feb-13Mar/09	127	20,00	46,14	26,19	37,07
Total	651,0	164,81	240,03	192,83	149,60

Analisando os dados da Tabela 10, verificou-se que o envelopamento foi o que mais contribuiu para a redução da dinâmica do escoamento superficial. Ainda que este método tenha

apresentado o menor volume de escoamento superficial, dentre os três estudados, foi o tratamento que mais apresentou perda de sedimentos. Isto ocorreu porque durante o período de monitoramento houve destacamento do solo compactado.

Entre as coberturas com grama e serrapilheira, esta última obteve um melhor resultado com relação à redução de escoamento superficial, pois sua trama funcionou como uma barreira ao deslocamento da água de superfície, o que possibilitou o aumento da infiltração.

Foi feita também uma análise comparativa dos volumes de escoamento superficial entre os métodos D (envelopamento – condição compactada) e E (superfície de controle – condição natural).

Tabela 11 – Tabela de Escoamento Superficial em mm

Período	Altura de chuva (mm)	Superfície de controle - (condição natural) (mm)	Envelopamento (condição compactada) (mm)
13 - 22 Jan/09	127	47,05	13,33
22 - 27 Jan/09	60	21,66	20,00
27 Jan - 2 Fev/09	87,5	25,29	21,66
2 - 7 Fev/09	52	13,33	14,67
7 - 10 Fev/09	12,5	6,67	0,52
10 - 14 Fev/09	55	17,33	8,00
14- 25 Fev/09	130	48,86	34,35
25 Fev-13Mar/09	127	49,77	37,07
Total	651,0	229,96	149,60

Analisando a Tabela 11, observou-se que o volume de escoamento superficial registrado para o método envelopamento foi menor que o tratamento superfície de controle, apesar de este ter sido implantado em um talude com inclinação ligeiramente superior.

O menor valor de escoamento superficial para a cobertura envelopamento pode ter ocorrido devido ao processo de fendilhamento do solo de envelopamento, o qual criou uma série de caminhos preferenciais, nos quais se concentrou o fluxo do escoamento superficial, gerando um aumento na largura das fendas. Esse processo permitiu que o volume de água atingisse com maior facilidade o solo base, o qual é mais permeável devido à constituição de seus grãos.

O gráfico da Figura 29 mostra o volume do escoamento superficial para os métodos analisados e empregados no talude 1. O eixo vertical representa o volume escoado sobre cada cobertura em milímetro, enquanto que o eixo horizontal indica o intervalo de tempo em que foram realizadas as leituras durante o período de monitoramento.

O gráfico da Figura 29 apresenta o escoamento superficial dos métodos empregados no talude 1 para cada intervalo de leitura e, o gráfico da Figura 30 compara o volume do escoamento superficial da cobertura envelopamento, empregada no talude 1, com a cobertura superfície de controle empregada no talude 2.

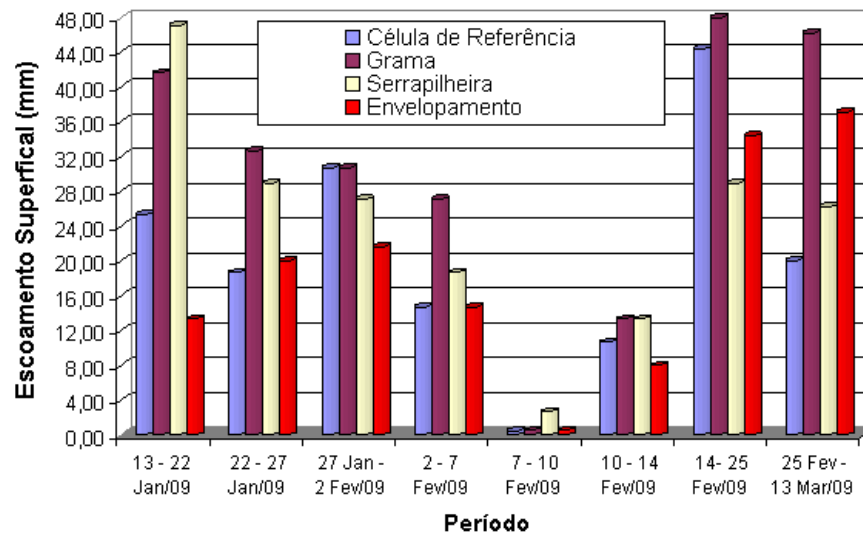


FIGURA 29 - Escoamento Superficial para as coberturas instaladas no talude 1 em mm

