

**LUANA MARIA DOS SANTOS**

**Erosão em taludes de corte - métodos de proteção e estabilização**

**Luana Maria dos Santos**

**Erosão em taludes de corte – métodos de proteção e estabilização**

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

Orientador (a): Prof. Dr. George de Paula Bernardes

S237e

Santos, Luana Maria dos

Erosão em taludes de corte: métodos de proteção e estabilização /  
Luana Maria dos Santos – Guaratinguetá : [s.n], 2014.

73 f. : il.

Bibliografia : f. 65-73

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual  
Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

Orientador: Prof. Dr. George de Paula Bernardes


1. Erosão 2. Solos – Conservação I. Título

CDU 624.131.6


**Luana Maria dos Santos**

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

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

  
Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGEURIA DA SILVA  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. GEORGE DE PAULA BERNARDES  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. PAULO VALLADARES SOARES  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. MATEUS RICARDO NOGUEIRA VILANOVA  
UNESP-FEG

**Fevereiro de 2015**

## AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus pela minha vida e pela minha família, que é, sem sombra de dúvidas, minha base.

Quero agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. George, pelo apoio e trabalho conjunto desenvolvido durante o último ano de graduação.

Agradeço às minhas irmãs, Suzana e Yasmin, que sempre me incentivaram e souberam me distrair nas horas oportunas e inoportunas.

De maneira especial, quero lembrar todas as amigades que tive o prazer de formar:

Aos amigos que estiveram presentes bem antes da graduação e que contribuíram para que eu chegasse até ela; as amigas da república, que fizeram das diferenças, o nosso maior crescimento; e aos amigos que se formaram durante este tempo e que se tornaram fonte de apoio e inspiração.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte e passaram por minha vida durante este período: “Muito obrigada!”.

SANTOS, L. M. **Erosão em taludes de corte: métodos de proteção e estabilização.** 2015. 73 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

## **RESUMO**

Este trabalho aborda o processo erosivo causado pela chuva, descrevendo suas etapas e fatores que mais influenciam na intensidade e volume de material transportado. Traz também a equação Universal de Perdas de Solo, que reúne a influência dos diferentes fatores que interferem na erosão na tentativa de se quantificar a erosão. A seguir observa-se a ocorrência desse processo em taludes de corte, que sofrem com a remoção da cobertura vegetal e da camada superficial de solo, tornando-se ainda mais suscetíveis a tal processo. Desta maneira evidencia-se a necessidade de prever um modelo de proteção, são apresentados então, com maior ênfase, diversos métodos de proteção de taludes contra erosão, destacando suas principais características, vantagens e desvantagens, além do processo de execução das soluções, com destaque para o levantamento do custo aproximado de cada método e suas restrições de aplicação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão pluvial. Equação de perdas de solo. Métodos de proteção contra erosão.

**SANTOS, L. M. Erosion in cutting slopes: protection and stabilization methods.**  
2015. 73 f. Graduate Work (Graduate in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia  
do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

### **ABSTRACT**

This work addresses the erosion caused by rain, describing their steps and factors that most influence the intensity and volume of transported material. The work presents the Universal Soil Loss Equation that quantifies the erosion, with the influence of different factors that affect it. The following notes the occurrence of this process in cutting slopes. They suffer with removal of the vegetation and surface soil layer, making them even more susceptible to this process. In this way it's necessary a protection model for the slopes. Some protection methods are presents with their main features, advantages and disadvantages, implementation process, especially to survey the approximate cost of each method and their application restrictions.

**KEYWORDS:** Rain erosion. Soil loss equation. Methods of protection against erosion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil de um solo bem desenvolvido.....	13
Figura 2: Erosão por salpicamento: desagregação e transporte de partículas. ....	16
Figura 3: Formação de sulcos e voçorocas.....	18
Figura 4: Ensaio de Inderbitzen.....	24
Figura 5: 4A: conjunto de peneiras para obtenção da curva granulométrica conforme NBR 7181(1984). 4B: aparelho para ensaio de compressão simples.....	26
Figura 6: Isoerodentes do estado de São Paulo em MJ/ha/(mm/h). ....	31
Figura 7: Execução de concreto projetado sobre a superfície de um talude.....	36
Figura 8: Concreto projetado via seca. ....	38
Figura 9: Geomantas com 90% de vazios. ....	43
Figura 10: À esquerda, talude revestido com geomanta. À direita, o mesmo maciço com a vegetação já desenvolvida. ....	44
Figura 11: Ancoragem da geomanta, conforme recomendação de fabricantes. ....	45
Figura 12: Posicionamento da geomanta, transpasses e ancoragem, conforme recomendação de fabricantes.....	46
Figura 13: Biomantas de fibras vegetais. Grande parte é fornecida na forma de bobinas .....	48
Figura 14: Aplicação de biomantas. É possível observar o posicionamento das biomantas e o crescimento da vegetação em alguns trechos.....	49
Figura 15: Ancoragem da biomanta no topo do talude, conforme indicação dos fabricantes.....	51
Figura 16: Instalação da manta vegetal, com posicionamento no sentido de declive do talude (1), transpasses laterais (2) e longitudinais (3) e ancoragem (4). ....	51
Figura 17: Execução da hidrossemeadura: lançamento por hidrojateamento à altas pressões.....	53
Figura 18: Hidrossemeadura em taludes de corte.....	56
Figura 19: Bermalongas de fibras vegetais. ....	58
Figura 20: Abertura de nichos e fixação com piquetes de madeira.....	59
Figura 21: Paliçada madeira roliça. ....	60
Figura 22: Solo compactado diretamente sobre o talude, de forma manual.....	61
Figura 23: Solo envelopado com uso de biomanta e estacas verdes entre uma camada e outra de solo compactado. ....	62



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Tipos de recobrimento do solo e respectivos valores do fator C para áreas impactadas e degradadas. ....	33
Tabela 2: Valores para o fator C conforme diferentes tipos de recobrimento.....	34
Tabela 3: Fator P de práticas conservacionistas de acordo com a inclinação. ....	35
Tabela 4: fatores ligação à projeção via seca e via úmida.....	38
Tabela 5: Espécies para consórcio na hidrossemeadura, conforme indicações na Manual de Vegetação rodoviário do DNIT. ....	54
Tabela 6: custo estimado para cada método de proteção.....	64

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	10
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	11
3.1.	O SOLO.....	11
3.2.	O PROCESSO EROSIVO.....	13
3.3.	AGENTES EROSIVOS .....	14
3.4.	EROSÃO PLUVIAL E SUAS ETAPAS .....	15
<b>3.4.1.</b>	<b>Ruptura dos agregados</b> .....	15
<b>3.4.2.</b>	<b>Formação de crostas e selagem do solo</b> .....	16
<b>3.4.3.</b>	<b>Infiltração e formação de poças</b> .....	17
<b>3.4.4.</b>	<b>Escoamento superficial e formação de ravinas</b> .....	17
<b>3.4.5.</b>	<b>Formação de voçorocas</b> .....	18
3.5.	FATORES QUE INFLUENCIAM A EROSÃO.....	19
<b>3.5.1.</b>	<b>Chuva e erosividade</b> .....	19
<b>3.5.2.</b>	<b>Erodibilidade do solo</b> .....	22
<b>3.5.3.</b>	<b>Declividade e comprimento de declive</b> .....	27
<b>3.5.4.</b>	<b>Cobertura Vegetal</b> .....	29
3.6.	EQUAÇÃO DE PERDAS DO SOLO.....	29
3.7.	TALUDES DE CORTE .....	35
<b>4</b>	<b>MÉTODOS DE PROTEÇÃO E ESTABILIDADE</b> .....	36
4.1.	CONCRETO PROJETADO.....	36
4.2.	GEOMANTAS .....	42
4.3.	BIOMANTAS .....	47
4.4.	HIDROSSEMEADURA .....	52
4.5.	BARREIRAS CONTRA FLUXO .....	57
4.6.	ENVELOPAMENTO.....	60
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	63
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

A erosão é um dos processos capazes de alterar significativamente a paisagem, destaca-se principalmente por sua característica de desprendimento e transporte de material. Tal processo pode ser de ordem natural ou ter seus efeitos intensificados pela ação antrópica, sendo um fenômeno observado tanto em áreas rurais quanto urbanas. Está diretamente relacionado às propriedades do solo, características da chuva, existência e tipo de cobertura vegetal do solo, práticas de uso e manejo do solo e características físicas do maciço (comprimento de rampa e declividade). A erosão constitui um sério problema que assola principalmente os países tropicais, por estarem presentes nestes locais a combinação de maus usos do solo e um alto índice pluviométrico. O homem ao produzir taludes de corte em virtude da implantação de obras (execução de rodovias, implantação de platôs para prédios, entre outros) interfere de maneira direta nos fatores causadores da erosão potencializando e expondo o maciço às intempéries, principalmente à chuva.

Com a execução de cortes no solo, há remoção da cobertura vegetal, que desempenha uma função primordial na proteção do solo contra erosão, reduzindo o impacto das gotas da chuva e oferecendo resistência ao escoamento superficial. Há ainda a alteração dos comprimentos de rampa e inclinação do maciço, que podem se tornar, após a execução do corte, mais suscetíveis à erosão que em seu estado natural ou anterior. Por fim, com a remoção de material, a camada superficial de solo pode ser totalmente ou parcialmente removida e expor à ação da chuva uma camada de solo menos resistente à erosão.

Dessa maneira é imprescindível, nesses tipos de obra, prever um método de proteção para o talude a fim de minimizar as possibilidades de erosão. Aliados aos métodos de proteção devem ser executados também sistemas de drenagem, complementando a escolha anterior. Com o correto direcionamento e captação da água pelo sistema drenagem e o maciço estabilizado pela proteção escolhida, os efeitos da erosão são atenuados. Portanto, é necessário conhecer os métodos de proteção contra erosão para selecionar a melhor opção e garantir o sucesso da proteção.

## **2 OBJETIVOS**

O trabalho objetivou a realização de um levantamento de informações sobre diferentes métodos de proteção contra erosão para taludes de corte, de forma a esclarecer alguns aspectos de tais modelos de proteção e contribuir na escolha da solução mais adequada para cada caso.

As informações desejadas para cada modelo de proteção englobam, principalmente, a composição de cada tipo de solução, metodologia de proteção, procedimentos executivos para instalação e execução das proteções, vantagens e desvantagens. Com ênfase para a obtenção dos custos médios para cada solução e suas restrições para aplicação, que compõe dois aspectos decisivos no momento da escolha.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. O SOLO

De acordo com cada profissional ou área de atuação o solo pode receber diferentes conotações. Para o agrônomo, o solo dá sustento às plantas, e é tido como a camada superficial possuidora de vida microbiana, para o arqueólogo é onde se encontram os vestígios de antigas civilizações. Já para o pedólogo, profissional que estuda a formação dos solos, representa a camada que recobre a superfície terrestre e esta em constante mudança.

Ainda pensando no solo, numa definição mais próxima da pedologia, este é considerado como produto do intemperismo das rochas, modificações sofridas por estas (de caráter físico, químico ou biológico) capazes de modificar suas características, e dos pedogéticos (processos de formação dos solos: transformação, adição, remoção e translocação). O intemperismo físico diz respeito às alterações de tamanho e formato das rochas, sua ação pode ser visualizada na ocorrência de congelamento de água nas fendas das rochas, por expansão térmica ou por alívio de carga. Para o caso de modificações químicas (intemperismo químico), a água é o principal fator, mesmo não constituindo em sua essência como substância reativa, quando associada às substâncias reativas e ao oxigênio do ar, proporciona o ambiente perfeito para as reações químicas. O intemperismo biológico está atrelado à ação de microorganismos (bactérias e decomposição de organismos).

O solo é constituído por componentes minerais e orgânicos, conta com a presença de diferentes horizontes, com profundidades variadas, diferentes morfologias, constituição física, propriedades químicas e características biológicas próprias.

É formado também por horizontes que são camadas de solo de aspecto e constituição diferentes. O conjunto de horizontes é chamado de perfil do solo. Os principais horizontes identificados são denominados por A, H, B, E, C, F e R.

O horizonte O é constituído, principalmente, por matéria orgânica. É a camada mais superficial de solo, ocorre em áreas de florestas e com boa drenagem. É facilmente diferenciada pela coloração escura e pelo alto teor de matéria orgânica.

O horizonte H também possui alto teor de matéria orgânica, proveniente da decomposição de resíduos. É caracterizado, porém, por ocorrer em áreas de solo mal drenado, onde há o acúmulo de água permanente ou por longos períodos de tempo, é comum em regiões de várzeas e banhados de rios (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

A camada seguinte, conhecida por horizonte A – logo abaixo do horizonte O, quando este se faz presente – possui coloração escura e teor de matéria orgânica superior aos valores das camadas inferiores, além de concentrar grande atividade biológica. O horizonte A possui suas variações conforme o ambiente de formação.

O Horizonte E é formado pelos processos de perda (eluviação) de argila e compostos de ferro e alumínio, apresenta coloração clara.

A seguir, é comum a presença do horizonte B, camada mineral, com menor quantidade de matéria orgânica e acúmulo de ferro e argilo minerais. Apresenta também concentração de minerais resistentes na forma de pequenas partículas, como o quartzo (areia e silte).

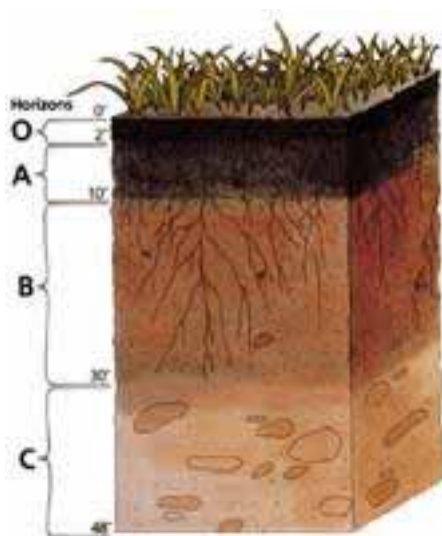
O horizonte C, composto por material mineral não consolidado, encontra-se pouco afetado pelos processos pedogenéticos e com grandes características morfológicas herdadas da rocha matriz. Por fim, o horizonte R representa a camada mineral de material consolidado, que constitui substrato rochoso contínuo ou praticamente contínuo (rocha inalterada).

Há ainda o horizonte F, caracterizado pelos altos teores de ferro e/ou alumínio e pelo baixo nível de matéria orgânica. Pode ser encontrado sob o horizonte A, E ou B e é conhecido também pelo nome de Canga (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

A descrição morfológica constitui a base fundamental para a identificação dos solos, sua proposta inclui o levantamento de informações a cerca das características do solo (cor, textura, consistência e permeabilidade).

