



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BIOTÉCNICAS NO
CONTROLE DA EROSÃO EM TALUDES**

SUÉLICA MÔNICA DA SILVA LIMA

Orientador: Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Marcus Metri Correa

**RECIFE, PE
AGOSTO, 2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

SUÉLICA MÔNICA DA SILVA LIMA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BIOTÉCNICAS NO
CONTROLE DA EROSÃO EM TALUDES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de Concentração de Gestão Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Marcus Metri Correa

RECIFE, PE
AGOSTO, 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BIOTÉCNICAS NO CONTROLE
DA EROÇÃO EM TALUDES**

SUÉLICA MÔNICA DA SILVA LIMA

APROVADA EM: _____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. DSc. Vicente de Paulo Silva
Orientador

Prof. DSc. Prof. Romildo Morant de Holanda
Membro Interno

Prof. DSc. Raimundo Mainar de Medeiros
Membro Externo

Coordenador do PPEAMB

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

L732a Lima, Suélica Mônica da Silva
Avaliação do desempenho de biotécnicas no controle da erosão
em taludes / Suélica Mônica da Silva Lima. – Recife, 2017.
52 f.: il.

Orientador(a): Vicente de Paulo Silva.

Coorientador(a): Marcus Metri Corrêa.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental, Recife, BR-PE, 2017.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Solos – Erosão 2. Bioengenharia 3. Taludes (Mecânica do solo)
4. Impacto ambiental I. Silva, Vicente de Paulo, orient. II.
Corrêa, Marcus Metri, coorient. III. Título

CDD 628

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por tudo que foi, é, e será;

Ao meu Amado, Fernando Sobrinho, por todo amor, paciência e paz que só ele tem, e que me faz mais forte e consciente para ver o melhor em mim e no mundo;

A minha mãe, Simone Carvalho, pelo amor, apoio e incentivo dado desde sempre;

Aos familiares que sempre me apoiaram, principalmente minha avó (mainha) Silvia;

Aos amigos irmãos, pelo estímulo e compreensão;

A Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pela oportunidade e auxílio no desenvolvimento da pesquisa;

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), por todo apoio e condição de seguir no caminho da pesquisa;

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFRPE, em especial ao Dr. Vicente de Paula, por todo tempo e conhecimento compartilhado;

Ao Professor Ramon Cantalice pela oportunidade de trabalhar e concluir o experimento no Laboratório de Engenharia de Conservação do Solo e Água;

Ao Professor Manuel Ferreira pelo auxílio e impulso inicial para o desenvolvimento do trabalho e por todo apoio durante o mestrado;

Ao Eric, pelo auxílio em laboratório e ao Dr. Wagner Luís pelo tempo cedido e conhecimento doado;

Aos colegas de mestrado, pela caminhada nada fácil, mas prazerosa do desenvolvimento científico;

Aos técnicos e colegas da UFRPE-UACSA por todo auxílio e compressão no desenvolvimento do experimento;

Ao Sr. Luciano Capitão, por todo tempo, força e determinação para que fosse possível concluir a instalação do experimento;

A Construtora Pottencial e seus responsáveis técnicos, pelo apoio na instalação do experimento e no seu acesso;

A Viaencosta, pela contribuição em materiais para o desenvolvimento do experimento;

Ao Rogério Barros, por auxiliar no plantio da área experimental e por compartilhar tantos conhecimentos;

A todos que fizeram parte desse ciclo, por todo e qualquer sentimento e pensamento positivo.

RESUMO

A erosão do solo tem causado impactos ambientais em taludes de corte ou de aterros de estradas tanto em zonas rurais, quanto nas áreas urbanas. A estabilização de encostas e de taludes através do controle da erosão se faz possível estabelecendo-se vegetação permanente, o que é facilitado com o emprego de técnicas de bioengenharia de solo, como por meio da utilização de mantas biodegradáveis aliado à vegetação permanente. Com o objetivo de avaliar a eficiência de biomantas no estabelecimento dessa vegetação para o controle da erosão em taludes, foi conduzido um experimento no campus da UFRPE na Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA), no Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco. Para tanto, foi utilizado um talude com inclinação de 33,5° (66% de declividade) onde foram avaliadas as perdas de solo e água por erosão sob condição de chuva natural em cinco parcelas hidroerosivas: Parcela A - fibra de sisal e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*; Parcela B - enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica Steud*); Parcela C - manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*); Parcela D - saco de aniagem e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*; Parcela E - biomanta de fibra de coco e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*. No período experimental entre 01 de junho a 24 de agosto de 2016, a precipitação pluvial foi de 356,50mm, com 4.566,70 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ de erosividade. As parcelas com maiores perdas de solo foram manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) – Parcela C e enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica Steud*) – Parcela B, com 49.560kg ha⁻¹ e 27.500kg ha⁻¹, respectivamente, tendo as demais parcelas: saco de aniagem e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens* – Parcela D; biomanta de fibra de coco e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens* – Parcela E; e manta de fibra de sisal e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens* – Parcela A as que apresentaram menores perdas de solo, 18.760 kg ha⁻¹; 17.390 kg ha⁻¹; e 9.730 kg ha⁻¹, respectivamente. As maiores perdas de água ocorreram nas parcelas com as biotécnicas fibra de sisal e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens* (281,69 l/10 m²); manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) (202,75 l/10 m²) e saco de aniagem e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens* (152,06 l/10 m²); as demais técnicas, biomanta de fibra de coco e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens* e enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica Steud*) tiveram perdas de 95,56 l/10 m² e 67,31 l/10 m², respectivamente. De acordo com o período de estudo conclui-se que a manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) e o enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica Steud*) não foram adequados na proteção de perdas de solo, por terem apresentados maiores perdas. A fibra de sisal e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens* e a manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) mostraram-se inadequadas na proteção devido às perdas de água.