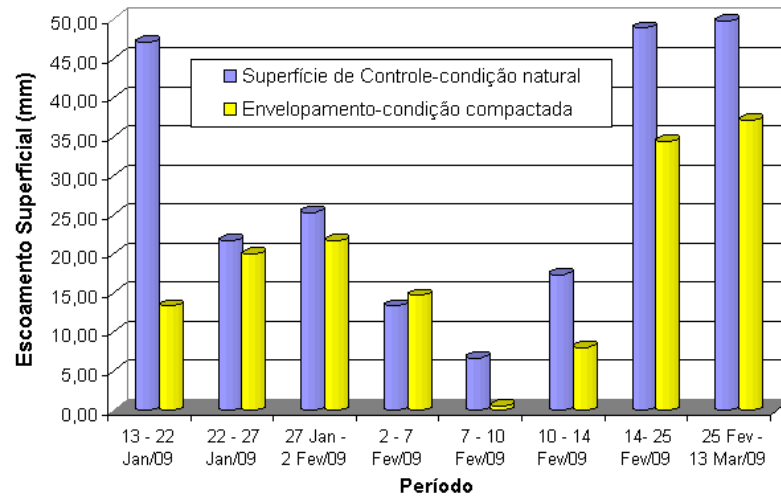


FIGURA 30- Escoamento Superficial em mm para os tratamentos Envolvimento empregados no talude 1 e tratamento superfície de controle empregado no talude 2

5.3 Estimativa de custo para implantação de cada método de proteção

Tendo em vista que para a realização do experimento foram necessárias a utilização de maquinários e a contratação de mão de obra, neste trabalho foi realizada também uma avaliação dos custos para a implantação dos métodos de proteção analisados.

O custo de mão-de-obra para a implantação do método A (Gramma) foi de R\$ 45,00. Foi executado por uma pessoa que gastou um dia e meio de trabalho nas seguintes etapas: a) retirada da grama em campo; b) transporte da grama para o local do experimento; c) preparação das mudas; d) plantio da grama sobre a superfície do talude. Em virtude de ter sido obtida na própria área de experimento, a grama não apresentou custo para sua aquisição, entretanto houve necessidade de transporte por equipamentos da própria fazenda a um custo estimado de R\$ 35,00 por hora.

O método B (serrapilheira) apresentou um custo de mão-de-obra para sua execução de R\$ 30,00. Para sua instalação foi necessário um dia de trabalho de uma pessoa para coletar o material em campo, fazer os feixes de serrapilheira e posteriormente fixá-los a superfície do talude com piquetes do próprio eucalipto. Este tratamento não apresentou custo de maquinário, visto que este material existe por toda a área de florestas plantadas.

No método C (envelopamento), houve a escavação e transporte do solo por equipamentos da própria fazenda com um custo estimado de R\$ 35,00 a hora do caminhão e R\$70,00 a hora da máquina escavadeira. Para o preparo do solo e lançamento na célula, uma equipe de duas pessoas executou o trabalho em um dia. O valor de mão-de-obra para a implantação deste tratamento foi de R\$ 60,00.

Para os tratamentos descritos acima, não foi considerada na composição do custo total a compra de todo o material utilizado nas montagens das células (tábua de madeira, calhas, tubulação e outros), visto que se tais tratamentos fossem aplicados, estes materiais não seriam necessários.

Por intermédio dos dados apresentados na Tabela 12, pode-se determinar o custo de mão-de-obra e do maquinário necessário para a execução de cada um dos métodos em estudo.

Tabela 12 - Custo dos métodos analisados

Método	Custo de mão-de-obra (R\$/m ²)	Custo de transporte e maquinário (R\$/h)
Gramma (A)	7,50	35,50*
Serrapilheira (B)	5,00	-----
Envelopamento (C)	10,00	105,00**

* Custo de um caminhão para transportar grama até o local de sua aplicação.

** Custo de uma escavadeira e de um caminhão para transportar o solo de envelopamento até o local de sua aplicação.

Observa-se que o método de proteção utilizando a serrapilheira apresentou o menor custo de implantação em relação às outras duas coberturas estudadas. Para as regiões onde não existem florestas plantadas de eucalipto, é possível utilizar soluções alternativas como capim barba-de-bode, capim vassoura, entre outros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

No Brasil, 90% da malha viária é constituída de estradas não-pavimentadas, tornando-se o principal meio de escoamento da produção agrícola e permitindo às comunidades rurais o acesso à saúde, a educação e a outras necessidades para sua subsistência. Visto a sua grande extensão e importância para o desenvolvimento econômico e social devem ser conservadas.

A aplicação de sistemas de coberturas de taludes de baixo custo, de fácil execução e eficiente, permite que os próprios produtores rurais possam fazer sua implantação e manutenção. Desta maneira, problemas de interrupção de tráfego, principalmente nos períodos de chuva, podem ser evitados.