A cor é um dos atributos mais fortemente notados, devido à sua fácil visualização. É utilizada na diferenciação de um horizonte e outro (delimitação destes), bem como no indicativo de importantes características. Solos escuros geralmente possuem grande quantidade de matéria orgânica, já solos vermelhos apresentam alta concentração de óxidos de ferro (“Terra roxa”) (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

Figura 1: Perfil de um solo bem desenvolvido.



FONTE: SANTOS, 2011.

A textura diz respeito à proporção de areia, silte e argila (diferenciadas pelo tamanho de suas partículas). A quantificação destas partículas pode ser obtida em campo (de uma forma mais geral) ou por ensaios em laboratório, como o ensaio de obtenção da curva granulométrica por peneiramento, conforme descrito na NBR 7181(1984).

A consistência é o atributo do solo que relaciona as forças de coesão e adesão aos mais variados estados de umidade. As forças de coesão englobam as forças entre as partículas sólidas e as forças de adesão, por sua vez, as ligações entre partículas sólidas e líquidas.

A permeabilidade do solo remete à maior ou menor facilidade da água em escoar pela camada de solo, é uma propriedade bastante significativa e varia de solo para solo, ou mesmo dentro de um próprio perfil conforme as características de cada camada.

### 3.2. O PROCESSO EROSIVO

O termo paisagem é empregado para definir tudo àquilo que está ao redor do usuário e pode ser descrito pelos seus sentidos (audição, visão, tato, paladar e olfato).

Pode ser composta apenas de elementos naturais (vegetação, relevo, clima), ou pela interação destes com aspectos provenientes da ação antrópica.

A paisagem não é estática, muito pelo contrário, é constantemente alterada, seja por influência humana, em virtude de sua ocupação ou entrada em determinado ambiente, ou mesmo por processos naturais, tal como terremotos, intempéries, furacões. É nesse âmbito que se encontra a erosão, processo que modifica a paisagem, e é marcado, principalmente, pela sua característica de transporte das partículas do solo.

A erosão pode ser causada por diferentes agentes, sendo mais comuns as que estão relacionadas à ação do vento e da água da chuva. Apesar de trata-se de um processo natural, sua ocorrência pode ser intensificada e acelerada pela ação antrópica.

De forma geral, a erosão é entendida como o processo de desprendimento, transporte e deposição das partículas do solo, causado pelos agentes erosivos. Ela ocorre quando o potencial de transporte do agente erosivo é superior ao limite de agregação das partículas de solo, separando-as umas das outras e permitindo seu transporte (RODRIGUES; CRUZ; PINESE, 2008). A erosão eólica consiste no transporte aéreo ou por rolamento de partículas erodidas, é proveniente de regiões que exibem ventos de grandes velocidades. Já a erosão hídrica apresenta-se como a de maior ocorrência e maior distribuição espacial na superfície terrestre. (HASSET E BANWART apud GUERRA et al, 2012), tornando-se crítica em áreas de clima tropical, que estão sujeitas a altos índices de chuvas em curtos períodos de tempo.

### 3.3. AGENTES EROSIVOS

A erosão pode estar ligada à ação de diferentes agentes: vento, gravidade, gelo, água. Sendo que a ocorrência desta última pode se dar por meio dos rios, mares, lagos e chuva. A erosão fluvial é caracterizada pelo desgaste do solo na margem do rio em função do movimento da água, causando a remoção, transporte e deposição de material. De maneira semelhante, a interação da água em lagos, contribui para a formação e progresso da erosão lacustre, no contato da água com o talude das margens.



No caso de erosão marinha, comum no litoral, o desgaste do solo é gerado pela atuação de forças mecânicas e/ou químicas, em virtude das características da água do mar, de sua relação com o ambiente e o movimento repetitivo das ondas do mar. Por fim, a erosão pluvial destaca-se pela desagregação do material por intermédio da energia do impacto das gotas de chuva ou pela força cisalhante do escoamento superficial.

A erosão pluvial está ligada a diversos fatores que vão desde as características da chuva (intensidade, duração e tempo de recorrência), passam pelas condições físicas (declividade da superfície sujeita ao processo erosivo) e chegam até as particularidades do solo (composição e suscetibilidade à erosão). Cada um desses fatores influencia de forma diferente e interligada no desenvolvimento e progresso da erosão.

### 3.4. EROSÃO PLUVIAL E SUAS ETAPAS

A erosão pela ação da água da chuva é umas das formas mais comuns de degradação do solo e atinge praticamente toda a superfície terrestre. Torna-se mais grave em regiões tropicais, onde o alto índice pluviométrico aliado ao uso inadequado do solo contribui para intensificar o processo.

A erosão pluvial tem início com o desprendimento das partículas de solo, seguido pelo transporte de material que se dá pela enxurrada propriamente dita ou pelo processo de salpicamento, fruto também do impacto das gotas de chuva. Quando o volume de material no escoamento superficial supera seu poder de transporte, verifica-se o processo de deposição das partículas erodidas.

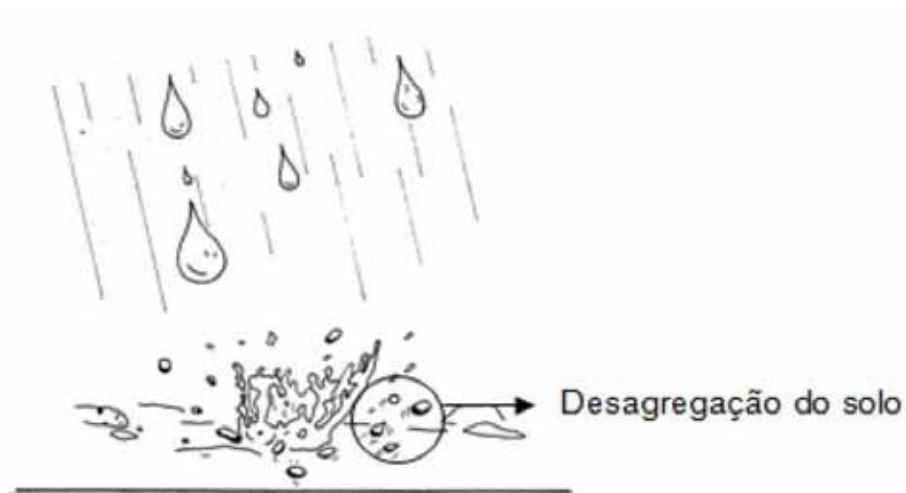
#### **3.4.1. Ruptura dos agregados**

Com o início das chuvas, as gotas de água logo chegam à superfície terrestre com energia suficiente para desprender os agregados. É a fase inicial da erosão, as partículas de solo são desagregadas ou fragmentadas em partes menores, de forma que possam ser transportadas (GUERRA et al, 1999). Com o impacto das gotas de chuvas certas

partículas são também projetadas, ocasionando dessa maneira um fenômeno de transporte do solo, conhecido como *plash* ou erosão por salpicamento.

A cobertura vegetal tem grande influência nessa fase inicial, capaz de interceptar e amortecer o impacto da chuva, reduzir o volume de água que chega à superfície e alterar o tamanho das gotas de água, modificando sua energia cinética e potencial. Além da vegetação, tal processo está intimamente ligado à energia cinética da chuva e à resistência do solo em sofrer a desagregação.

Figura 2: Erosão por salpicamento: desagregação e transporte de partículas.



FONTE: IPT, 1999 apud FERNANDES, 2009.

### 3.4.2. Formação de crostas e selagem do solo

O volume de chuva que cai sobre uma superfície é subdividido numa parcela capaz de infiltrar, de acordo com condições e características do solo, e outra que escoar pela superfície. Com o desprendimento e fragmentação das partículas de solo, acontece a formação de crostas, bem como o preenchimento dos poros existentes na camada de solo e por consequência, a selagem da camada superficial de solo (GUERRA et al, 1999). Dessa maneira, há redução no potencial de infiltração de água e aumento no escoamento superficial, causador da erosão. A selagem também pode ser atribuída ao poder compactador das gotas da chuva que chegam camada de solo.

### **3.4.3. Infiltração e formação de poças**

O potencial de infiltração da água varia muito conforme o tipo de solo, a declividade da superfície, o tempo entre uma precipitação e outra. Ele pode se alterar também durante a precipitação, em função do volume de água já infiltrado, ou seja, do grau de saturação do solo. Aqui também se faz importante o fator cobertura vegetal, que contribui para aumentar a taxa de infiltração.

Quando a água encontra resistência para sua penetração nas camadas de solo (seja pela saturação do solo ou por sua selagem) vai se acumulando na superfície deste e formando poças (GUERRA et al, 1999).

### **3.4.4. escoamento superficial e formação de ravinas**

Assim que as poças não suportem mais o volume de água, dá-se início a um escoamento difuso, o volume de água ainda não tem forças cisalhantes suficientes para remover material. Entretanto, com o aumento do fluxo de água e a presença de forças cisalhantes efetivas, observam-se os primeiros sinais de erosão a uma distância crítica do topo da encosta (GUERRA, 1999). Neste ponto verifica-se o primeiro estágio do processo erosivo: a erosão em lençol ou laminar, se percebida nesta fase são grandes as chances de recuperação da área.

A seguir, no segundo estágio, o escoamento laminar dá espaço à formação de canais de fluxo lineares. À medida que o fluxo de água se concentra nestes canais há um acréscimo da profundidade destes e uma redução na velocidade do escoamento, em razão do aumento na rugosidade da superfície de escoamento.

Ao terceiro estágio, observa-se a formação de micro ravinas: há um acréscimo na turbulência do fluxo, e é possível perceber a existência de ondulações e rugosidades no fundo dos canais. Logo que o fluxo turbulento encontra tais ondulações, nota-se a constituição de turbulências bem localizadas que intensificam o processo erosivo. Com

a remoção de material, começam a surgir cabeceiras nas ravinas e poças a jusante (GUERRA et al, 1999).

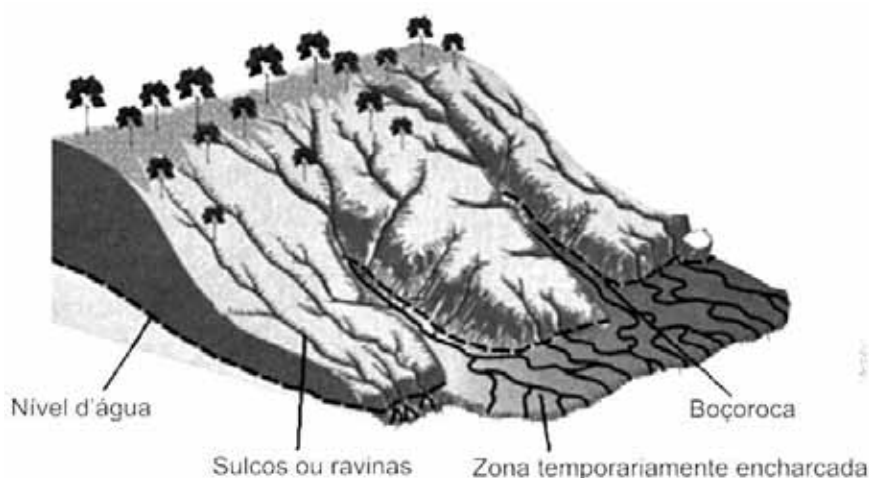
Ainda com o transporte de partículas, principalmente próximas à cabeceira, ocorre o processo de distanciamento desta (a remoção de material gera o distanciamento da cabeceira de seu ponto inicial de formação, ou seja, há um recuo destas em direção aos pontos mais altos da encosta). A aproximação das cabeceiras frente ao topo da encosta contribui para a ampliação da profundidade e largura do canal, permitindo que este transporte cada vez mais material.

### 3.4.5. Formação de voçorocas

A voçoroca constitui-se o estágio mais avançado da erosão. Ocorre devido ao fluxo de água e desprendimento constante de material, por longos períodos de tempo num mesmo canal.

A remoção de partículas e o volume de enxurradas são tais que geram canais de grandes proporções. As cabeceiras sofrem remoção de material devido à grande concentração de água, e ao longo do canal é possível observar o desabamento das paredes do canal em função do fluxo de água (GUERRA et al, 1999).

Figura 3: Formação de sulcos e voçorocas.



### 3.5. FATORES QUE INFLUENCIAM A EROSÃO

A erosão acontece devido à interação de diversos fatores, que influenciam e contribuem de maneira diferente neste processo. Esses fatores estão ligados às características da chuva incidente (frequência, intensidade, tamanho das gotas de chuva), tipologia do solo (capacidade de resistir à erosão) e da área em questão (cobertura vegetal, declividade e comprimento do declive). Cada um deles tem sua parcela, maior ou menor, no processo erosivo.

Estes mesmos fatores são divididos em forças ativas e passivas. As ativas incluem as características da chuva, a declividade e o comprimento de declive. Já a resistência do solo à erosão e a cobertura vegetal formam o grupo de forças passivas.

As gotas da chuva conforme seu tamanho e energia cinética são responsáveis pela ruptura do material e seu transporte por salpicamento (splash). A declividade e o comprimento de rampa interferem na velocidade de escoamento da água (velocidade da enxurrada) e no volume de água infiltrado. O solo, de acordo com suas características físicas e químicas, apresenta diferentes níveis de suscetibilidade à erosão. A cobertura vegetal contribui reduzindo o impacto das gotas da chuva, além de diminuir a velocidade do escoamento, pela criação de obstáculos ao fluxo e auxiliar no aumento do volume infiltrado, por meio dos biocanais (raízes).

Conhecer cada um destes aspectos e como agem é importante, mesmo que não interfiram de forma direta, grande parte deles pode ser alterada e controlada, permitindo soluções e recuperação de área.

#### **3.5.1. Chuva e erosividade**

A chuva é um dos principais fatores que interfere e implica no processo erosivo. Sua influência pode ser notada desde o momento no qual as gotas tocam a superfície terrestre até o desenvolvimento da enxurrada e transporte de material.

Como destaca Lal (1988 apud VITTE e MELLO, 2007) a energia cinética da chuva é um dos agentes fundamentais do início da erosão e o impacto das gotas de chuva e consequente desprendimento de material compõem as principais causas da erosão pluvial (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990 apud NETO et al, 2007).

A água ao incidir sobre a superfície (dotada ou não de cobertura vegetal), exercendo pressão e forças de cisalhamento sobre o material, desagrega partículas. Parte do volume da chuva infiltra e outra parcela escoia superficialmente. O escoamento transporta o material desagregado e é responsável por desprender mais volume de partículas durante seu desenvolvimento e formação de enxurradas.

O volume de material desagregado depende da chuva incidente e das características do solo e relevo (com que facilidade determinado solo tende a sofrer erosão, inclinação e declividade de rampa, entre outros). Dessa maneira, é importante ressaltar que uma boa análise do processo erosivo envolve uma análise combinada de todos esses fatores.