Palavras-chave: bioengenharia de solo; proteção de talude; erosividade.

ABSTRACT

Soil erosion has caused environmental impacts in slopes of embankments in rural areas as in urban areas. Slope stabilization and erosion control on slopes is possible by permanent vegetation establishment, which is facilitated by the use of bioengineering techniques, such as using biodegradable blankets. In order to evaluate the efficiency of biodegradable blankets in establishment of permanent vegetation and erosion control on slopes, was conducted an experiment on the campus of UFRPE in Cabo de Santo Agostinho, PE. On 33.5° degrees (66% slope) was evaluated the soil and water losses by erosion under natural rainfall condition in five erosion plots: Plot A - sisal fiber and hydroseeding of *Brachiaria Decumbens*; Plot B - plant of emerald grass (*Zoysia japonica Steud*); Plot C - sisal fiber blanket and vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*); Plot D – handmade biomantle was produced from sisal cords and hydroseeding of *Brachiaria Decumbens* e Plot E - biomantle with biodegradable blanket of coconut fiber and hydroseeding of *Brachiaria Decumbens*. The experimental period was between 01 june and 24 august 2016, rain precipitation was 356,50 mm, with 4.566,70 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ of erosivity. The plots with greater soil loss were sisal fiber blanket and grassy vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) – Plot C and plant of emerald grass (*Zoysia japonica Steud*) - Plot B, with 49.560 kg ha⁻¹ and 27.500 kg ha⁻¹, respectively. The others plots showed smaller losses of soil, 18,760 kg ha⁻¹; 17,390 kg ha⁻¹; and 9,730 g ha⁻¹. The greatest losses water occurred in the plots sisal fiber and hydroseeding of *Brachiaria Decumbens* (281.69 l/10m²); Sisal fiber blanket and Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) (202.75 l/10m²) and Biomantle was produced from Sisal cords and hydroseeding of *Brachiaria Decumbens* (152.06 l/10.m²); the other techniques, biomantle with biodegradable blanket of coconut fiber and hydroseeding of *Brachiaria Decumbens* and plant of emerald grass (*Zoysia japonica Steud*) had losses of 95.56 l/10m² and 67.31 l/10m², respectively. According to the period of study it is concluded that the Sisal fiber blanket and grassy vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) and the Plant of emerald grass (*Zoysia japonica Steud*) were not adequate in protecting soil losses, for having presented major losses. The sisal fiber and hydroseeding of *Brachiaria Decumbens* and the sisal fiber blanket and vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) were shown inadequate in protecting due to water loss.

Keywords: soil bioengineering; slope protection; erosivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da UFRPE – UACSA (a); Área de construção da UFRPE com vista dos taludes de aterro (b).....	25
Figura 2 – Média mensal dos valores de precipitação da estação da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), código 603 durante o período de 2016.....	25
Figura 3 – Área escolhida para instalação do experimento.....	26
Figura 4 – (a) Instalação das lâminas de zinco; (b) Instalação das escadas.....	28
Figura 5 - Parcela hidroerosiva instalada com coletor de sedimentos.....	29
Figura 6 - Parcelas hidroerosivas instaladas.....	31
Figura 7 – a) Homogeneização do material escoado no coletor de sedimentos; b) Coleta da alíquota do material sedimentado; c) Amostras coletadas.....	32
Figura 8 – Distribuição temporal das precipitações totais semanais (mm) da estação de código 603 no período de 01/06/16 a 24/08/16.....	36
Figura 9 – Precipitação pluvial e erosividade mensal.....	37
Figura 10 – Volume de suspensão água + solo escoado (a) e massa de solo (b) perdida nas parcelas durante as treze coletas ocorridas no período avaliado.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens dos métodos da bioengenharia.....	18
Tabela 2 – Comparativo das principais técnicas empregadas na proteção de taludes.....	19
Tabela 3 – Caracterização química dos substratos.....	27
Tabela 4 – Frações granulométricas e textura do solo nas parcelas.....	33
Tabela 5 – Valores da densidade do solo, das partículas e porosidade total do solo das parcelas.....	34
Tabela 6 – Análise química do solo.....	34
Tabela 7 – Caracterização das chuvas erosivas.....	36
Tabela 8 - Perdas totais de solo no período experimental.....	38
Tabela 9 – Volume de suspensão escoada e massa de solo perdida para as treze coletas, considerando os diferentes biotécnicas nas parcelas.....	39
Tabela 10 - Perdas de água por parcela no período experimental.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A** - Perda anual de solo;
- APAC** - Agência Pernambucana de Águas e Clima;
- Al⁺³** - Alumínio; **H⁺** - hidrogênio extraível;
- C** - Fator de uso e manejo do solo;
- °C** - Graus Celsius
- Ca⁺²** - Cálcio;
- cm** - Centímetro
- CTC** - Capacidade de Troca Catiônica;
- DNIT** - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes;
- gcm⁻³** - Grama por metro cúbico;
- K** - Fator de erodibilidade do solo;
- K⁺** - Potássio;
- kg ha⁻¹** - Quilograma por hectare;
- km** - Quilometro;
- l** - Litro;
- LS** - Fator de comprimento de rampa;
- m** - Metro
- m²** - Metro quadrado
- m³** - Metro cúbico;
- mm** - Mililitros
- Mg⁺²** - Magnésio;
- M.O.** - Matéria orgânica;
- P** - Fator de práticas conservacionistas;
- R** - Fator de erosividade da chuva;
- RUSLE** - Revisão da Equação Universal de Perdas de Solo;
- S** - Fator de declividade de rampa;
- t. ha⁻¹ ano⁻¹** - Tonelada por hectare ano;
- UFRPE** - Universidade Federal Rural de Pernambuco;
- UFRPE/UACSA** - Universidade Federal Rural de Pernambuco Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho;
- USLE** - (Universal Soil Loss Equation) - Equação Universal de Perdas de Solo.