Este trabalho apresentou a avaliação de diferentes métodos de tratamento de superfície de taludes de estradas. A seguir, algumas considerações baseadas nos dados e resultados obtidos nesta pesquisa:

a) Dentre os tratamentos analisados, a Serrapilheira foi a cobertura que apresentou o menor custo e maior facilidade de implantação, como também o melhor desempenho no que se refere ao controle da produção de sedimentos com uma redução de perda de solo de 90%, se comparado com a célula de referência (método D). Entretanto, a sua desvantagem é que o material de que é constituído é muito suscetível à combustão, assim existe o risco de vandalismo e conseqüentemente a perda de proteção do talude;

b) A grama foi o segundo melhor tratamento analisado, apresentando um percentual de 80% de redução na produção de sedimentos. Ao longo do período de monitoramento este tipo de cobertura obteve uma evolução em sua capacidade de estabilização, pois à medida que o tempo foi passando houve um melhor enraizamento, aumentando assim a sua eficiência no controle da erosão. Além disso, depois da Serrapilheira, é o tratamento que se mostrou mais viável economicamente para sua implantação. A sua desvantagem foi que não apresentou alteração significativa com relação à evolução da taxa de cobertura durante a realização do experimento;

c) A cobertura por envelopamento foi classificada como uma proteção instável, pois apresentou destacamento de placas durante o período de monitoramento, fato que foi determinante para sua rápida deteriorização. Dentre os tratamentos analisados foi o que mais produziu sedimentos. Para

o período de monitoramento, este tratamento apresentou uma redução na produção de sedimento de 65%. Em virtude da inclinação acentuada do talude, esse tipo de cobertura obteve maior grau de dificuldade para instalação e um custo de implantação mais elevado com relação aos demais tratamentos empregados, uma vez que necessitou de maquinário e de uma equipe maior para a sua execução.

Os resultados obtidos demonstram que as coberturas obtidas em florestas plantadas de eucalipto podem ser eficientes no controle da erosão de talude de estradas rurais. Para este estudo, destaca-se o emprego da serrapilheira como um elemento para proteção de taludes contra erosão, visto seu baixo custo de implantação comparado aos demais métodos que utilizam materiais específicos e mão-de-obra especializada para a sua aplicação.

6.1 Recomendações para pesquisas futuras

Neste trabalho, algumas propostas que utilizaram materiais extraídos de florestas plantadas de eucalipto demonstraram-se ser viável como um mecanismo de controle de erosão em taludes de estradas não-pavimentadas, tais como a grama, a serrapilheira e o envelopamento.

Com o objetivo de possibilitar maior eficiência para alguns dos métodos empregados, serão feitas algumas recomendações:

- Método: serrapilheira

Uma recomendação para a utilização deste método, é que seja empregado conjuntamente sementes de gramíneas e leguminosas, aproveitando a grande capacidade desta cobertura em manter úmido o solo de base, o que propicia a germinação. Para isto há a necessidade de se utilizar uma menor taxa de cobertura para que seja possível o desenvolvimento da vegetação. A finalidade deste procedimento é que mesmo após a degradação da serrapilheira a área permaneça protegida.

- Método: envelopamento

Uma recomendação para o emprego desse tipo de tratamento seria a preparação de um sistema de ranhuras tanto no sentido horizontal como no vertical, para que este possa proporcionar a massa de solo envelopado maior adesão à superfície do talude, minimizando-se desta forma o deslocamento. Uma outra sugestão seria subdividir a área de aplicação do tratamento por meio da cravação de pequenas estacas de eucalipto, de forma que permaneçam definitivamente no local para conferir maior sustentação a massa de solo envelopado.

Finalmente, recomenda-se o processo de retaludamento em locais onde existem áreas laterais que podem ser escavadas. Este processo consiste na suavização da inclinação do talude a fim de mitigar os efeitos dos processos erosivos, uma vez que a diminuição da sua inclinação reduzirá a energia do escoamento superficial e conseqüentemente a sua capacidade erosiva. O retaludamento pode ser empregado conjuntamente a qualquer tipo de proteção para o controle de erosão em taludes, entretanto, possui duas desvantagens econômicas: a redução da área de plantio e a maior movimentação de terra.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R.C. **Estudo da erodibilidade de um solo da formação barreiras**. 2000. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm determinação de massa específicas – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: solo – determinação do limite de liquidez – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: solo – determinação do limite de plasticidade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: solo – análise granulométrica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5.ed. São Paulo: Ícone. 2005. 355p.