Ao “fator chuva” associa-se o parâmetro erosividade, que expressa a capacidade da chuva em provocar erosão, em virtude de seu impacto e escoamento superficial. No seu processo de quantificação são relevantes informações da precipitação média mensal e anual, intensidade, duração e frequência das chuvas. A intensidade é o fator pluviométrico mais importante, quanto maior a intensidade da chuva, maiores as perdas de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005).

A intensidade é definida como o volume de chuva em determinado intervalo de tempo, juntamente com a duração (período de tempo em que acontece a precipitação), indica a Chuva Total. Por fim, a frequência diz respeito ao intervalo de tempo entre uma precipitação e outra.

O potencial de erosão da chuva, conforme Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), pode ser associado à perda de solo por unidade de área que se espera de uma determinada chuva caindo em uma região completamente desprovida de cobertura e resíduos vegetais, mas que é submetido aos mesmos procedimentos de um solo cultivado. Para climas tropicais, em média, 62% do potencial erosivo anual ocorre entre os meses de dezembro e fevereiro.

O potencial erosivo, dado pela perda de solo numa área desprovida de cobertura vegetal, é diretamente proporcional ao produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade (WISCHEMEIER e SMITH, 1958 apud SOUZA, 1992). E a energia cinética é função também da intensidade, como estabelecido por Wischemeier (et al 1958 apud NETO et al, 1992):

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I \quad (1)$$

Onde:

$E_c$ : energia cinética em Mega Joule por hectare por milímetro de chuva;

$I$ : intensidade da chuva em mm/hora.

A energia cinética está diretamente ligada à massa e, por consequência, ao tamanho médio das gotas de chuva. Verificou-se que o tamanho médio das gotas não se alterava quando sua intensidade superava os 76 mm/h, limite superior para a variável Intensidade ( $I$ ), que fornece uma energia cinética máxima de 0,283 MJ/ha.mm (WISCHEMEIER e SMITH, 1958 apud NETO et al, 1992).

A erosividade é então dada pela equação:

$$EI = E_c \times I_{30} \quad (2)$$

Na qual:

$EI$ : Índice de erosão em Mega Joule.milímetro por hectare.hora(MJ.mm/ha.h);

$E_c$ : Energia cinética em Mega Joule (MJ);

$I_{30}$ : Intensidade máxima (em mm/hora) para 30 minutos de chuva.

Hudson (1977 apud MELLO et al, 2007) em seus estudos na África, verificou que chuvas com intensidades menores que 25mm/h eram pouco significativas na quantificação de erosão (o volume de material erodido não era significativo) propôs então, que a energia cinética fosse dada pela soma da energia cinética de cada parcela de chuva com intensidade superior a 25mm/h, chamando essa energia de  $KE > 25$ .

Lombardi Neto et al (1980 apud NETO, 1995) desenvolveu trabalhos com coleta de informações em 115 postos pluviométricos em todo o estado de São Paulo, por um período de 20 anos, na busca de maneiras mais simples e aplicáveis aos solos tropicais, propondo para o cálculo da erosividade, uma relação entre a precipitação média mensal e anual de determinada região:

$$E I_{30} = 68,86 (r^2/p)^{0,85} \quad (3)$$

Onde:

$EI_{30}$ : Representa o índice de erosão médio para chuvas de intensidade máxima em 30 minutos;

r: Precipitação média mensal (em mm);

p: Precipitação média anual (em mm).

Lombardi Neto juntamente com Bertoni (1985 apud NETO, 1995) também são responsáveis pela produção de cartas com isoerodentes (isolinhas de índice de erosividade), com base nas relações empíricas de Weischmeier e Smith (1985) para todo o estado de São Paulo. As regiões do Oeste Paulista, Alto Vale do Rio Paranapanema e a porção meridional da Depressão Periférica apresentam os menores índices de erosividade do estado ( $EI \leq 6000$  MJ/ha.mm/h). As regiões de maior erosividade ( $EI \geq 8000$  MJ/ha.mm/h) foram a Serra do Mar, Serra da Mantiqueira, nordeste do estado e região costeira. É preciso deixar claro que um alto índice de erosividade não representa que a região sofre mais com o processo erosivo, já que a erosão depende também de outros fatores como o solo e sua ocupação. Dessa maneira uma área, com baixo índice de erosividade, pode apresentar um índice de perda de solo por erosão superior que uma área com maior erosividade.

### **3.5.2. Erodibilidade do solo**

A erodibilidade do solo é tida como a suscetibilidade do mesmo em sofrer erosão, ou seja, sua maior ou menor tendência em sofrer o desprendimento de partículas. Ela é



resultado da interação dos processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação e transporte das partículas.

Dessa forma, a erodibilidade está diretamente relacionada às características do solo, na qual se destacam o tamanho e distribuição de suas partículas, estabilidade estrutural, textura, teor de matéria orgânica, constituintes químicos e a natureza dos minerais argílicos presentes no solo. A maior parte desses fatores pode ser alterada ou controlada, dessa forma a erodibilidade do solo também pode ser modificada. Como destaca Freire (1974) a erodibilidade passa a ser fator dominante na escolha das práticas conservacionistas a serem empregadas, em virtude da possibilidade de associar a possível solução às características do solo que necessitam serem melhoradas.

Das propriedades do solo, a granulometria é sem dúvida a mais estudada quanto à sua relação com a erodibilidade (SANTOS 2006). Apesar de grandes partículas de areia resistirem bem ao transporte, a areia fina e o silte são mais propícios à desagregação e deslocamento. E solos com maior concentração de argila tem tendência a serem mais resistentes à erosão.

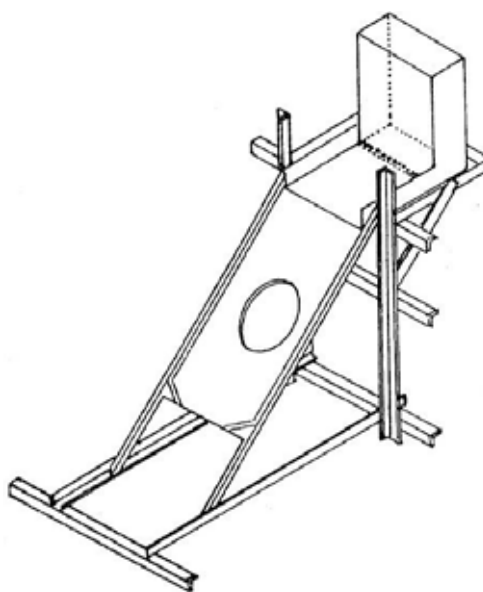
Estudos realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (LNEC) e pelo Laboratório Nacional de Angola sobre a erodibilidade de solos tropicais, envolvidos principalmente em obras de corte de estrada, destacam também a granulometria como fator determinante para a maior ou menor disposição. Castro e Santos (1985 apud BASTOS, 1999) trabalharam com 26 diferentes amostras de solo de formação terciária nos arredores de Lisboa, verificando propriedades físicas, químicas e mineralógicas e comparando-as com os resultados de erosão frente ensaios de Inderbitzen e observações de campo. Foram analisados o peso específico, granulometria, limites de Atterberg, compactação, índice CBR, expansibilidade, equivalente de umidade, curvas de sucção, limites de absorção, teor de CO<sub>2</sub> e matéria orgânica, e principais minérios constituintes. Os resultados mostraram que a expansibilidade e a curva granulométrica são as características de maior influência na questão da erodibilidade.

Meireles (1967 apud BASTOS, 1999) em suas pesquisas na Angola, associa ainda a erodibilidade do solo à sua característica de plasticidade, no qual solos fortemente erodíveis apresentam baixa plasticidade, com limite de liquidez inferior a 21% e índice

de plasticidade  $IP \leq 8\%$ . Quanto à curva granulométrica, o parâmetro utilizado foi a porcentagem passante na peneira #200, onde solos com forte erosão mostravam valores menores ou iguais a 20%, para solos com possibilidade de forte erosão esse valor concentrava-se entre 20% e 40% e solos com pequena possibilidade de forte erosão apresentavam porcentagem passante na peneira #200 maior ou igual a 40%.

Destacam-se alguns meios para determinação da erodibilidade, seja para realização em laboratório ou em campo. O Ensaio de Inderbitzen (1961) constitui uma das maneiras de determinar diretamente a erodibilidade de determinada composição de solos, é um dos mais utilizados devido ao seu grau de simplicidade. Seu princípio baseia-se na simulação do escoamento superficial, a uma dada vazão e inclinação da amostra, verificando à intervalos regulares de tempo as perdas de solo sofridas. A superfície da amostra coincide com o plano de inclinação variável, por onde passa um fluxo de vazão constante. O ensaio permite verificar o comportamento do solo frente a um escoamento superficial, além de averiguar a influência de fatores como a compactação do solo, declividade de rampa, vazão e duração do fluxo. Geralmente, os resultados são apresentados na forma de curvas da perda de solo versus tempo, bem como velocidade de erosão versus tempo. O ensaio vem sofrendo mudanças e melhorias ao longo do tempo, propostas por diversos autores a fim de aproximá-lo da ainda mais da situação real.

Figura 4: Ensaio de Inderbitzen.



Outro ensaio para determinação direta, porém de caráter qualitativo, é o ensaio de desagregação, que diz respeito a submergir determinada amostra de solo em água e observar a interação do solo com o fluido. Também chamado de “slaking test”, o ensaio de desagregação partiu do ensaio “crumb test”, cujo objetivo é observar a dispersão de uma determinada amostra de solo quando submersa em água. Entretanto, no slaking test, o principal objetivo é verificar a estabilidade à desagregação de uma amostra, cúbica ou cilíndrica, imersa em água, independente da dispersão do material. O ensaio foi proposto no Brasil, durante a construção de Brasília, pela engenheira Anna Margarida Fonseca quando estudava as propriedades do solo para fins de fundação (FERREIRA, 1981 apud BASTOS, 1999).

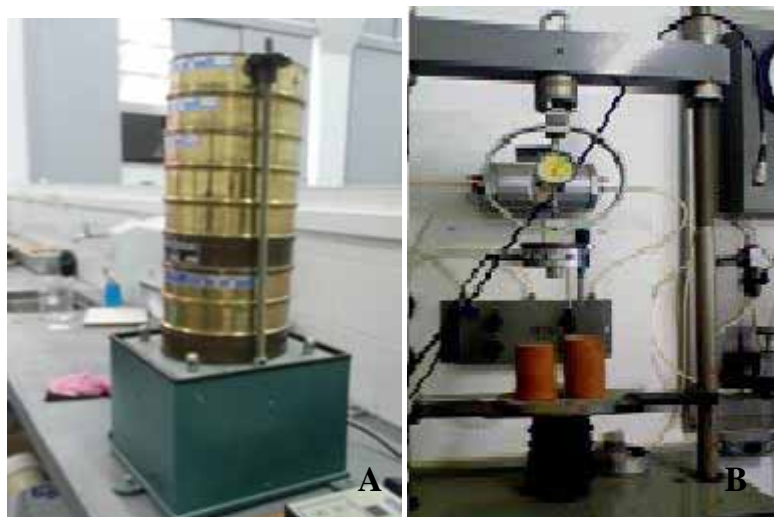
O termo desagregação diz respeito à ruína de uma amostra de solo não confinada, exposta ao ar e posteriormente submersa em água. O ensaio de desagregação proposto nos trabalhos IPR/COPPE/TRAFECON (1978 apud BASTOS, 1999) para análise qualitativa da erosão em taludes de estradas, prevê amostras cúbicas, com arestas de 6 cm, submersas em 1/3 da altura, nas quais são observados o tempo de início e fim da ascensão capilar, tempo de início de fissuração e tempo para desagregação total ou parcial.

Santos (1997 apud BASTOS, 1999), trabalhando com solos erodidos de Goiânia, empregou dois métodos diferentes de submersão: submersão total por um período de 24 horas e submersão parcial e gradativa, com água na base da amostra por 30 minutos, seguida por imersão de 1/3 da altura a cada 15 minutos, até completa imersão, estágio no qual a amostra permanece por 24 horas. Os resultados mostraram-se compatíveis com os ensaios de Inderbitzen e observações de campo realizados e demonstram que amostras mais desagregadas são também mais erodíveis.

Além destes ensaios, existem formas indiretas de se verificar a erodibilidade, como por meio do ensaio de granulometria, regido pela norma NBR7184 (1984), lembrando que solos bem graduados resistem melhor à erosão e solos mais finos (areia e silte) são mais erosivos. Pode-se citar também os ensaios de caracterização química (medição de pH, teor de cálcio, sódio e magnésio) e mineralógica (identificação do teor de minerais argílicos via métodos químicos ou por meio do microscópio de varredura). Existem ainda os ensaios de compressão simples e cisalhamento direto, num enfoque no qual se observa a perda de resistência do solo em função do teor de umidade e pensando

na erosão como processo de cisalhamento, no qual as forças erosivas forma superior às forças resistivas do solo.

Figura 5: 4A: conjunto de peneiras para obtenção da curva granulométrica conforme NBR 7181(1984). 4B: aparelho para ensaio de compressão simples.



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

Mesmo com todos estes processos, diversos autores destacam a dificuldade em quantificar a erodibilidade dos solos, sem a existência de um índice ou método realmente expressivo. Nesta questão, foi proposta por Gray e Leiser (1898 apud Chuquipiondo, 2007) e amplamente utilizada como alternativa à carência de índices e forma para o cálculo da erodibilidade, uma relação direta da erodibilidade baseada no Sistema de Classificação Unificado dos solos. A relação é apresentada a seguir, da maior para a menor erodibilidade dos solos:

$$ML > SM > SC > MH > OL > CL > CH > GM > GP > GW$$

Na qual: ML: silte de baixa plasticidade; SM: areia siltosa; SC: areia argilosa; MH: silte de alta plasticidade; OL: argila orgânica/ silte orgânico; CL: argila pouco plástica; CH: pedregulho siltoso; GM: pedregulho siltoso; GP: pedregulho mal graduado e GW: pedregulho bem graduado.

### 3.5.3. Declividade e comprimento de declive

A inclinação e o comprimento de declive intervêm diretamente na velocidade de escoamento, ou seja, na velocidade da enxurrada, e no volume de material arrastado.

O comprimento de rampa é dado como a distância entre o ponto superior, onde se inicia o fluxo até o ponto mais baixo, no qual ocorre a deposição do material transportado. A perda de solo aumenta com o aumento do comprimento de rampa. Com a utilização de um simulador de chuvas, Quansah (1985) observou que para declividades menores que 10%, o impacto das chuvas era o principal agente causador da erosão. Para terrenos com declividades superiores aos 10% a enxurrada passava a ser o principal fator responsável pelo desprendimento das partículas.

A declividade está relacionada à inclinação do terreno, seu valor geralmente é apresentado em porcentagem ou pela relação entre as suas medidas, vertical: horizontal. Para terrenos de menor inclinação, a água escoar com menor velocidade, transporta volume menor de partículas e tem mais tempo para infiltrar-se (LEPSCH, 1993). Lang et al (1984 apud POMIANOSKI, 2005) estudou dez tipos de solo com diferentes valores de declividades (entre 5% e 58%), para a maioria dos casos a relação entre declividade e perda de solo eram representadas por uma função polinomial de segundo grau.