SUMÁRIO

1.Introdução.....	13
2.Objetivos.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Especificos.....	15
3. Revisão de literatura.....	16
3.1. Bioengenharia de Solos.....	16
3.1.1 Principais Técnicas de Revegetação de Taludes.....	18
3.2 Erosão.....	20
3.2.1 Erosão em Taludes.....	23
4. Materiais e métodos.....	24
4.1 Caracterização da Área de Estudo.....	24
4.2 Caracterização da Área Experimental.....	26
4.3 Caracterização do Solo.....	26
4.3.1 Composição Granulométrica do Solo.....	26
4.3.2 Densidade das Partículas do Solo e Porosidade do Solo.....	27
4.3.3 Análises Químicas do Solo.....	27
4.4 Preparo da Área e Instalação das Parcelas Hidroerosivas do Experimento.....	28
4.5 Tratamento Experimental e Sistema de Coleta do escoamento Superficial.....	29
4.5.1 Coletas de Amostras do Escoamento Superficial para Determinação das Perdas de Solo e Água por Erosão.....	31
4.5.2 Avaliação do Volume Total e da Erosividade das Chuvas.....	31
4.5.3 Quantificações das Perdas de Solo e de Água.....	31
4.5.4 Análise dos Dados.....	33
5. Resultados e Discussão.....	33
5.1 Caracterização da Área.....	33
5.1.1 Análises Físicas do Solo.....	33
5.1.2 Caracterização Química.....	34
5.2 Avaliação do Escoamento Superficial e das Perdas de Sedimentos e Água por Erosão.....	35
5.2.1 Quantidade Total e Erosividade das Chuvas no Período	

Experimental.....	35
5.2.2 Perdas de Sedimento e Água por Erosão.....	37
6. Conclusão.....	43
7. Referências Bibliográficas.....	44
8. Apêndice A - Topografia.....	52

INTRODUÇÃO

O Brasil possui mais de 1.750.000 km de estradas e rodovias distribuídas por todos os seus estados. Estas constituem o principal sistema de transporte de cargas e passageiros do País, tendo, portanto, grande importância social e econômica para o Brasil. Devido à importância desse sistema existe uma necessidade constante de melhorar as características das rodovias. A construção de estradas pode causar diversos impactos ao meio ambiente e ao meio antrópico, como perda da diversidade da fauna e flora, degradação do solo e danos a sítios históricos. Há uma variedade significativa de fatores causadores da degradação, esses fatores podem atuar diretamente ou indiretamente sobre o solo. Entre eles, pode-se afirmar que na maioria dos casos, por exemplo, a degradação tem início pelo desmatamento que é seguido por diferentes formas de ocupação de terra (GUERRA e JORGE, 2014). As alterações das propriedades e características do ambiente, em conjunto com as características fisiográficas da área de implantação do projeto, predisõem e condicionam o meio a inúmeros fenômenos de dinâmica superficial, sendo o mais comum a erosão do solo, que causa perdas e danos econômicos e ambientais.

A erosão se apresenta como uma das principais causas das perdas das capacidades do uso da terra (OROZCO, 2009). No geral esse tipo de perda de solo ocorre em regiões que apresentam solos classificados como altamente erodíveis, de relevo íngreme e com proteção vegetal escassa, além de características climáticas e pluviométricas locais favoráveis. Diz-se da combinação de fatores de solo, topografia, cobertura vegetal, e clima, erosão hídrica (OROZCO, 2009).

Projetos que envolvem movimentação de terra criam, muitas vezes, taludes íngremes e sem proteção superficial. Esses taludes estão sujeitos às intempéries naturais, as variações diárias e sazonais de chuvas, temperatura, umidade e vento. Tais fatores contribuem significativamente nas dificuldades técnicas para a reabilitação ambiental da área. Segundo LIMA (2014), o desenvolvimento dos processos erosivos é o principal problema ambiental reflexo da construção de rodovias.

Dos diversos danos encontrados nas estradas do Brasil, muitos desses são provenientes de processos erosivos em taludes de corte e ou aterro. A execução de taludes permite o surgimento de superfícies mais frágeis devido à exposição do solo, o que compromete a sua recuperação e estabilidade (CARDOSO et al., 2009). Segundo SOUZA (2000), 75% dos processos erosivos nas estradas ocorrem em taludes. Quando as faces dos taludes estão expostas à ação das chuvas e dos ventos tem-se como reflexo altas taxas de

erosão, que resultam em grande perda de solo, reduzindo o tempo de vida útil dessas obras de terra e aumentando os riscos de acidente e problemas ambientais, como desmoronamento, soterramento de estradas, entupimento do sistema de drenagem e desenvolvimento de voçorocas.

Há todos os anos vários episódios envolvendo movimentação de terra, que são responsáveis por tragédias ambientais e sociais. Diante da realidade de degradação ambiental, danos sociais e acidentes crescentes e preocupantes, tem-se a necessidade de ampliar o conhecimento acerca das técnicas de proteção de talude e intensificar pesquisas embasadas nas diversas metodologias disponíveis para constatar a eficácia desses modelos e ter segurança da escolha dessas técnicas, muitas vezes mais baratas, em detrimento de técnicas e modelos comumente disponíveis no mercado.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de técnicas de bioengenharia de solo na conservação e proteção de um talude de aterro rodoviário.