BOGNOLA, I. A. et al. **Erodibilidade potencial dos solos do município de Jaguariúna, SP, com auxílio de geoprocessamento**. Campinas: Embrapa, 1999. 6 p. Comunicado Técnico.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de conservação rodoviária**. Rio de Janeiro, 2005. 568 p. (Publicação IPR- 710).

BURROUGHS, E.R.; KING, J.G. **Reduction of soil erosion on forest roads**. Washington: United States Department of Agriculture, n. 264, p 1-22, jul. 1989. Technical Report.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. 234p.

CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F. D. Estruturas da Bacia do Taubaté na região de São José dos Campos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1978, Ouro Preto. **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 1978. v. 4, p. 247-256.

CARVALHO, J. C. et al. (Orgs). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Finatec, 2006. 464 p.

CARVALHO, P.A.S. (Coord.). **Manual de Geotecnia: taludes de rodovias, orientações para diagnóstico e soluções dos seus problemas**. São Paulo:IPT, 1991. 338p. (Publicação IPT,n. 1843).

COELHO, A. T. Nova tecnologia para controle de erosão. **Folha Florestal**, n.90, p.10-12, 1998. apud SOUZA, C. R. **Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais**. 2000. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura , Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CORREA, C. M. C. **Perdas do solo e qualidade da água procedentes de estrada de uso florestal no planalto catarinense**. 2005. 155f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DADALTO, G. G.; CARMO FILHO, O. G.; CASTRO, L. L. F. **Captação de águas pluviais das estradas vicinais**. Vitória: EMCAPA, 1990. 22p. (EMCAPA Documentos, 63).

DEFLOR. **A bioengenharia de solos na proteção e recuperação ambiental**. Belo Horizonte, 2005. 47 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Anuário estatístico dos transportes: GEIPOT**. 2000. Disponível em < <http://www.geipot.gov.br/anuario2001/rodoviario/rodo.htm>>. Acesso em 10 abr. 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 256**: solos compactados em equipamentos miniatura – determinação da perda de massa por imersão. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 258**: solos compactados em equipamentos miniatura – Mini-MCV. 1994.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS - FAO. **Grassland Species**. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/DATA/pf000180.htm>>. Acesso em: 27 nov. 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – FAO. **Watershed Management field manual**: Road design and construction in sensitive watersheds. Roma: FAO, 1989. 218p. apud SOUZA, C. R. **Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais**. 2000. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

FREIRE, P. A. C. **Estudo da pluviosidade na bacia do ribeirão Taboão – SP**. 2005. 42 p. Relatório de estágio – VCP/Florestal.

GUERRA, A.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**: conceito, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 339p.

HASUI, Y.; SADOWSKI, G. Evolução geológica do precambriano na região sudeste de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 6, p. 187-200, 1976.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 1 Mapa. Escala 1:1.000.000

LAL, R. et al. **Soil erosion research methods**. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1994. 340p.

LORENZI, H., SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais no Brasil**. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2001. 1120p.

MARSON, M. **Análise crítica da classificação MCT para solos tropicais**. 2004. 184f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004.

MASSAD, F. **Obras de Terra**: curso básico de geotecnia. São Paulo: Oficina de Textos. 2003.184p.

MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; CARVALHO, D.F.; VALCACEL,R.; CEDDIA,M. B. Estimativas de índices de erosividade obtidos a partir de dados pluviométricos para o Estado do Rio de Janeiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15. 2004, Santa Maria. **Resumo expandido...** Santa Maria; UFSM, 2004.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Editora UFV. 2006. 238p.

RAMSAY, J. Shear zone geometry: a review. **Journal of Structural Geology**, Mainz, v. 2, n. 1-2, p. 83-99, 1980.

RODRIGUEZ, A.L.V.; MILANEZI, B.P. **Mapeamento lito-estrutural da fazenda santa Edwirges, escala 1:10.000**. 2005. 36p. Relatório Final de Iniciação Científica. Bolsa VCP-Votorantim.

SANTOS, C. M. Z.; BERNARDES, G. P.; SIMÕES, S. J. C.; AUTOMORE, G. B. B. Proposta Metodológica para a caracterização de áreas com potencial de erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE SOLOS TROPICAIS E PROCESSOS EROSIVOS NO CENTRO-OESTE, 3., 2007, Cuiabá. **Anais... Cuiabá**: CEFET-MT, 2007. 1 CDROM

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1207-1220, jun. 2000

SOUZA, C. R. **Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais**. 2000. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

VOLK, G.M. Method of determination of degree of dispersion the clay fraction of soils. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMÉRICA, 1937. **Proceeding...** apud ARAÚJO, R.C. **Estudo da erodibilidade de um solo da formação barreiras**. 2000. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2000.

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