Bertoni (1959) em seu trabalho desenvolvido no Instituto Agrônomo (Seção de Conservação dos Solos), estabeleceu relações que quantificam a perda do solo em função do grau de declividade e o comprimento de rampa.

Para o grau de declividade a perda de solo é dada por:

$$T = 0,145D^{1,18} \quad (4)$$

Na qual:

T: representa a perda de solo em quilômetros por metro quadrado (kg/m<sup>2</sup>);

G: grau de declividade (G), em porcentagem;

0,145: constante de variação (kg/m<sup>2</sup>);

1,18: expoente.

Nota-se que duplicando o grau de declive, as perdas de solo chegam a 2,26 vezes.

No caso do comprimento de rampa, apesar de representar uma oportunidade para que um maior volume de água infiltre (maior superfície percorrida), a enxurrada adquire grande velocidade e maior capacidade de transporte de partículas, logo o volume de material extraído é maior. Para este caso, Bertoni (1959) propôs:

$$T = 0,166C^{1,63} \quad (5)$$

T: perda de solo em quilômetros por metro (kg/m);

C: comprimento de rampa em metros (m);

Constante de variação: 0,166 (kg/m<sup>2</sup>);

Expoente: 1,63.

A equação exprime o efeito médio do comprimento de rampa nas perdas de solo, e indica que uma duplicação no comprimento de rampa implica num aumento em 3,09 vezes na massa de solo transportada. Para atenuar o efeito do comprimento de rampa é comum observar a execução de terraços que interrompem a descida de água, reduzindo o comprimento de rampa, de forma a evitar que a água adquira grande energia cinética.

Há ainda a possibilidade de um efeito combinando, casos no qual declividades associadas à determinados comprimentos de rampa produzem efeitos de desgaste do solo (BERTONI, 1959). Para tal situação a combinação das duas equações anteriores produz:

$$T = 0,018D^{1,18}C^{1,63} \quad (6)$$

Onde:

T: perdas de solo em quilômetros por metro (kg/m);

D: grau de declive em porcentagem (%);

C: comprimento de rampa em metros (m);

0,018: constante de variação (km/m<sup>2</sup>);

1,63 e 1,18: expoentes.

#### **3.5.4. Cobertura Vegetal**

A cobertura vegetal tem papel fundamental no combate à erosão, seus membros são capazes de interceptar as gotas de chuva antes que atinjam o chão, reduzindo o tamanho das gotas e a energia com que atingem o solo, evitando seu impacto direto na camada superficial.

Além disso, a vegetação interfere na etapa de escoamento superficial. Com seus troncos e raízes, e até mesmo o material em decomposição, cria obstáculos para o escoamento da água, levando-a a percorrer um caminho mais longo e por vezes sinuoso (a água precisa contornar o obstáculo natural), diminuindo assim sua velocidade de escoamento. A decomposição da vegetação amplia o teor de matéria orgânica, que melhora a porosidade e capacidade de retenção de água.

Há ainda outro fator, as raízes funcionam como biocanais, criando rotas e abrindo caminhos que ampliam a infiltração de água. Aliada às contribuições no escoamento superficial, discutidas acima, há uma melhora no volume de água infiltrada, que escoam com menor velocidade e infiltra mais facilmente.

### **3.6. EQUAÇÃO DE PERDAS DO SOLO**

Os fatores acima descritos estão presentes na equação universal de perdas de solo (USLE - The Universal Soil Loss Equation), desenvolvida por Smith e Wischmeier (1958 apud PEREIRA, 2006), que considera como cada fator influi no processo de erosão e qual o resultado frente à ação conjunta dos mesmos.

A equação universal para perdas de solo é bastante usada como parâmetro para selecionar o tipo de proteção mais adequado, aquele que apresenta o melhor resultado

frente ao menor custo. No mais, ela pode ser utilizada também como ferramenta para análise do potencial de erosão de uma área ou mesmo como forma de quantificar a erosão.

A equação proposta por Smith e Wischmeier (1958), traz a perda de solo (A) em função da multiplicação de fatores associados a erodibilidade do solo, características da chuva e práticas conservacionistas, ocupação do solo, declividade e comprimento de rampa, e é representada por:

$$A = R. K. LS. C. P \quad (7)$$

A: Perda média anual de solo por unidade de área (dado em t/ha.ano);

R: fator de precipitação e run-off (erosividade da chuva, em MJ.mm.h/ha.ano);

K: erodibilidade do solo (t/h.MJ.mm);

LS: fator topográfico (referente à declividade, comprimento de rampa e formato do talude);

C: fator de uso e manejo do solo;

P: fator de práticas conservacionistas.

Os fatores R e K dependem em maior parte das condições naturais, enquanto que os demais fatores (C, P e LS) correlacionam-se com a forma de ocupação e uso do solo. Para cada fator foram desenvolvidos modelos, softwares e métodos de cálculo capazes de fornecer os valores mais adequados conforme as características do local em estudo.

Com o avanço das pesquisas a Equação Universal de Perdas de Solo sofreu alterações, Williams e Berndt (1977 apud Chuquipiondo, 2007) propuseram a substituição do fator de precipitação (fator R) pelo fator do escoamento superficial ( $R_w$ ), considerando este mais influente que o anterior, levando à formulação da Equação de Perda de Solo Modificada (MUSLE). O fator  $R_w$  avalia a erodibilidade do escoamento superficial.



- **Fator de erosividade da chuva (R)**

O termo R, também chamado de fator climático, está relacionado com as características da chuva (erosividade da chuva). Dentre essas características destacam-se a energia potencial da chuva, sua intensidade, frequência e *run-off*.

A estes fatores está associada e são causa de sua variação, o tamanho das gotas de chuva e a velocidade com que atingem o solo.

Figura 6: Isoerodentes do estado de São Paulo em MJ/ha/(mm/h).



FONTE: BERTONI E LOMBARDI NETO, 1985 apud TOMAZ, 2008.

- **Fator de erodibilidade do solo (K)**

A erodibilidade do solo é um dos fatores mais complexos a se determinar, visto que surge da combinação de diversas características do solo (textura, perfil, granulometria).

Uma das maneiras mais utilizadas para se determinar a erodibilidade de um solo é o nomograma de Wischmeier et al (1971 apud CHUQUIPIONDO, 2007.), que considera a erodibilidade (K) como função da textura, teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade do solo. Entretanto, diversos autores destacam que o uso do nomograma de Wischmeier é indevido para solos tropicais, no qual o fator K é superestimado.

Dernadim (1990) determinou em campo, sob chuva natural ou simulada, o fator erodibilidade para 30 diferentes tipos de solos em todo o Brasil. Verificou-se que os parâmetros permeabilidade, teor de matéria orgânica, teor de óxido de alumínio e partículas com diâmetro entre 2,0 e 0,5 mm eram determinantes para valor de K. A erodibilidade pode então ser determinada, de acordo com Dernadim (1990 apud SANTOS, 2006), por:

$$K = 6,08 \times 10^{-3}(\text{PERM}) + 8,34 \times 10^{-3}(\text{OM}) - 1,16 \times 10^{-3}(\text{OAL}) - 3,78 \times 10^{-4}(\text{AR}) \quad (8)$$

Na qual:

PERM: permeabilidade do perfil;

OM: teor de matéria orgânica do solo;

OAL: teor de óxido de alumínio;

AR: teor de partículas com diâmetro entre 2 e 0,5mm.

Outra alternativa é verificar quanto à literatura disponível quais os valores de erodibilidade propostos em função de pesquisas e trabalhos realizados na área de estudo ou com parâmetros semelhantes.

- **Fator topográfico (LS)**

O fator topográfico, como tratado no item 1.5.3, é de grande influência para o volume e velocidade da enxurrada a ser desenvolvida. Com o aumento da inclinação, a água tem menos tempo para infiltrar-se e um maior volume escoar superficialmente. Grandes comprimentos de declives contribuem para um aumento no volume de partículas removidas e transportadas, como demonstrado por Bertoni (1959), o volume de material transportado é diferente e maior quanto mais próximo do fim da enxurrada.

Proposto por Bertoni (1959), o fator topográfico (LS), combinação da declividade e comprimento de rampa, pode ser expresso pela equação (4) citada anteriormente (p. 30).

- **Fator de uso e manejo do solo (C)**

O fator C, que considera as implicações do uso e manejo do solo para o processo erosivo, atenta-se para as características do uso do solo: forma de cultura (continuamente ou em sistema de rotação), empregos de práticas conservacionistas no plantio, tal como o cultivo em curvas de nível ou terraços e preparo da superfície.

Além disso, considera-se também a existência ou não de biomassa na superfície e qual o seu volume, bem como a questão da cobertura vegetal, tipo e nível de cobertura, tempo de permanência (em quais estações ou períodos se faz presente) e sua eficácia, relação entre o período no qual há cobertura do solo e período de chuvas erosivas, já que apenas a existência de cobertura vegetal não é suficiente, se ela for escassa durante o período de intensas chuvas erosivas, na qual se faz ainda mais necessária.

Neste caso, a busca por informações na literatura se faz um importante meio para obtenção dos valores do fator C, diversos autores desenvolvem, durante o estudo de certas regiões e áreas, tabelas e gráficos que relacionam todas essas características à valores plausíveis para o fator de uso e manejo do solo. A tabela 1, a seguir, traz possíveis valores do fator C conforme a cobertura apresentada pela região e a porcentagem de área coberta, por exemplo, para uma região com apenas 25% de área coberta por culturas agrícolas, o fator C assume o valor de 0,500.

Tabela 1: Tipos de recobrimento do solo e respectivos valores do fator C para áreas impactadas e degradadas.

<b>FATOR C</b>					
<b>Tipo de cobertura do solo</b>	<b>% de Recobrimento</b>				
	0	25	50	75	100
Sem cobertura/Solo desnudo	1,00	-	-	-	-
Culturas agrícolas	-	0,500	0,250	0,100	0,050
Pastagem e ervas daninhas	-	0,450	0,200	0,090	
Arbustos	-	0,400	0,180	0,090	0,005
Árvores/Reflorestamento	-	0,350	0,150	0,080	0,003

Floresta densa	-	0,280	0,100	0,050	0,001
----------------	---	-------	-------	-------	-------

FONTE: WALKER, 1999 apud Pereira, 2006.

A tabela 2 apresenta os valores de C de acordo com práticas de proteção contra erosão, que se baseiam no desenvolvimento e vantagens de uma cobertura vegetal, alguns desses métodos serão abordados com mais propriedade no item 3 deste trabalho.

Tabela 2: Valores para o fator C conforme diferentes tipos de recobrimento.

<b>Tipo</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>Fator C</b>
Sem recobrimento do solo	0	1,00
Hidrossemeadura à base de 3t/ha de mulching	15	0,85
Hidrossemeadura à base de 6t/há	30	0,70
Gramma em placas estaqueadas	45	0,350
Strawmulch à base de 5t/há	60	0,280
Biomantas anterosivas de palha	70	0,30
Biomantas anterosivas de fibra de coco	85	0,15
Biomantas anterosivas tridimensionais	95	0,05

FONTE: PEREIRA, 1999 apud PEREIRA, 2006.

- **Fator de práticas conservacionistas (P)**

O fator de práticas conservacionistas (P) prevê o levantamento das práticas empregadas e que auxiliam na prevenção e controle da erosão. Compara-se qual a intensidade de perdas de solo com o emprego da prática conservacionista contra as perdas do plantio de cultura em sentido de declive.

No âmbito das práticas conservacionistas, evidenciam-se o plantio em faixas de contorno, curva de nível, a alternância de capinas (linhas de plantas niveladas são capinadas alternadamente, criando obstáculos ao escoamento superficial) e o terraceamento, muito utilizada em terrenos de elevadas inclinações, no qual interrompe-se a rampa de declive subdividindo-a em rampas menores, separadas por patamares.

Tabela 3: Fator P de práticas conservacionistas de acordo com a inclinação.

Inclinação (%)	Tipo de cultivo		
	Nível	Faixas	Terraços
2	0,60	0,30	0,12
5	0,60	0,25	0,10
10	0,60	0,30	0,12
15	0,70	0,35	0,14
20	0,80	0,40	0,16
30	0,90	0,45	0,18

FONTE: DIAZ, 2001 apud PEREIRA, 2006.

### 3.7. TALUDES DE CORTE

Talude pode ser descrito como qualquer superfície inclinada, sua origem pode ser natural, quando se dá pela ação geológica e das intempéries (chuva, vento, entre outros) ou artificial, surge das interferências humanas no meio. É bastante comum o aparecimento de taludes artificiais em obras de estradas, barragens de água ou implantação de construções em terrenos aclives ou declives.

É importante destacar algumas características dos taludes: sua parte mais elevada é conhecida por crista, enquanto que o ponto baixo é chamado de pé, corpo do maciço é a porção interna, na qual se verifica a constituição do talude (proporção de areia, argila e silte) e rede de percolação (rede de fluxo) é o caminho que a água desenvolve dentro do maciço. Além de atentar-se para a altura (desnível entre crista e pé) e inclinação do talude.

Existem ainda dois subgrupos para a categoria de taludes artificiais, os taludes de corte e taludes de aterro. A divisão baseia-se na formação do talude, seja por retirada de material (talude de corte) ou por deposição, terraplenagem ou bota-fora (talude de aterro).

## 4 MÉTODOS DE PROTEÇÃO E ESTABILIDADE

### 4.1. CONCRETO PROJETADO

O concreto projetado compõe umas das diversas formas de proteção contra erosão. Geralmente seu uso vem combinado com a utilização de métodos para estabilização de taludes, como a técnica de solo grampeado. Apesar disso, é comum encontrar tal solução empregada sozinha quando as condições de talude exigem a medida.



Figura 7: Execução de concreto projetado sobre a superfície de um talude.

FONTE: H Miranda Engenharia, 2011.

O concreto projetado é umas das técnicas mais aplicadas em obras de geotecnia, onde há dificuldades para o controle da erosão. Sua extrema praticidade permite seu emprego em áreas de difícil acesso e regularização.

O concreto (mistura de água, cimento, areia, pedriscos e aditivos) é transportado, por meio de um mangote, do equipamento de projeção até o bico projetor. É então projetado sob pressão e com grande velocidade (por meio de ar comprimido) sobre a superfície a ser protegida. O impacto do concreto sobre a superfície promove sua

compactação, dispensando o uso de vibradores. O resultado é um concreto de alta compactidade e resistência (FIGUEIREDO et al, 1993).