2.2 Objetivos Específicos

- i. Avaliar se a precipitação e a erosividade durante o período de desenvolvimento do experimento apresenta riscos de perda de sedimentos e de água;
- ii. Avaliar o comportamento erosividade durante o período do experimento e seu potencial erosivo;
- iii. Verificar quais parcelas e suas respectivas biotécnicas contribuem para uma maior perda de água e sedimentos;
- iv. Verificar se existe relação direta das perdas de solo com as perdas de água observadas para os diferentes tipos de biotécnicas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Bioengenharia de Solos

Segundo MORGAN e RICKSON (1995), os termos bioengenharia de solo e engenharia biotécnicas de solo muitas vezes são comumente confundidos em suas definições de uso.

Segundo GRAY e SORTIR (1995), a bioengenharia de solos avalia os efeitos de todas as estruturas das plantas, pois essas estruturas (folha, caule e raiz) atuam como elementos mecânicos na proteção do solo.

A engenharia biotécnica ou controle biotécnico de encosta utilizam em consórcio materiais biológicos, como espécies vegetais, com matérias inertes naturais ou sintéticos, como rochas, madeiras e biomantas. Ainda segundo GRAY e SORTIR (1995), o benefício para ambas as partes ocorrem quando se tem um talude com a obra de estabilização, desenvolvimento vegetal e estético na construção.

Segundo PORTOCARRERO (2009), técnicas de bioengenharia são utilizadas desde os povos antigos da Ásia e da Europa. Entre os relatos históricos conhecidos, sabe-se que na China o uso dessas técnicas para reparos em diques datam desde o ano 28 a.C. Assim como os chineses muitos povos utilizaram dessas técnicas para estabilizar margens de rios, canais, barragens e encostas.

PORTOCARRERO (2009) destaca que a bioengenharia de solos é o estudo dos efeitos de determinados tratamentos que envolvem técnicas de plantio, cobertura de solo, adubação entre outras, já a engenharia biotécnica é uma técnica que combina materiais naturais a elementos inertes, com o objetivo de estabilizar e controlar processos erosivos em taludes e encostas.

Segundo OROZCO (2009), bioengenharia de solos refere-se ao estudo dos efeitos de uma única espécie vegetal, conjunto de plantas ou partes delas, na estabilização de solos, com objetivo de mitigar problemas ambientais. Portanto, a bioengenharia de solos atua diretamente no estudo dos efeitos que as estruturas das plantas (caule, raiz e folha) sobre o solo e suas características.

Segundo GRAY e SORTIR (1995), o uso de biotécnicas de solo estão cada vez mais comum e evidenciado, devido aos baixos custos, sendo utilizadas como complemento de

técnicas convencionais ou mesmo às substituindo. A utilização de materiais naturais proveniente da região barateia os custos das obras.

Diferentes classificações para a bioengenharia de solos têm sido descritas por vários autores (GRAY e SOTIR, 1996; SCHIECHTL e STERN, 1996, ARAUJO et al., 2005). Segundo SCHIECHTL e STERN (1996), técnicas de bioengenharia de solos são divididas em quatro grupos:

a. Técnicas de proteção do solo: protegem rapidamente o solo por meio da ação de uma cobertura, controlando a erosão superficial e a degradação imediata. Melhora a retenção da água e promove a atividade biológica. Exemplo desta técnica são as biomantas antierosivas fabricadas com fibras vegetais ou sintéticas.

b. Técnicas de estabilização de solos: são projetadas para reduzir ou eliminar distúrbios de forças mecânicas. Elas estabilizam e seguram taludes sujeitos a deslizamentos por meio da penetração de raízes, diminuindo a poro-pressão através da transpiração e melhorando a drenagem. Geralmente esta técnica é complementada por trabalhos de proteção do solo para resguardá-lo contra a erosão.

c. Técnicas de construção combinadas: combina o uso de plantas vivas com materiais inertes (pedra, concreto, aço, plástico) com o objetivo de segurar taludes instáveis. Isto incrementa a eficiência e a expectativa de vida das medidas empregadas.

d. Técnicas de construção complementares: inclui semeadura e plantio e objetiva afiançar a transição do estágio de construção ao projeto completo.

As diversas combinações de materiais, suas eficiências no desempenho da estabilização dos taludes e encostas tem melhorado o impacto visual de taludes e encostas, antes degradadas, e que recuperadas, ampliaram suas áreas verdes.

Na Tabela 1 são mostradas as técnicas de uso da bioengenharia de solos que possuem as seguintes vantagens:

Tabela 1 – Vantagens dos métodos da bioengenharia

Ecológicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de materiais biodegradáveis; ✓ Melhoramento da estrutura do solo e formação do horizonte superior; ✓ Regulação da umidade e temperatura da superfície do solo; ✓ Equilíbrio no regime hídrico do solo (interceptação, evaporação e armazenamento); ✓ Criação de habitat para a fauna e flora local;
Econômicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Redução dos custos de construção e manutenção; ✓ Criação de áreas agricultáveis e de lazer.
Estéticas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Integração das estruturas à paisagem; ✓ Melhoria no impacto visual.
Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento na estabilidade da encosta através do reforço e drenagem do solo pelas raízes; ✓ Proteção contra erosão superficial; ✓ Proteção contra os ventos.

Fonte: ARAUJO et al., (2005).

Segundo BIFULCO (2013), nem sempre as técnicas de bioengenharia de solo podem ser utilizadas, pois apresentam pouca eficiência em terrenos rochosos, onde quase não há área de solo para o desenvolvimento das raízes das plantas.