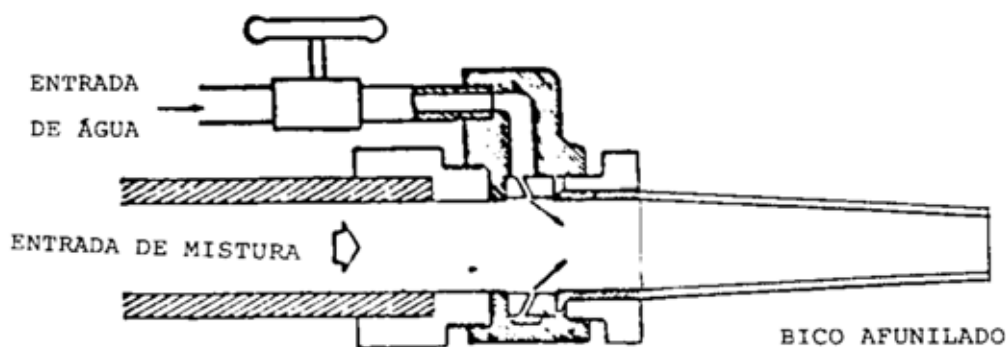
Tal método de controle de erosão age protegendo a superfície contra a ação de intempéries, reduzindo a infiltração (impermeabiliza a superfície) e atribuindo maior resistência à camada superficial, que não sofrerá desprendimento com o impacto das gotas de chuva e com o estabelecimento de enxurradas. Atrelada à execução da camada de concreto projetado, está a execução de um devido sistema de coleta de águas superficiais (barbacãs e canaletas) (H MIRANDA, 2011).

As principais vantagens do concreto projetado, comparados à outras proteções de concreto, estão centradas no princípio de economia em custos e prazos. Como não requer o uso de fôrmas, dispensa toda a fase de montagem de fôrmas, escoramentos e deforma, gerando economia de material e mão de obra. Além disso, não requer a utilização de vibradores, confere maior economia de tempo à obra, por sua alta velocidade de aplicação e pode ser usado em locais de difícil acesso e regularização.

Existem dois sistemas para a execução do concreto projetado, por via seca ou por via úmida. A primeira alternativa é mais utilizada devida à sua praticidade (é possível interromper e recomeçar os trabalhos sem perda de material e/ou limpeza dos equipamentos) e por seu baixo custo de operação. Já a segunda, apresenta opções bem automatizadas e é apropriada para obras maiores, em virtude do tamanho dos equipamentos (FIGUEIREDO et al, 1993).

No concreto projetado via seca, os componentes sólidos (pó) do concreto são misturados e introduzidos na bomba projetora. A mistura é então transportada pelo mangote e seu contato com a água só acontece no bico projetor no momento do lançamento, como mostrado na figura 7. A produtividade média dos equipamentos varia entre 3 e 6m<sup>3</sup>/h, o concreto é especificado pelo consumo de cimento e pelo fck (TÉCHNE, 1999).

Figura 8: Concreto projetado via seca.



FONTE: FIGUEIREDO et al, 1993.

Como vantagens, a projeção via seca oferece um maior alcance, por permitir mangotes de maior extensão, o concreto resultante é mais resistente e compacto, há um bom resultado como revestimento primário e o controle da consistência é feito pelo operador no bico projetor.

Este último ponto pode vir a caracterizar uma desvantagem, por provocar grande variedade na mistura (heterogeneidade). Pesam ainda o alto índice de reflexão (a razão em massa do concreto que adere à superfície e o concreto que deixa o equipamento de projeção), a formação de poeira durante a execução e que a qualidade depende da mão de obra.

Na projeção via úmida, o concreto é preparado normalmente, com um traço adequado ao meio de lançamento, e projetado pelos equipamentos. Acontecem menores perdas por reflexão e menor quantidade de pó durante a aplicação. Em compensação há uma maior dificuldade quando o traço não está adequado. Este sistema tem capacidade média para projeção de 5 a 20m<sup>3</sup>/h e o concreto é especificado pelo fck (TÉCHNE, 1999).

A tabela a seguir apresenta, de maneira bem clara, as diferentes características destes dois métodos com relação uma série de fatores que englobam desde o equipamento necessário até a qualidade final do produto.

Tabela 4: fatores ligação à projeção via seca e via úmida.

FATOR	VIA SECA	VIA ÚMIDA
1. Equipamento	- menor investimento total;	- menos equipamentos;



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- manutenção simples e pouco frequente;</li> <li>- fácil operação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- menor desgaste de bico, mangueiras e bomba para a mesma produção;</li> <li>- consumo de ar até 60% menor.</li> </ul>
2. Mistura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- na obra ou na usina;</li> <li>- possibilidade de utilização de misturas pré-dosadas;</li> <li>- desempenho alterado pela umidade da areia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- na usina e apurada;</li> <li>- a umidade da areia não interfere no processo.</li> </ul>
3. Produção e Alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- raramente ultrapassa os 5m<sup>3</sup>/h no campo;</li> <li>- pode transportar material a maiores distâncias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2-10 5m<sup>3</sup>/h na projeção manual;</li> <li>- até 20m<sup>3</sup>/h na projeção mecanizada-robô</li> </ul>
4. Reflexão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 15-40% para paredes verticais;</li> <li>- 20-50% para o teto;</li> <li>- ocorre formação de bolsões de material refletido;</li> <li>- variação do traço na estrutura por perda intensa de agregado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- baixa reflexão que pode ser menor que 10%;</li> <li>- não ocorre formação de bolsões de material refletido;</li> <li>- pequena perda de agregado.</li> </ul>
5. Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alta resistência devido ao baixo fator A/C;</li> <li>- menor homogeneidade do material;</li> <li>- depende da mão de obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maior dificuldade para obter grandes resistências (alto fator A/C);</li> <li>- maior homogeneidade na qualidade.</li> </ul>
6. Velocidade de impacto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maior com melhor adesão e facilidade de aplicação no teto;</li> <li>- maior facilidade de compactação do material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geralmente adequada para empregos em túneis e minas;</li> <li>- material menos compacto, geralmente.</li> </ul>
7. Aditivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- em pó adicionados na betoneira ou antes da cuba de alimentação;</li> <li>- líquidos adicionados no bico de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utiliza-se apenas aditivos líquidos.</li> </ul>

	projeção.	
8. Poeira e Névoa	- grande produção de poeira; - dificuldade de visualização do trabalho; - formação de ambiente insalubre em túneis (exige ventilação).	- muito pouca formação de poeira; - melhor visibilidade; - pode produzir névoa de aditivo líquido de alta alcalinidade e tóxica, exigindo ventilação.
9. Versatilidade	- pode ser usada par jateamento de areia, projeção de argamassa, materiais refratários e recobrimentos.	- pode ser utilizada como sistema de bombeamento convencional de concreto.
10. Flexibilidade	- Facilidade de interrupção com pouca ou nenhuma perda de material. - ajustável às condições de superfície (em presença de água)	- exige planejamento cuidadoso para minimizar perdas por interrupção do trabalho; - apresenta dificuldade de operação em superfície molhada (exige maiores teores de aditivos aceleradores).

FONTE: Figueiredo e Helene, 1993.

O procedimento para execução do concreto projetado é bem simples, entretanto uma falha em algum destes itens pode vir a comprometer toda a proteção. Ela pode variar conforme a obra e os principais objetivos, mas geralmente segue as indicações a seguir:

- a) Preparação da área: na maioria dos casos é necessária uma limpeza prévia, para remoção de impurezas (presença de óleos e substâncias que possam contaminar o concreto). Tal etapa pode ser executada com o auxílio de jato de água, ar ou areia (com pressão moderada);

- b) Execução de chumbadores: esta fase está associada ao emprego de armação no concreto projetado, os chumbadores garantem uma boa fixação para a armação (geralmente, telas eletrosoldadas);
- c) Execução de chapisco: sua função é melhorar a aderência na interface talude-concreto;
- d) Posicionamento da armação: quando utilizada tela soldada esta é fixa aos chumbadores, que evitam qualquer movimento da armação durante a projeção do concreto. Em alguns casos, a tela eletrosoldada é substituída por fibras de aço, que são adicionadas ao concreto antes de sua projeção. A armação é capaz de absorver as tensões provenientes da dilatação e retração da massa de concreto, evitando fissuras que quebrariam a impermeabilização imposta pela solução.
- e) Execução de drenagem: os drenos de PVC tem por finalidade aliviar possíveis tensões e atribuir correta destinação às águas que podem chegar à casca de concreto;
- f) Aplicação de concreto: conforme o modelo escolhido, respeitando-se a espessura máxima de concreto que pode ser lançado por projeção e o a espessura total de cada método.

Os riscos mais comuns quando se utiliza o concreto projetado estão relacionados à supressão de componentes importantes (ausência de tela soldada, chumbadores e/ou drenos), dosagem inadequada e preparo deficiente da superfície.

Tais riscos podem desencadear sérias consequências, dentre as quais pode-se citar a fissuração generalizada do corpo de concreto, permitindo a infiltração de água no maciço de terra, conseqüente perda de desempenho e redução da vida útil e até danificação do projeto no pé do talude (em alguns casos, é recomendado a execução de uma viga nessa região, a fim de evitar o problema).

Um grande incômodo ao empregar concreto projetado é seu elevado nível de reflexão. Ele determina a viabilidade econômica da solução, já que o material refletido não pode ser projetado novamente. O consumo médio fica em torno de 1,35m<sup>3</sup> de

concreto, mais o índice de reflexão (entre 5 e 15% pela via úmida e 15-30% por via seca), para cada 1m<sup>2</sup> de superfície (TÉCNHE, 1999).

O concreto projetado é indicado para diversas inclinações de talude (não possuindo um valor máximo), desde que este apresente as condições necessárias de estabilidade.

#### 4.2. GEOMANTAS

As geomantas constituem um método de proteção de talude baseado na cobertura superficial, assim como o concreto projetado. Sua intenção é gerar uma cobertura capaz de reduzir o impacto das gotas de chuva e o desprendimento de partículas durante o escoamento. Ao contrário do concreto projetado, as geomantas não impermeabilizam o maciço e formam um revestimento flexível.

Tais mantas sintéticas são aplicadas fornecendo proteção ao solo desprovido de cobertura vegetal. Juntamente com a geomanta é lançado um coquetel de sementes que ao se desenvolverem reforçam a proteção já oferecida pela manta, tornando a cobertura ainda mais efetiva no combate a erosão.

Num primeiro momento, enquanto a vegetação ainda não se desenvolveu, as geomantas são responsáveis por reduzir o impacto das gotas de chuva e dissipar energia da água durante o escoamento superficial. Além disso, evitam a perda de umidade do solo, auxiliando na germinação das sementes. Suas funções se estendem ainda à ancoragem das sementes e fertilizantes e proteção contra a erosão eólica.

Numa segunda etapa, com o crescimento da vegetação, que agora é capaz de interceptar as chuvas antes que atinjam o solo, as mantas agem de forma permanente como reforço das raízes, que grampeiam a camada superficial do maciço. Além de contribuírem ainda no controle da umidade e escoamento superficial (INFRAESTRUTURA URBANA, 2011).

As geomantas são produzidas a partir de materiais sintéticos, um emaranhado de fibras de polímeros (polipropileno, poliamida, policlreto de vinila, entre outros) de alta resistência e durabilidade. É constituída por mais de 90% de vazios e seu emprego pode

estar associado à utilização de métodos de estabilização de taludes, como por exemplo, solo grampeado.

Figura 9: Geomantas com 90% de vazios.



FONTE: SOBRAL, 2011.

A geomanta consiste num dos produtos da vasta gama de geossintéticos, é formada por uma malha tridimensional e grande volume de vazios, o que permite que a vegetação cresça entrelaçando-se com a mesma. É largamente empregada em taludes de corte e aterro, canais de irrigação, aterros ou canais de descarga. Deve apresentar alta durabilidade, resistência UV (estabilizada com relação aos raios ultravioletas) e resistência à tração (conforme o emprego do produto). Suas especificações são fornecidas em função de algumas de suas características importantes: durabilidade, espessura, porosidade, resistência à tração, deformação na ruptura e fotodecomposição.

Uma de suas principais vantagens, quando comparadas com o concreto projetado, é o custo, que é bem menor que a solução anterior, cerca de 70% mais barato. Também se adéqua melhor ao ambiente, proporcionando uma boa integração da obra com o meio ambiente, sem causar tantos impactos ambientais e visuais (SOBRAL, 2011). É considerada solução sustentável, com menores impactos à natureza e economia de seus recursos.

Figura 10: À esquerda, talude revestido com geomanta. À direita, o mesmo maciço com a vegetação já desenvolvida.



FONTE: SOBRAL, 2011.

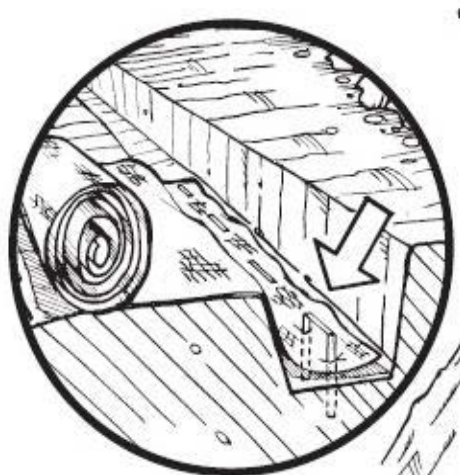
Como as geomantas são materiais leves, podem ser facilmente transportadas pelos funcionários, favorecendo sua fixação e permitindo que seja aplicada em lugares de difícil acesso. Diferentemente das biomantas, pode ser aplicada em ribanceiras de cursos d'água, com inclinações mais críticas (com inclinação de até V:H = 2:1 para revestimentos flexíveis) e fluxos hidráulicos importantes (SOBRAL, 2011).

Apesar disso, tal método gera resquícios de materiais sintéticos no ambiente e pode contribuir para a disseminação de espécies vegetais não pertencentes à região. A instalação da geomanta obedece alguns pontos importantes, mas não apresenta dificuldades em sua aplicação:

- a) Regularização do talude: como a maioria dos métodos de proteção, faz-se necessário a regularização da superfície, removendo quaisquer materiais que possam atrapalhar a execução ou apresentar incompatibilidade com a solução (restos de matérias de construção, tocos de madeira, entre outros). Além de providenciar uma boa regularização, que permita o melhor posicionamento e adesão da geomanta ao talude. A regularização geralmente é realizada de forma mecanizada, isto é, quando as condições de acesso e inclinação do talude permitem.
- b) Posicionamento da geomanta: as mantas sintéticas são fornecidas na forma de bobinas e devem ser posicionadas do topo em direção ao pé do talude, desenrolando a bobina de cima para baixo (figura 11). É importante executar a

ancoragem da manta no topo do talude e fixar a manta com grampos metálicos ao longo de sua extensão. A ancoragem poder realizada, como sugerido pelos fabricantes, escavando-se uma canaleta com 30x30 no topo do talude (a aproximadamente 1m de sua crista), fixando o geomanta com grampos metálicos e reaterrando a canaleta com solo compactado manualmente.

Figura 11: Ancoragem da geomanta, conforme recomendação de fabricantes.



FONTE: MACCAFERRI, 2007

A quantidade de grampos necessária varia conforme a inclinação do maciço, inclinações mais acentuadas exigem um volume maior de grampos para uma efetiva fixação. Tais fixadores garantem a completa adesão da manta sintética à superfície do talude, evitando que partes da geomanta se soltem ou ocorram focos de erosão pela não adesão da proteção superficial.

Devem ser previstos também transpasses laterais e longitudinais com 30cm de sobreposição de uma geomanta sobre a outra, fixados com grampos metálicos.

Figura 12: Posicionamento da geomanta, transpasses e ancoragem, conforme recomendação de fabricantes.



FONTE: MACCAFERRI, 2007.

- c) Plantio de gramíneas: o plantio poder ser dar de diferentes formas com destaque para a sementeira por microcoveamento, a hidrossemeadura ou a aplicação manual do coquetel de sementes. Durante esta fase são aplicados, além das sementes, fertilizantes e adubos, de forma a melhorar o substrato e favorecer o desenvolvimento da vegetação.

Para o caso da hidrossemeadura e aplicação de coquetel de sementes, procede-se com aplicação de uma camada de solo fértil (aproximadamente 5cm de espessura) sobre a geomanta fixada. E em seguida executa-se o plantio da forma escolhida também sobre a manta sintética. A hidrossemeadura é um processo de jateamento, à altas pressões, de uma solução aquosa contendo sementes em consorciação e insumos diversos. É melhor descrita no item 4.4 deste trabalho. A aplicação de coquetel de sementes ocorre de forma manual com o auxílio de enxadas.

Quando opta-se por executar o plantio por microcoveamento ocorre uma inversão na ordem da etapas, devendo-se primeiramente executar a sementeira e posteriormente posicionar a geomanta. O plantio por microcoveamento consiste em executar pequenas covas na superfície do talude, com profundidade suficiente para receber as sementes e insumos, evitando seu transporte para longe das áreas desejadas.



Os principais problemas que podem se desenvolver no uso de geomantas é quanto à danos produzidos durante a estocagem e transporte (INFRAESTRUTURA URBANA, 2011). Ou relacionados à fixação da geomanta, que, quando não realizada corretamente, pode acarretar na sua remoção indesejada pela ação do escoamento superficial (a geomanta é deslocada e carregada pela força da água) e conseqüente focos de erosão, por cobertura superficial insuficiente.

#### 4.3. BIOMANTAS

As biomantas compõe hoje uma alternativa ao controle da erosão. Sua estrutura é bastante semelhante às geomantas, porém seu principal destaque está relacionado ao seu caráter biodegradável, impactado menos o ambiente e conferindo à obra um tom maior de sustentabilidade.

Tal método consiste na proteção imediata do talude por meio da biomanta, por tempo suficiente para que a vegetação adequada se desenvolva e seja capaz de proteger o solo contra os agentes erosivos e haja o reestabelecimento do sistema de drenagem natural. A presença da biomanta numa primeira fase de execução evita que a água entre em contato diretamente com a superfície do solo, ameniza os processos de deslocamento e mobiliza partículas de material. Num segundo momento, com o desenvolvimento da cobertura vegetal e desgaste da biomanta esta passa a servir como adubo propiciando o desenvolvimento de espécies (INFRAESTRUTURA URBANA, 2011).

As biomantas são formadas por elementos planos e flexíveis, prontos para se adequarem à superfície do talude. Também deve possuir certa resistência à tração e sua estrutura, em geral, fibrosa, permite a germinação e desenvolvimento de vegetação. Seu caráter biodegradável evita desagregação e dispersão de materiais sintéticos na natureza (recupera o aspecto natural sem deixar resíduos nocivos).

São produzidas a partir de fibras vegetais (fibras de coco, palha ou capim). As fibras são estruturadas em um ou ambos os sentidos da biomanta e todo o conjunto é consolidado por meio de costuras industriais (com polipropileno ou fios de juta), formando uma trama resistente. É possível ainda programar, por meio de seu processo

de fabricação, a degradabilidade da biomanta conforme a necessidade do projeto (tempo suficiente para desenvolvimento da cobertura vegetal). Algumas possuem sementes e substratos de fertilizantes incorporados. A longevidade de sua composição chega a 24 ou até mesmo 30 meses, conforme necessidade do projeto e especificações do fabricante.

Figura 13: Biomantas de fibras vegetais. Grande parte é fornecida na forma de bobinas



FONTE: DEFLOR, 2013.

As biomantas são especificadas quanto a uma série de características, as quais é válido destacar a durabilidade, espessura, porosidade, cobertura do solo, rigidez, resistência à tração, deformação e estabilidade ao ultravioleta. Observar cada uma delas de forma criteriosa é fundamental para a escolha do melhor produto e sucesso da solução empregada.

São aplicáveis em casos de áreas recém-terraplenadas, taludes de corte e aterro, e áreas com recobrimento deficiente de vegetação para, associadas a espécies vegetais, estabilizar a área em termos de erosão, ou para finalidades ambientais e/ou estéticas. Entretanto seu uso está sujeito a uma série de condições do ambiente, tal como a inclinação e composição granulométrica do maciço. Quanto ao primeiro tópico, as inclinações podem atingir o valor máximo de (V:H) 2:1, sendo importante observar que cada produto possui suas próprias indicações (INFRAESTRUTURA URBANA). Para taludes de inclinações mais acentuadas, a solução torna-se inviável. Outra restrição é em casos de composições granulométricas de baixa coesão, no qual não há estabilidade

suficiente das camadas superficiais para instalação da manta vegetal. As biomantas ainda não são indicadas para áreas de fluxos hidráulicos importantes, como barrancos de rios e canais.

As principais vantagens desse modelo de proteção consistem em proporcionar cobertura imediata ao solo, permitir e melhorar as taxas de infiltração no maciço, reduzir o volume e velocidade do escoamento superficial (reduzindo o volume de material desprendido e transportado) e conferir matéria orgânica ao solo. Além disso, é responsável também por reduzir a evaporação de água do solo e restringir a insolação direta de raios solares. (DEFLOR, 2013). Apresenta rapidez no processo de revegetação, em virtude de sua associação com gramíneas de desenvolvimento rápido, e permite plantio em épocas de estiagem. Há ainda o benefício de ancorar sementes e fertilizantes. São soluções leves, podem ser facilmente transportadas, o que permite atingir regiões de difícil acesso à maquinários; é de fácil aplicação, não requer equipamentos sofisticados ou mão de obra qualificada.

Figura 14: Aplicação de biomantas. É possível observar o posicionamento das biomantas e o crescimento da vegetação em alguns trechos.



FONTE: DEFLOR, 2013.

Como pontos contra, as biomantas apresentam bem mais restrições de emprego que o concreto projetado, não se aplicando a taludes muito inclinados, ou com velocidades elevadas de fluxo (permitindo valores até 1,5m/s, 2m/s ou 2,5m/s conforme a biomanta empregada). Para taludes muito acentuados, a água da chuva pode instabilizar a biomanta empregada. A utilização de biomantas também é comprometida

para grandes comprimentos de rampa ou quando o solo apresenta composição granulométrica de baixa coesão (INFRAESTRUTURA URBANA, 2011). Para optar pelo melhor produto a ser aplicado, deve-se avaliar a perda de solo, a suscetibilidade à erosão e o índice de erodibilidade do solo.

As mantas orgânicas instalam-se como revestimento do solo e são fixadas por grampos de aço, sua instalação é simples e não necessita de aparelhos sofisticados ou mão de obra qualificada. Na maior parte dos casos a aplicação de biomantas segue o procedimento descrito a seguir.

- a) Acerto e regularização do terreno: quanto mais regularizada possível estiver a superfície, melhor a aderência da biomanta. A regularização pode ser mecânica ou manual e tem por objetivo a eliminação de sulcos erosivos, o preenchimento de espaços vazios, a ancoragem de sedimentos soltos e a remoção ou minimização de concavidades ou negatividades do talude. Tal etapa é importante para garantir uma cobertura de qualidade e evitar a formação de focos erosivos.
- b) Preparo do solo e semeio: a semeadura da espécie vegetal, que futuramente será responsável por grampear as camadas de solo com suas raízes, é realizada antes da aplicação da biomanta. Pode ser utilizada a técnica de micro-coveamento, na qual são executadas pequenas covas próximas umas das outras e com profundidade suficiente para receber sementes, fertilizantes, corretivos, adesivos, entre outros insumos. As micro-covas podem ser realizadas com enxada e a aplicação dos insumos de forma manual ou mecânica. Omite-se esta fase no caso de biomantas que já tem sementes e fertilizantes incorporados.
- c) Aplicação da biomanta: as biomantas são fornecidas na forma de bobinas e sua aplicação deve se dar na direção do topo para o pé do talude (no sentido de declividade do talude), é necessário executar nestes pontos a ancoragem da manta orgânica, bem como fixa-la com grampos ao longo do maciço.

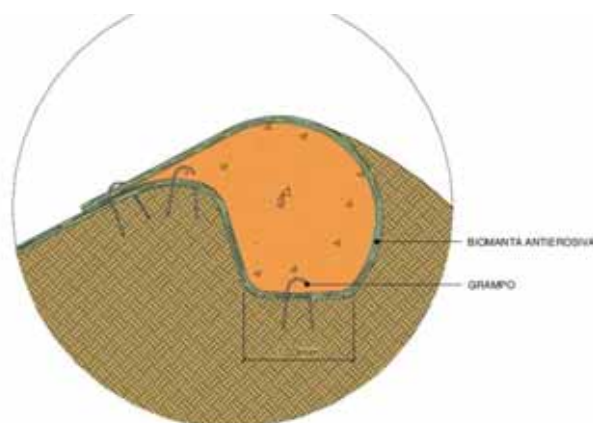
A ancoragem no topo e pé pode ser realizada, executando-se uma vala com 10cm de largura e 10cm de profundidade. A biomanta é então sobreposta, deixando 20cm ultrapassando a vala. Realiza-se o grampeamento da biomanta no fundo da valeta e em seguida preenche-se a mesma com solo compactado manualmente.

Aplica-se fertilizantes e sementes sobre o solo compactado, dobra-se os 20cm excedentes da biomanta, promovendo sua fixação com grampos (Figura 15).

Outra maneira de realizar a ancoragem é escavar uma vala, submeter um determinado comprimento da biomanta à fixação com grampos na vertical com comprimento suficiente para ancoragem, e aterrar a vala. Existem ainda outras maneiras para executar a ancoragem, conforme indicações dos diversos fabricantes, o essencial é garantir uma fixação de qualidade para a biomanta.

Podem ainda ser necessários transpasses laterais (3 a 5cm) e longitudinais ( $\geq 5$ cm ou conforme especificação do fabricante).

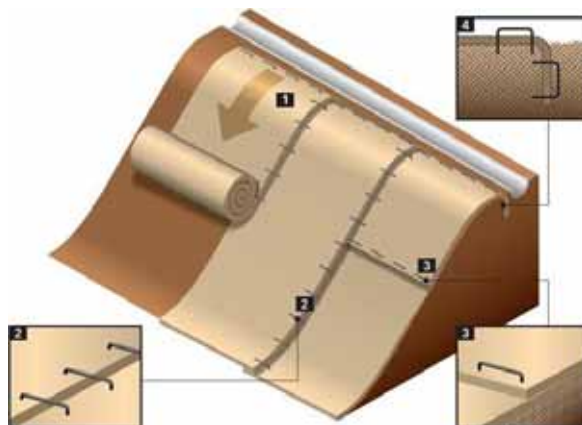
Figura 15: Ancoragem da biomanta no topo do talude, conforme indicação dos fabricantes



FONTE: DEFLOR, 2013.

- d) Fixação da biomanta: esta compõe a última fase e é realizada concomitante com a aplicação da biomanta. A boa fixação da biomanta garantirá seu adequado funcionamento. Os grampos estão espalhados ao longo da biomanta, com destaque para as áreas de transpasse e ancoragem. Eles podem ser de diferentes tamanhos e materiais (aço, madeira, bambu ou polivinil) conforme o foco e necessidade do projeto.

Figura 16: Instalação da manta vegetal, com posicionamento no sentido de declive do talude (1), transpasses laterais (2) e longitudinais (3) e ancoragem (4).



FONTE: INFRAESTRUTURA URBANA, 2011.

Os problemas mais comuns enfrentados quando há emprego de biomantas estão associados a deficiências no seu processo de armazenagem e instalação. É durante a estocagem que as biomantas ficam expostas a danos mecânicos e ambientais. Discute-se que nem sempre esta fase é tratada com as devidas precauções, inviabilizando o material antes mesmo de sua aplicação.

Quando a ancoragem não é bem feita ou a quantidade de grampos não é adequada, a manta vegetal pode ser totalmente ou parcialmente removida pela força da chuva, desprotegendo a área. Outro ponto que pode gerar pontos suscetíveis à erosão é quanto a regularização do terreno, que pode desfavorecer o posicionamento e aderência da biomanta.

#### 4.4. HIDROSSEMEADURA

Tal método consiste em favorecer o desenvolvimento rápido de cobertura vegetal, de modo que esta exerça papel fundamental na proteção do talude. A cobertura vegetal é capaz de reduzir o impacto das gotas da chuva, já que não incidem diretamente sobre o solo (são interceptadas pela vegetação), bem como dissipar energia do escoamento vegetal, criando barreiras naturais ao fluxo de água, que é obrigado a desviar e percorrer uma distância maior. A hidrossemeadura se baseia no lançamento, por meio de uma motobomba, de uma solução aquosa contendo sementes de espécies consorciadas, adubos, nutrientes e adesivos. A mistura é lançada à alta pressão e adere à superfície, fixando sementes e demais componentes.

A solução lançada forma uma camada protetora que age até o desenvolvimento da vegetação, auxiliando na conservação da umidade, controlando a temperatura, prevenindo a compactação do solo e reduzindo o impacto direto da chuva (evitando o início do processo erosivo). Além de favorecer o rápido desenvolvimento das espécies e evitar que as sementes se movimentem do seu local de lançamento.

Figura 17: Execução da hidrossemeadura: lançamento por hidrojetamento à altas pressões.



FONTE: DEFLOR, 2013.

O consórcio de espécies acontece com o objetivo de gerar uma cobertura eficiente e permanente. Para tanto, geralmente, são associadas espécies de gramíneas e leguminosas, atentando-se para as características de cada uma, como época do ano de bom desenvolvimento e tempo necessário para crescimento. As leguminosas são empregadas pois facilitam a fixação de nitrogênio do ar, o que melhora o substrato e favorece o desenvolvimento das gramíneas. Contribuem também como adubação de cobertura, condicionando o solo a receber futuramente espécies nativas. No caso das gramíneas sua função principal é contribuir para fixação do solo, no qual suas raízes grampeiam as camadas mais superficiais do solo (Manual de vegetação rodoviária, 2009).