3.1.1 Principais Técnicas de Revegetação de Taludes

Segundo FERNANDES (2004), no Brasil ainda não há uma padronização técnica quanto ao estabelecimento de vegetação em taludes de corte de estradas. Para a revegetação ou vegetação de taludes, existem algumas metodologias que são mais empregadas, cada qual com suas vantagens e desvantagens (Tabela 2).

Os objetivos de cada projeto é que definem qual metodologia será utilizada. Esses objetivos podem variar desde uma área jardinada para deixar o ambiente mais agradável visualmente, até o estabelecimento de uma cobertura vegetal rica em espécies capazes de prover as condições necessárias para o desenvolvimento de todo um ecossistema autossustentável.

Nos taludes sem cobertura vegetal, o solo fica exposto e sujeito às intempéries, principalmente das águas da chuva que escoam sobre a superfície do talude descoberto, transportando sedimento, dando início ao processo erosivo, abrindo sulcos que podem vir a

evoluir para ravinas e voçorocas (LONDE e BITAR, 2011). Portanto, a recomposição da vegetação é uma prática indicada para a conservação de taludes, pois tem o papel importante de evitar o processo erosivo e conseqüentemente desmoronamentos, soterramento de estradas e assoreamento de rios (HOLANDA et al, 2010). Segundo CARVALHO (2012), escorregamentos, movimentos de massa e a perda de solo por erosão reduz o potencial natural de revegetação, desvalorizando terras e sua produtividade.

Tabela 2 - Comparativo das principais técnicas utilizadas para a proteção de taludes

Técnicas	Vantagens	Desvantagens
Enleivamento (Placa de grama)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revestimento imediato do solo; ✓ Valor paisagístico. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Custo relativamente elevado; ✓ Dificulta a entrada de outras espécies no sistema; ✓ Sistema radicular é pouco profundo e geralmente requer manutenção periódica (adubação).
Hidrossemeadura	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rapidez e economia para grandes áreas; ✓ Eficácia para locais de difícil acesso; ✓ Custos relativamente baixos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Necessidade de existência de fontes de água nas proximidades para realizar o serviço; ✓ Necessidade de repasses para recobrimento de falhas; ✓ Utilização de um número maior de sementes que o semeio manual; ✓ Utilização de mão de obra especializada.
Plantio em covas/ semeadura a lanço	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Economia para as pequenas áreas; ✓ Favorecimento da entrada de novas espécies, conferindo uma maior biodiversidade; ✓ Não requer a utilização de mão de obra especializada. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aporte considerável de recursos para grandes áreas, o que muitas vezes a torna inaplicável. ✓ Rendimento em áreas íngremes é baixo. Há ainda os riscos operacionais.
Transposição de serapilheira	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diversidade de espécies presentes no banco de sementes; ✓ Protege a superfície do solo dos raios solares, amenizando as temperaturas, das chuvas e ventos, e conserva a umidade; ✓ Ambiente criado facilita a auto sustentabilidade do sistema; ✓ Custo relativamente baixo; ✓ Heterogeneidade de espécies, a fauna associada incrementa o aspecto paisagístico. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dano ecológico causado no local de retirada; ✓ Uso restrito, pequenas áreas com declividade reduzida.

Tabela 2 – (Continuação) Comparativo das principais técnicas utilizadas para a proteção de taludes.

Saco de aniagem	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revestimento imediato; ✓ Diversidade biológica e fornecimento de substrato para os primeiros meses; ✓ Recomendada para o controle e a recuperação de voçorocas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Custo relativamente elevado; ✓ Baixo rendimento operacional – ergonomicamente problemático e tempo relativamente alto para costura e compartimentalização dos sacos; ✓ Dificuldades de fixação dependendo da inclinação e das condições físicas do talude.
Geotêxtil	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rápida aplicação; ✓ Controle imediato da erosão; ✓ Elevada eficiência, além da utilização em conjunto com outras práticas, como hidrossemeadura e plantio manual. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Custos elevados, geralmente com as despesas com o transporte do material e a carência de informação por parte dos empreendedores.
Fibra de sisal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicação relativamente rápida; ✓ Tem-se mostrado eficiente no controle da erosão; ✓ A fibra do Sisal beneficia gera empregos diretos e indiretos por meio de sua cadeia produtiva; ✓ Pode ser utilizada em conjunto com outras práticas, como hidrossemeadura e plantio manual. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ As folhas do Sisal produzem uma fibra altamente resistente que é utilizada para produzir biomantas para proteção de encostas; ✓ Encontram-se sendo realizadas pesquisas para melhor avaliação e durabilidade em suas aplicações.

Fonte: MORRETO, 2012.

3.2 Erosão

Dentre os fatores que contribuem para a criação de áreas degradadas no que se refere à poluição do solo encontram-se os processos erosivos. De modo geral a degradação do solo é resultado das atividades antrópicas, porém também ocorre através de processos naturais. O conceito é bastante amplo, mas pode-se caracterizar a degradação ambiental do solo como a redução dos diversos usos possíveis da terra, os usos potenciais ou estabelecidos em planejamento, a partir de processos antrópicos e naturais atuantes sobre o solo (MAGALHÃES, 2005).

A forma mais comum de degradação do solo é a erosão, pois se apresenta como uma das principais causas das perdas das capacidades do uso da terra. No geral essa perda de solo ocorre em regiões que apresentam solos altamente erodíveis, relevo íngreme e proteção vegetal escassa, além das características climáticas, portanto, a erosão hídrica é definida a partir tipo de solo, da topografia, cobertura vegetal, e do clima (OROZCO, 2009). A erosão e

os movimentos de massa são processos naturais que agem sobre o solo e rochas modificando a geomorfologia da terra, que podem ter sua intensidade e frequência influenciadas pela intervenção antrópica.

A legislação brasileira define que áreas degradadas derivadas de atividade antrópicas devem ser remediadas, com objetivo de minimizar os danos causados, preservar e restaurar as o meio ambiente e a paisagem (ANDRADE e MAHLER, 2000).

O processo erosivo é basicamente formado por três eventos sequenciais: no primeiro momento ocorre o desprendimento das partículas do solo, depois ocorre à mobilização e transporte das partículas, e por fim, deposição das partículas. Segundo GRAY e SOTIR (1996), a erosão superficial é um processo de destacamento e transporte de partículas do solo retirando sua camada superficial pela ação de agentes externos, na qual a erosão hídrica e a eólica são as formas mais comuns desse processo.

A erosão hídrica se inicia com o impacto das gotas das chuvas sobre a superfície do substrato, desagregando e movimentando as partículas soltas que são carregadas com a água por caminhos. BASTOS et al. (2001), afirmam que o desprendimento das partículas e o transporte são reflexos resultantes da ação da gota da chuva e da ação da força de cisalhante do escoamento superficial, que constitui a fase inicial e mais relevante da erosão hídrica. A erosão hídrica é diretamente proporcional ao escoamento superficial, e este é diretamente proporcional à declividade do terreno e inversamente proporcional à cobertura do solo (BEZERRA e CANTALICE, 2006; INÁCIO et al., 2007).

Para SELBY (1993) a erosão é uma função da erosividade e da erodibilidade, na qual a erosividade a habilidade potencial de um processo em causar erosão, como por exemplo, intensidades distintas de chuvas que provocam diferentes efeitos sobre o solo, enquanto a erodibilidade é a vulnerabilidade do solo em sofrer um processo erosivo.

Alguns processos erosivos são definidos pela ação da água da chuva, que desintegra as partículas do solo e que por consequência provoca o seu transporte. Têm-se como fatores da erosão hídrica que causam o desprendimento das partículas do solo: o impacto das gotas de chuva, os agentes químicos, a atuação das forças capilares ou de sucção, e atuação de forças cisalhantes oriundas do fluxo e atuação das ondas (CARVALHO et al., 2001).

Para BERTONI e LOMBARDI NETO (2014), a chuva é definida como um dos fatores climáticos responsáveis pelo processo da erosão de maior importância e destaque. A intensidade das chuvas é o fator principal causador da erosão capaz de modificar a estrutura do solo.

A erosão de taludes causa a desagregação dos solos. A degradação física do solo é um dos principais processos responsáveis pela redução da qualidade estrutural do solo e pelo aumento da erosão hídrica (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014). Segundo GRAY e SORTIR (1996), as variáveis topográficas que mais influenciam na erodibilidade do talude são o comprimento e a declividade, e quanto à proteção do talude o tipo e a extensão da cobertura vegetal são fatores que possuem elevada influência a susceptibilidade à erosão.

Para os autores GUERRA e CUNHA (1998), a erosão é mais expressiva e causa maiores danos em países de clima tropical, devido ao regime hidrológico, a geomorfologia e as formas de ocupação do solo inadequadas tanto nas áreas rurais, quanto no meio urbano.

A análise da erosão a partir da medição do volume do material erodido é uma das mais fáceis e úteis para a avaliação do efeito de diferentes tipos de solo e, sobretudo, da eficiência das diferentes práticas de controle da erosão (LAL, 1994).

O sistema de determinação do volume da perda varia grandemente com a área do terreno considerada e com as modalidades de uso do solo. Varia desde pequenas instalações de laboratórios com coleta total do material erodido, até estudo de perdas em grandes bacias hidrográficas por meio de medições de vazão e de análises periódicas de material transportado em grandes cursos d'água. Na coleta de uma fração, apenas uma alíquota da enxurrada é coletada e, por essa fração é avaliado o volume total (COGO, 1978). As estimativas das perdas de solo serão realizadas com base no modelo USLE (Universal Soil Loss Equation/ Equação Universal de Perdas de Solo) descrito pela Equação:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Em que:

A = perda anual de solo ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R = fator de erosividade da chuva ($M J \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

K = fator de erodibilidade do solo ($t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

LS = fator de comprimento de rampa (adimensional);

S = fator de declividade de rampa (adimensional);

C = fator de uso e manejo do solo (adimensional); e

P = fator de práticas conservacionistas (adimensional).

A equação avalia a perda de solo, tendo como parâmetro os fatores que interferem no processo erosivo, sendo estes: erosividade da chuva e do escoamento; erodibilidade; comprimento e grau do declive; manejo e cobertura vegetal e, por fim, as práticas conservacionistas.

Para AMORIM et al. (2010) a USLE (Equação Universal de Perdas de Solo) trata-se de uma equação empírica, pois apenas discrimina a participação dos fatores envolvidos no processo. ARAUJO et al. (2005) listam as seguintes limitações da USLE: caráter empírico; avalia perda média de solo anual; não prevê erosão por voçorocas e; não prevê deposição de sedimentos. No entanto, quando utilizada num período preestabelecido, em um processo de degradação em estágio inicial, pode fornecer uma boa estimativa de erosão. Pesquisadores continuaram estudando o processo erosivo com o objetivo de aperfeiçoar cada vez mais as estimativas de perda de solo, esses estudos resultaram na Revisão da Equação Universal de Perdas de Solo (RUSLE) (RENARD et al.,1997).

3.2.1. Erosão em Taludes

Sob o nome genérico de taludes compreendem-se quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha. Podem ser naturais, caso das encostas, ou artificiais, como os taludes de cortes e aterros (CAPUTO, 1998).