A aplicação deve se dar, de preferência, próxima aos períodos chuvosos e aconselha-se que o consórcio contenha pelo menos quatro das espécies a seguir, entre gramíneas e leguminosas.

Tabela 5: Espécies para consórcio na hidrossemeadura, conforme indicações na Manual de Vegetação rodoviário do DNIT.

<b>No me Popular</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Época de Plantio</b>	<b>Densidade (gr/m<sup>2</sup>)</b>
Azevém perene	<i>Lolium perenne</i> (gramineae)	mar/mai	15
Cevadilha	<i>Bromus catharticus</i> (gramineae)	mar/mai	6
Capim de Rhodes	<i>Chlorys gayana</i> (gramineae)	set/out	6
Braquiária decumbens	<i>Brachiaria decumbes</i> (gramineae)	set/nov	5
Braquiária humidícola	<i>Brachiaria humidicola</i> (gramineae)	set/nov	8
Grama batatais	<i>Paspalum notatum</i> (gramineae)	abr/jun	5
Pensacola	<i>Paspalum saurae</i> (gramineae)	abr/jun;set/out	12
Festuca	<i>Festuca arundinaceae</i> (gramineae)	mar/mai	10
Ervilhaca	<i>Vicia sativa</i> (leguminosae)	mar/mai	30
Trevo vermelho	<i>Trifolium pratense</i> (leguminosae)	mar/mai	6
Trevo vesiculoso	<i>Trifolium vesiculosum</i> (leguminosae)	mar/jun	4
Soja perene	<i>Glycine wightii</i> (leguminosae)	set/out;jan/fev	4
Desmódio	<i>Desmodium intortum</i> (leguminosae)	set/out	3

As vantagens deste modelo de proteção estão intimamente ligadas à facilidade de reestabelecer a camada vegetal, com alta velocidade de execução e uniformidade dos resultados. Além de permitir um controle sobre as espécies a serem semeadas.

A hidrossemeadura também se destaca por ser capaz de atingir áreas de difícil acesso ou de inclinações mais elevadas (é o único dentre os métodos de plantio aplicado em taludes mais íngremes), onde é perigoso o plantio manual de mudas e inviável o plantio mecanizado (Manual de vegetação rodoviária, 2009). Também apresenta larga



vantagem econômica sobre outros métodos, seu custo estabelecido na tabela de preços do DER (com data referencial em 30 de setembro de 2014) é R\$ 6,75/m<sup>2</sup>.

Entretanto, a hidrossemeadura pode encontrar problemas quanto ao elevado volume de água necessário, isto é, quando este recurso é escasso ou a distância para obtê-lo é muito grande, tornando-o economicamente inviável (DEFLOR, 2013).

Para realização da hidrossemeadura são indicadas as realizações de serviços que melhoram o resultado da solução escolhida :

- a) Preparo do solo: reúne os processos de limpeza, nivelamento e modelagem do terreno, para assegurar boas condições para o desenvolvimento da vegetação. Qualquer material (pedras, tocos de madeira, entulhos, entre outros) que possa atrapalhar o aspecto visual ou a mecanização do projeto deve ser removido.

Deve ser prevista também uma aração superficial, com 10 a 20cm de profundidade, e gradeação, com o intuito de descompactar o solo e remover a camada oxidada. Prossegue-se com execução de sulcos ou microcovas, procedimento capaz de ajudar no combate à erosão e na fixação das sementes e demais insumos. Além disso, devem ser corrigidas as pequenas irregularidades ou focos de erosão, a fim de se obter uma superfície sem discontinuidades.

- b) Aplicação e incorporação de adubos e corretivos: também conhecida por calagem e adubação, esta etapa tem por principal finalidade corrigir a acidez e melhorar as características do substrato, para um rápido e efetivo desenvolvimento da vegetação.

A agronomia recomenda aplicação do calcário para correção da acidez 15 dias antes da incorporação dos adubos. Mas os dois componentes podem ser aplicados de uma só vez, reduzindo o custo da operação. É imprescindível garantir homogeneidade na aplicação.

Pode ser aplicada ainda, juntamente com os adubos e corretivos, palha vegetal, de forma a enriquecer a adubagem e evitar a perda de água do solo. É comum a aplicação de palha de arroz ou de capim (como Batatais e Chorão), o posicionamento pode ser mecânico, com grade de discos, ou manual, com enxadas e enxadões.

- c) Semeadura: acontece com consorciação de espécies, mistura de gramíneas e leguminosas. Antecede a escolha das espécies, uma análise criteriosa das características físicas e químicas do solo, bem como a realização de testes de germinação, que comprovem a melhor combinação de sementes capazes de garantir total cobertura do solo.

Para esta fase são utilizados tanques próprios equipados com bomba para tal tipo de lançamento, com a necessidade de, no mínimo, dois funcionários: 1 operador de jato de hidrossemeadura e 1 auxiliar, responsável por ligar a bomba e controlar o registro. A mistura ocorre diretamente no caminhão de hidrossemeadura, obedecendo a ordem: água, fibras, adubo e, por último, as sementes. O tanque deve ser dotado de misturador, mantido em constante movimento, a fim de preservar o material suspenso e garantir a homogeneidade da mistura.

O lançamento deve se dar da parte mais alta para a mais baixa do talude, evitando a formação de poças ou escorregamento da mistura, e o mais uniforme possível.

Figura 18: Hidrossemeadura em taludes de corte.



FONTE: VERTIVER AMBIENTAL, 2011.

- d) Manutenção: de caráter esporádico, prevendo a aplicação de fertilizantes alguns meses após o plantio, e tratamento fitossanitário, contra o ataque de pragas e moléstias. Os componentes utilizados devem ter baixo índice de toxicidade, baixo

poder residual e decomposição fácil. Atentando-se aos cuidados para evitar contaminação da equipe, de recursos hídricos ou culturas próximas.

Também se observa a prática do replantio, quando constatadas falhas no desenvolvimento da vegetação ou no seu lançamento.

Os principais problemas associados a este método de proteção estão ligados às falhas nos processos de sulcamento e coveamento, que não retém o material lançado. Ou insucessos no desenvolvimento das espécies escolhidas e falhas no lançamento (focos de vegetação escassa).

#### 4.5. BARREIRAS CONTRA FLUXO

As barreiras contra fluxo se baseiam no princípio de impor um obstáculo ao escoamento de água de forma a reduzir a velocidade e energia da enxurrada e seu impacto sobre o solo. Além disso, tal método contribui para a retenção de sedimentos e permite o fluxo de água. As barreiras auxiliam na redução e controle do volume carregado de sedimentos, em chuvas torrenciais é comum a retenção de sedimentos de granulometria maior, e materiais mais finos são mais frequentes em chuvas de média e baixa intensidade.

Existem diversos modelos de barreiras, onde as principais diferenças entre elas consistem no material de que são produzidas: bambu, madeira, fibras vegetais ou pelo formato que apresentam. Algumas barreiras podem ainda ser usadas com a função de consolidar e estabilizar leitos de canais e taludes. As barreiras contra fluxo são frequentemente incluídas ao grupo de soluções que emprega os conceitos de bioengenharia.

As barreiras contra fluxo podem estar associadas à outras técnicas de combate à erosão, como plantio de gramíneas, aplicação de biomantas, entre outros. O procedimento para implantação das barreiras exige a presença de um técnico especializado e capaz de orientar quanto aos locais mais indicados para o posicionamento das barreiras, a fim de garantir o sucesso da solução. No mais, as

práticas devem seguir as etapas a seguir, com pequenas variações em função do material a ser utilizado.

- a) Preparo do terreno: a prática exige a regularização da superfície de forma a garantir e posicionar a barreira da melhor maneira possível.
- b) Abertura de nichos: varia conforme a barreira a ser implantada, mas a maioria necessita de valas para o posicionamento ou regularizações específicas que facilitem a fixação das barreiras.
- c) Posicionamento da barreira: é a etapa de maior variação de acordo com o tipo de barreira escolhido, no caso das bermalongas, como abordado a seguir, é o momento de posicioná-las e fixá-las com piquetes de madeira ou grampos de aço. Para a paliçadas de madeira, é necessário abrir valas com altura suficiente para garantir a completa fixação das peças verticais e posicionar tais peças.

Dois tipos bastante distintos e utilizados são as paliçadas de madeira e bermalongas.

As bermalongas são formadas por fibras vegetais desidratadas e prensadas, envoltas numa malha de polipropileno, geralmente em formato cilíndrico e flexível (VERTIVER AMBIENTAL, 2011). Permitem a passagem de água, retém sedimentos e ainda contribuem para a manutenção da umidade do solo, favorecendo o desenvolvimento da cobertura vegetal.

Figura 19: Bermalongas de fibras vegetais.



FONTE: VERTIVER AMBIENTAL, 2011.

Devido ao seu formato e alta flexibilidade pode ser aplicado em superfícies curvas e em desnível. Também são empregadas próximas às tubulações de drenagem, para evitar a passagem de sedimentos e possível entupimento da tubulação. As bermalongas são especificadas quanto a sua gramatura, resistência, formato (geralmente cilíndrica) e peso.

Figura 20: Abertura de nichos e fixação com piquetes de madeira.

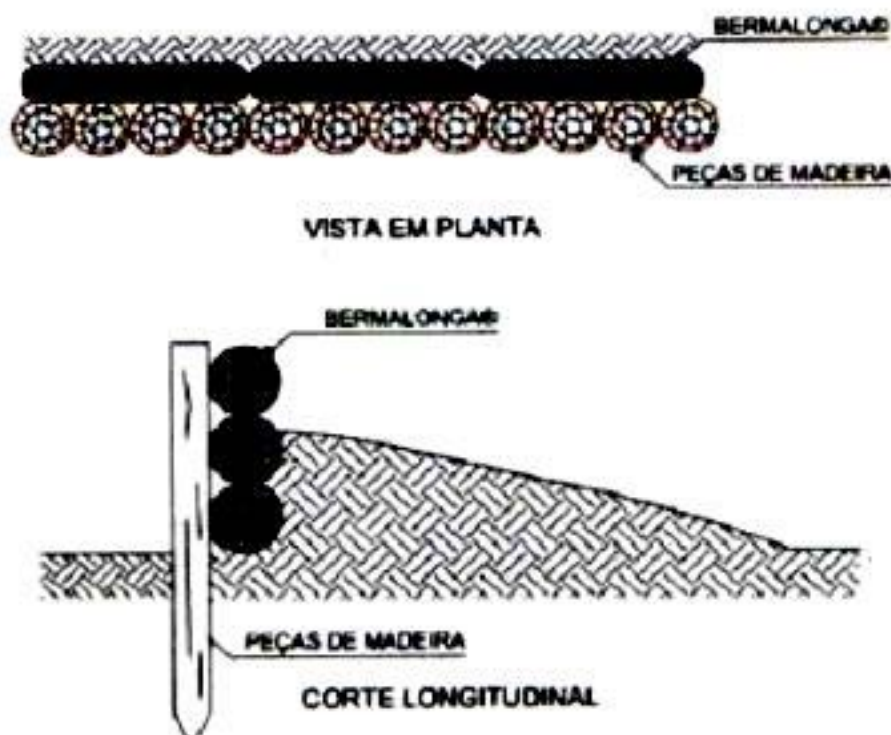


FONTE: VERTIVER AMBIENTAL, 2011.

São fixadas geralmente por meio de estacas vivas, grampos de aço ou madeira, juntamente com a criação de patamares no terreno que favorecem sua fixação. Seu posicionamento deve ser sempre transversal à declividade do terreno, e seu emprego é aconselhável para locais de menor declividade e baixo fluxo hidráulico.

As paliçadas de madeira construídas para reter sedimentos, também tem a função de promover uma geometria mais estável para os taludes adjacentes aos focos erosivos. São construídas próximas aos focos erosivos, em seus pontos mais estreitos, onde não exista escoamento superficial significativo (NETO, 2012). As paliçadas são formadas por peças dispostas verticalmente e posicionadas uma do lado da outro, constituindo um obstáculo. O posicionamento de bermalongas entre a paliçada e o escoamento superficial evita a fuga de sedimentos na região de contato paliçada-maciço.

Figura 21: Paliçada madeira roliça.



FONTE: COUTO, 2010.

Suas dimensões e características devem ser calculadas conforme a necessidade do local. Na execução da paliçada geralmente são utilizadas peças de madeira tratada, para prevenir o ataque de micro-organismos. É comum também o emprego de peças roliças, bambus ou dormentes. Para sua fixação, recomenda-se a execução de uma vala transversal ao escoamento superficial, com profundidade maior ou igual à metade da altura das peças de madeira, de forma a garantir a fixação das peças no sentido vertical (COUTO, 2010). Caso haja necessidade pode se empregar peças horizontais para o travamento das peças principais (verticais).

#### 4.6. ENVELOPAMENTO

A técnica de envelopamento consiste em revestir o talude existente com um material compactado (solo) que resista melhor ao processo erosivo (SILVA, 2009). Tal procedimento é empregado na proteção de taludes, recomposição de áreas já atingidas

pela erosão ou no envelopamento de aterros. Tal método de proteção tem por finalidade e foco de atuação a proteção superficial, criando um revestimento capaz de suportar melhor os efeitos da chuva.

Figura 22: Solo compactado diretamente sobre o talude, de forma manual.



FONTE: SILVA, 2009.

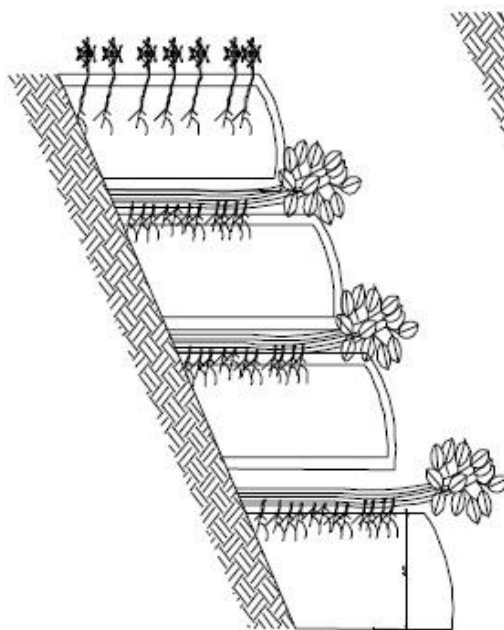
O envelopamento pode ser dar pela simples execução de uma camada de solo compactado sobre o talude existente, ou associada ao emprego de biomantas, sementes e estacas vivas, capazes de facilitar a ancoragem de sedimentos e da nova camada introduzida.

Suas principais vantagens estão ligadas ao emprego de materiais biodegradáveis, reduzindo o impacto ambiental e visual da solução escolhida (introduzindo tal técnica no conjunto de soluções da chamada bioengenharia), além de ser uma técnica de rápida execução e que permite o emprego de solo do próprio local, reduzindo-se o custo de operação (NETO, 2012).