O Manual de Conservação Rodoviária do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) considera a revegetação de taludes como condicionantes ambientais específicas vinculados às construções de instalações de obras de jazidas e caixas de empréstimos e de obras de aterros, cortes e bota-foras (DNIT, 2005).

As técnicas de estabilização e vegetação de taludes de corte de estradas estão associadas aos objetivos do empreendimento, pois no Brasil não há padronizações de técnicas para esse fim (FERNANDES, 2009). Segundo o autor as técnicas de plantio de placa de grama; plantio em covas/semeadura a lanço; transposição de serrapilheira e hidrossemeadura são comumente utilizadas. O DNIT (2009) comenta a técnica de distribuição de placas de gramas espaçadas no terreno semelhante a um tabuleiro de xadrez, com o propósito de minimizar os custos. Para declives mais acentuados, deve-se utilizar também estacas para fixação nas placas, para evitar deslizamento e perda do material instalado na área.

O DNIT (2009) cita a relação custo benefício da utilização de gramíneas como vantagem, pois segundo o órgão, a sua aplicação e manutenção são de baixo custo, além de

um rápido desenvolvimento na fase inicial, resistência a pragas, assim como, tolerância a solos de pH ácidos.

Segundo ALHO (2006), a construção de vias em obras de estradas tem reflexos diretos na alteração do solo, no relevo e paisagem, devido a exposição do solo em extensão e declive. Para o mesmo autor, as perdas de solo em taludes são de 10 a 20 vezes maiores que as perdas em áreas de atividade agrícola. O declive do talude é um importante fator, pois quando associado às perdas de solo resulta numa condição de difícil regeneração natural da área, portanto, de difícil revegetação (MARIANI, 2016).

Para PEREIRA (2008), a eficiência na implantação da vegetação no controle da erosão e a redução dos custos estão ligadas à escolha das espécies vegetais e suas quantidades ou proporções necessárias, sendo determinante na seleção das espécies as características do local, como, textura do solo, pH, precipitação e temperatura, portanto, é de grande importância o conhecimento das espécies para aplicação na área que será revegetação.

Estruturas de arrimo, sistema de drenagem superficial e subsuperficial, trincheiras, retaludamento, mudanças geométricas, uso de geomantas e técnicas de bioengenharia do solo são algumas técnicas usualmente aplicadas na estabilização de taludes (MORETTO, 2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

Trabalho experimental de campo foi conduzido no município de Cabo de Santo Agostinho-PE. A área está situada em um dos taludes de aterro da futura instalação da Universidade Federal Rural de Pernambuco Campus Cabo de Santo Agostinho (UFRPE - UACSA), nas proximidades do bloco onde serão as instalações a biblioteca e as margens da futura rodovia estadual PE – 033 que ligará a BR-101 sul à PE - 060.

Figura 1 – Localização da UFRPE – UACSA (a); Área de construção da UFRPE com vista dos taludes de aterro (b).



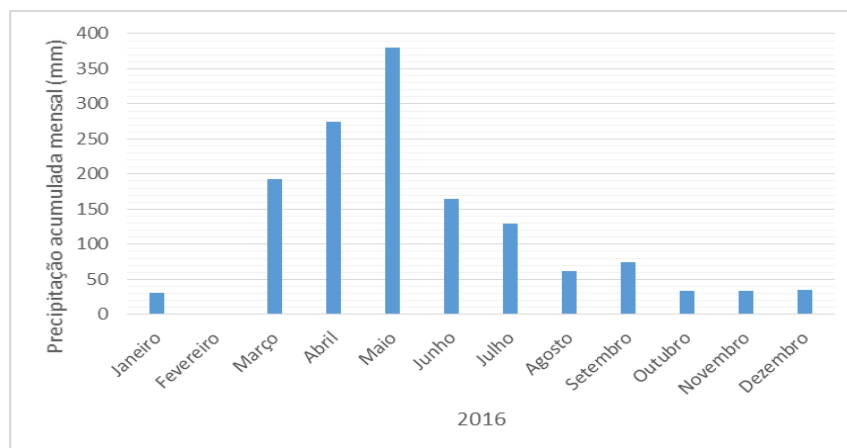
Fonte: Google Maps.



Fonte: Acervo UFRPE/UACSA

Para coleta das informações e acompanhamento dos eventos chuvosos no período de estudo foi utilizado a estação pluviométrica da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), código 603, localizado a aproximadamente 03 km de distância da área experimental. A distribuição média mensal das chuvas no ano de 2016 pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 – Precipitação Média mensal da estação da APAC (código 603) durante o ano de 2016.



O talude escolhido para instalação do experimento encontra-se nas coordenadas geográficas de 8° 18' 51" Latitude Sul e 35° 4' 6" Longitude Oeste e 50 m de altitude e possui inclinação média com ângulo de 33,5°, ou seja, com 66% de declividade.

Figura 3 – Área da instalação do experimento.



Fonte: Acervo UFRPE/UACSA

O solo do local foi construído por material de aterro para conformação do talude, tendo sofrido alterações nas suas características originais. Por isso, não é adequado utilizar a classificação para solos agrícolas conforme a metodologia descrita no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

4.2 Caracterização da Área Experimental

Uma faixa contínua do talude ao longo do declive com largura de 5,0 m e comprimento de 15,0 m foi estabelecida para realizar coletas de amostras de solo para caracterização do solo da área. Para tanto se efetuou análise granulométrica, densidade das partículas, densidade do solo, porosidade do solo argila natural, grau de flocculação e umidade residual e análises químicas.