Para emprego de solo envelopado com biomanta, posiciona-se a manta vegetal, com um trecho excedente, executa-se uma camada de solo compactado (com altura entre 50 e 60 cm) sobre a biomanta. A seguir posiciona-se o trecho excedente da manta

sobre o aterro executado, envolvendo a recém-compactada camada de solo (COUTO, 2010). Tal sequencia é repetida até que se atinja todo o talude a ser protegido. Entre uma camada e outra de solo compactado, podem ser introduzidas estacas vivas, que auxiliem na ancoragem do solo, e sobre a superfície externa do envelopamento são lançadas sementes, capazes de realizar a ancoragem do solo.

Figura 23: Solo envelopado com uso de biomanta e estacas verdes entre uma camada e outra de solo compactado.



FONTE: COUTO, 2010.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além dos métodos apresentados, existem outras diferentes formas eficazes de proteção contra erosão pluvial, cada uma com suas características, vantagens e limitações. A escolha por uma determinada solução vai depender da análise de uma série de fatores e condições, que norteará para a escolha da melhor opção. Um dos pontos relevantes e, em certos casos, determinante, é o custo de cada método e a inclinação máxima de taludes a qual devem ser submetidas. Dessa maneira, é apresentado a seguir o custo aproximado e a inclinação máxima recomendada de cada solução exibida anteriormente. Os custos a seguir (tabela 6) foram extraídos da tabela de preços unitários do DER/SP, com data base em setembro de 2014 e conforme trabalhos desenvolvidos por EVENGELISTA, 2011. Os custos são apresentados em reais e dólares, para referência, com base na cotação do dia 5 de fevereiro de 2015 (dólar cotado a R\$ 2,74) (Uol Economia, 2015)

Os custos apresentados (tabela 6) expressam o valor do fornecimento e instalação para o caso das biomantas e retentores (tipo bermalongas), e fornecimento e execução dos serviços de concreto projetado (sem a previsão de qualquer tipo de armadura, como tela eletrosoldada) e plantio por hidrossemeadura. A estas técnicas podem ainda estar associados outros serviços para completa proteção dos taludes, tal como escavação, transporte e limpeza do terreno. É importante ressaltar ainda que uma determinada solução pode partir da combinação de dois ou mais métodos (instalação de biomantas associada ao plantio por hidrossemeadura, por exemplo). Mesmo que os métodos de proteção ainda exijam serviços complementares (limpeza e regularização do terreno), eles são comuns a todos os métodos, dessa forma, os custos anteriores constituem uma boa base para tomada de decisão quanto aos custos.

Quanto à inclinação máxima podem ocorrer variações conforme a característica de cada produto, principalmente no caso de biomantas, geomantas e retentores, que são oferecidos no mercado com uma gama muito grande de variações.

Outro aspecto importante é que cada modelo de proteção exige um nível de manutenção diferente, que pode influenciar na escolha por uma determinada solução. A

manutenção pode exigir ações diferentes e com frequências variadas de acordo com o método de proteção. Além de desencadear alguns custos e preocupações a mais.

Apesar das soluções apresentadas serem de largo uso no Brasil, são poucas as referências bibliográficas que trazem o custo da implantação desses métodos. As empresas deste ramo geralmente fornecem os custos por projeto e executam seus orçamentos com base em documentos, plantas e detalhes dos locais da obra, já que cada projeto possui suas peculiaridades. Dessa maneira, os custos, seja no âmbito das proteções contra erosão ou em outras áreas da construção civil, compõe ainda um amplo campo a ser explorado.

Tabela 6: custo estimado para cada método de proteção.

<b>Método de proteção</b>	<b>Custo aproximado</b>	<b>Inclinação máxima recomendada (V:H)</b>	<b>Manutenção</b>
Concreto projetado	R\$ 1300/m <sup>3</sup> (US\$ 474,45/m <sup>3</sup> ) de concreto projetado. O volume necessário de concreto para uma determinada área pode variar em função da espessura desejada para a camada de concreto e do índice de reflexão, conforme descrito no item 3.1	Não apresenta inclinações máximas, desde que o talude apresente as condições necessárias de estabilidade.	Sentido crescente de manutenção ↓
Geomantas	-	2:1	
Biomantas	R\$ 12,75/m <sup>2</sup> (US\$ 4,65m <sup>2</sup> )	2:1	
Hidrossemeadura	R\$ 6,75/m <sup>2</sup> (US\$ 2,46/m <sup>2</sup> )	-	
Retentores de sedimentos	R\$ 71,30/m <sup>2</sup> (US\$ 26,02/m <sup>2</sup> )	-	
Solo envelopado	-	-	

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. A.; PARENTE JÚNIOR, W. C.; BESERRA NETA, L. C.; COSTA, M. L. **Erodibilidade do solo e erosividade da chuva na Serra do Tepequém – Roraima.** Revista Acta Geográfica, n.6, p.39-46, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984.

ARAÚJO FILHO, R. N.; HOLANDA, F. S. R.; ANDRADE, K. R. **Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle da erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe.** Scientia Plena, v. 9, n. 7, 2013.

BASSO, F. A. **Hidrossemeadura com espécies arbustivo-árbores nativas para preenchimento de áreas degradadas na Serra do Mar.** 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Ambiental). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

BASTOS, C. A. B. **Avaliação de Métodos de Proteção para Taludes em Estradas Não-Pavimentadas.** 1999. 303p. Tese apresentada para obtenção do título de doutor em Engenharia Civil. – Escola de Engenharia da Universidade do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. BERTONI, J. **O espaçamento dos terraços em culturas anuais, em função das perdas por erosão.** 1959. Braganti, Campinas, SP, 18:113-140.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5 ed. São Paulo: ícone, 2005, 335p.

BRASIL. Departamento nacional de infraestrutura de transportes (DNIT). Manual de vegetação rodoviária. Rio de Janeiro: 2009. 129p.

CHUQUIPIONDO, I. G. V.. **Avaliação da estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de água: estudo de caso trecho de vazão reduzida Capim Branco I Araguari Minas Gerais**. 2007. 216p. Dissertação (Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

COUTO, Laércio et al. **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil**. Boletim técnico CBCN, n° 001, 2010. Disponível em: <<http://www.defesacivil.es.gov.br/files/meta/9c79332b-f0d2-4891-8f9c-b26d981b2258/b6b303b6-7322-4f8a-8e8c-522f56659d5e/91.pdf>> Acesso em 14 nov 2014.

DEFLOR, Bioengenharia. Deflor: produtos, 2013. Disponível em: <<http://deflor.com.br/produtos-2/biomantas-antierosivas/>> Acesso em: 4 dez. 2014.

EVANGELISTA, J. A. **Avaliação preliminar de custos de implantação e manutenção de intervenções em cursos de água**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19, 2011, Maceió. **Publicações**. Maceió: 2011. Disponível em:<[http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio\\_erosao/articles/T084.pdf](http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio_erosao/articles/T084.pdf)>. Acesso em 12 jan 2015.

EVANGELISTA, J. A. **Sistemática para avaliação técnica e econômica de alternativas de intervenções em cursos de água urbanos.** 2011. 222p. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

FERNANDES, J. A. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em SÃO VALENTIM, RS.** 2011. 127p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia, Santa Maria.

FERNANDES, L. S. et al. **Uso de geomantas no controle da erosão superficial hídrica em um talude em corte de estrada.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v33, n° 1, pp. 199-206, 2009. Disponível em:<<http://www.redalyc.org/pdf/1802/180214067021.pdf>>. Acesso em: 30 out 2014.

FERRAUDO, A. S.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P. **Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.47, n.9, p.1358-1367, 2012.

FERREIRA, A. O.; GONZATTO, R.; MIOLA, A.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. **Influência da declividade e de níveis de cobertura do solo no processo de erosão com chuva simulada.** Revista Verde, Mossoró/RN, v.5, n.5, (Número Especial) p. 182 – 190, 2010.

FIGUEIREDO, A.; HELENE, P. **Concreto projetado: o controle do processo de projeção.** São Paulo: EPUSP, 1993.

FROTA, P. V.; NAPPO, M. E. **Processo erosivo e a retirada da vegetação na bacia hidrográfica do açude Orós – CE.** Revista Geonorte, Edição Especial, v.4, n.4, p.1472 – 1481, 2012.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Geomorfologia do cotidiano - a degradação dos solos.** Revista Geonorte, Edição Especial, v.4, n.4, p.116 –135, 2012.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos; conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340p.

GUIMARÃES, J. C. C. et al. **Abordagem de práticas conservacionistas na recuperação de voçorocas.** Centro Científico Conhecer. 2012. Disponível em: < <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012a/ambientais/abordagem.pdf>>. Acesso em 07 nov 2014.

H Miranda Engenharia, 2011. Disponível em:< <http://www.hmiranda.com.br/concreto-projetado.htm>> Acesso em 7 nov 2014

HOLANDA, F. S. R.; BANDEIRA, A. A.; ROCHA, I. P.; FILHO, R. N. A.; RIBEIRO, L. F.; ENNES, M. A. **Controle da erosão em margens de cursos d'água: das soluções empíricas à técnica da bioengenharia de solos.** R. RAÍGA, Curitiba, n. 17, p. 93-101, 2009.

INFRAESTRUTURA URBANA. São Paulo: Pini, dez/2011. Mensal. Disponível em: <  
<http://www.infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/artigo256243-1.aspx>>. Acesso em: 21 nov. 2014.

LEPSCH, I. F. **Solos formação e conservação**. 5 ed. São Paulo: Melhoramentos, 1993, 157p.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. **Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos**. Revista brasileira Ciência do Solo, 14:85-90, 1990.

MACCAFERRI. Maccaferri: Downloads. Disponível em: <  
<http://www.maccaferri.com.br/downloads/16292-1.html>> Acesso em: 4 dez. 2014.

MACEDO, R. L. G. et al. **Hidrossemeadura para a recuperação de áreas tropicais degradadas**. Revista Eletrônica de Engenharia Ambiental. Ano 1, v.1, 2003. Disponível em: <  
[http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/3OBv4NM8MzNpIPg\\_2013-4-24-14-31-13.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/3OBv4NM8MzNpIPg_2013-4-24-14-31-13.pdf)> Acesso em 29 nov 2014.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R.. **Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo**. Acta Scientiarum, Maringá, v24, n°5, p1335-1340, 2002.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R.. **Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo**. Acta Scientiarum, Maringá, v24, n°5, p1335-1340, 2002.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. **Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaïsse**. R. Bras. Ci. Solo, 28:1055-1062, 2004.

MORETTO, R. L. **Análise dos efeitos da vegetação na proteção de taludes rodoviários e proposição de alternativas de revegetação na rodovia BR-386**. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

NETO, A. F. P. **Aplicação de técnicas alternativas para recuperação de foco erosivo em área rural situada no município de Álvares Machado – SP**. 2012. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2012. Disponível em: <[http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/tcc/beg/19386/2012/pereiraneto\\_af\\_tc\\_c\\_guara.pdf](http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/tcc/beg/19386/2012/pereiraneto_af_tc_c_guara.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2014

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

NETO, J. L. S. **A erosividade da chuvas no estado de São Paulo**. RDG – Revista do Departamento de Geografia - USP, São Paulo, v5, p21-33, 1995. Disponível em: <<http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/issue/view/14>>. Acesso em 20 maio 2014.



OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. 587 p.

PEREIRA, A. R. **Determinação da Perda de Solo**. Boletim Técnico, Belo Horizonte – MG, n.1, p.1-22, 2006.

POMIANOSKI, D. J. W. **Perdas de solo e água em sistemas agroflorestais da bracinga (*Mimosa scabrella* Bentham) em diferentes declividades e manejos**. 2005. 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Paraná.

RODRIGUES, S. C.; PINESE JÚNIOR, J, F.; CRUZ, L. M. **Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia – MG**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v.20, n.2: p.157-175, 2008.

SANTANA, C. J. **Técnicas de bioengenharia aplicadas às áreas de preservação permanente urbanas**. 2011. 100f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2011. Disponível em: <[http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/tcc/bpp/52044/2011/santana\\_cj\\_tcc\\_pud.pdf](http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/tcc/bpp/52044/2011/santana_cj_tcc_pud.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2014

SANTOS, C. M. Z. **Caracterização de áreas com potencial de erosão na Fazenda Santa Edwirges, Lorena, SP**. 2006. 130p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J.. **Classificação do perfil**. 2011. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_5\\_2\\_212200611537.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_5_2_212200611537.html)>. Acesso em: 06 fev. 2015.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de estradas e rodagem (DER). Tabela de preços. São Paulo: 2014. 30p. Disponível em: <[ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/tpu//TPU\\_09\\_2014.ZIP](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/tpu//TPU_09_2014.ZIP)>. Acesso em 20 dez 2014.

SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, III, 2012. **Recuperação de áreas justafluviais com técnicas de bioengenharia – Londrina, Paraná.** Londrina: 2012. Disponível em: <[http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31039821/Artigo\\_SIMPGEU\\_\\_Cristiane\\_Juciane\\_Juciane\\_libre.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1418562682&Signature=0xcQ%2BcNal5Sb5f401PY0LGHrn8U%3D](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31039821/Artigo_SIMPGEU__Cristiane_Juciane_Juciane_libre.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1418562682&Signature=0xcQ%2BcNal5Sb5f401PY0LGHrn8U%3D)> Acesso em: 14 dez 2014.

SILVA, D. J. B. V. **Avaliação de Métodos de Baixo Custo Para a Proteção de Taludes em Estradas Rurais Não-Pavimentadas**. 2009. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2009. Disponível em: <[http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98048/silva\\_djbv\\_me\\_ilha.pdf](http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98048/silva_djbv_me_ilha.pdf)> . Acesso em: 22 nov. 2014

SOBRAL, M. L. V. et al. **Revestimento flexível com geomanta reforçada para solo grampeado em taludes de Angra dos Reis**. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/2014/07/CCO-2012-Revestimento-flex%C3%ADvel-com-geomanta-refor%C3%A7ada-para-solo-grampeado-em-taludes-de-Angra-dos-Reis1.pdf>>. Acesso em 1 dez. 2014.

TÉCHNE. São Paulo: Pini, dez/1999. Mensal. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/39/artigo287171-1.aspx>>. Acesso em: 21 nov. 2014.

UOL ECONOMIA. **Cotações: Cambio.** 2015. Disponível em: <<http://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/?historico>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

VERTIVER AMBIENTAL. **Soluções Ambientais,** 2011. Disponível em: <<http://www.vetiverambiental.com.br/produtos.php>>. Acesso em 7 dez. 2014.

VITTE, A. C.; MELLO, J. P. **Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico.** Climatologia e Estudos da Paisagem, Rio Claro, v2, nº2, p107-118, 2007.