4.3 Caracterização do Solo e Descrição das Coletas

4.3.1 Composição Granulométrica do Solo

A granulometria do solo que compõe a área foi definida a partir do método da EMBRAPA (2015), utilizando-se hidróxido de sódio 6% como dispersante químico do solo no aparelho dispersor de solos de bancada da marca Solo Test. Coletaram-se, com o auxílio

do trado holandês, um total de 05 amostras compostas. De cada parcela foram retiradas 03 subamostras na profundidade de 0 a 20 cm, em cada terço da área.

4.3.2 Densidade das Partículas do Solo e Porosidade do Solo

A densidade das partículas e a densidade do solo foram determinadas a partir de amostras indeformadas coletadas em cada parcela, utilizando o método do anel volumétrico descrito no Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 1997). A porosidade do solo foi determinada analiticamente a partir dos valores da densidade das partículas e do solo determinadas anteriormente.

4.3.3 Análises Químicas do Solo

Análises químicas foram efetuadas para avaliar a fertilidade do solo do talude no local do experimento. Coletou-se uma amostra composta de 03 pontos nos locais onde seriam instaladas as parcelas hidrossedimentares, com trado holandês na profundidade de 20 cm, sendo posteriormente acondicionadas em sacos plásticos de 1,0 l e levadas para o laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Agronomia da UFRPE para procedimento das análises. Os parâmetros foram determinados, segundo EMBRAPA (1999) e encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização química dos substratos.

Parâmetros	Unidades	Método
pH (água)	(-)	Método do eletrodo combinado
K ⁺	cmolc . dm ⁻³	Solução extratora Merlich 1
Ca ⁺²	cmolc . dm	Método de cloreto e potássio 1 normal
Mg ⁺²	cmolc . dm	Método de cloreto e potássio 1 normal
CTC	cmolc . dm	CTC = S + (H ⁺ + Al ⁺³)
Al ⁺³	cmolc . dm ⁻³	Solução extratora de KCl 1N
H ⁺	cmolc . dm ⁻³	pH em água abaixo de 7,0.
M.O.	dag.kg ⁻¹	Carbono x 1,724

K⁺ - potássio; Ca⁺² - Cálcio; Mg⁺² - magnésio; CTC - Capacidade de Troca Catiônica; Al⁺³ - Alumínio; H⁺ - hidrogênio extraível; e M.O. - Matéria orgânica

Fonte: EMBRAPA, 1999

4.4 Preparo da Área e Instalação das Parcelas Hidroerosivas do Experimento

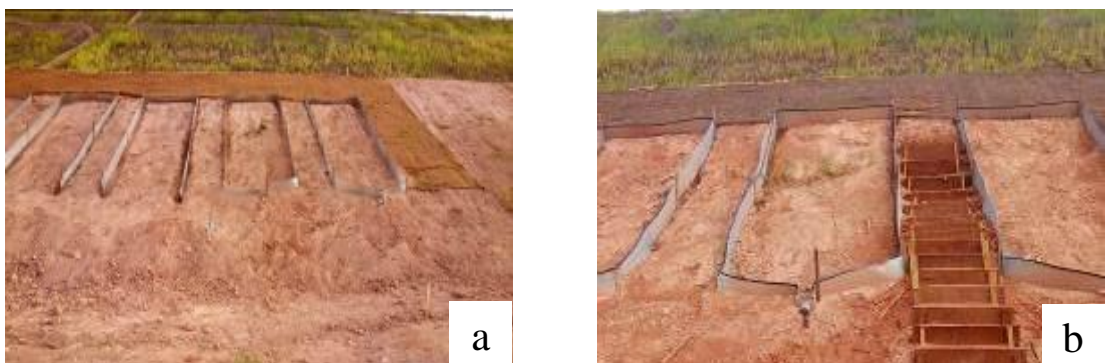
Após a escolha e caracterização da área, foi realizada a limpeza para retirada da vegetação e entulhos encontrados no local. Para manter as condições de projeto foi feito o nivelamento do talude. Foram implantadas 05 parcelas experimentais com área de 10 m², dimensões de 02 m x 05 m, com a maior dimensão no sentido do declive.

Cada parcela foi isolada por uma lâmina de zinco galvanizada, nº 22 com 30 cm de largura, implantada no substrato com profundidade de 20 cm, deixando sacados 10 cm da lâmina acima do nível do solo.

A lâmina de zinco é um material altamente cortante, portanto, para que não houvessem acidentes no período do experimento, todas as bordas de cada parcela foram revestidas com material plástico resistente (figura 4b), com o objetivo de evitar acidentes, garantindo a segurança. Para facilitar o acesso a área de estudo e reduzir as possibilidades de acidentes, por se tratar de um terreno íngreme, foram instaladas escadas de madeira entre os espaçamentos de 01 m deixados entre cada parcela.

Com as parcelas já instaladas, foi necessário realizar nova remoção de vegetação no local, e a escarificação da camada superior do solo, revolvendo-se a uma profundidade de 05 cm para aplicação de calcário de acordo com a necessidade dada pela interpretação das análises químicas do solo.

Figura 4 – (a) Instalação das lâminas de zinco; (b) Proteção das bordas das parcelas e escadas.



4.5 Tratamento Experimental e Sistema de Coleta do Escoamento Superficial

Cada uma das parcelas experimentais recebeu um modelo de tratamento utilizado na bioengenharia de solo. O experimento visando à determinação de perdas de solo e água por erosão foi conduzido sob condições de chuva natural. Na extremidade inferior de cada parcela experimental instalou-se 01 coletor para armazenar o escoamento superficial e sedimentos, que se conectava a parcela através de tubo plástico de 100 mm. Todo escoamento superficial foi direcionado por gravidade para o reservatório (Figura 6).

Os coletores utilizados foram reservatórios tipo bombonas de plástico rígido de formato cilíndrico regular com capacidade de 130 l. As bombonas foram fixadas a 01 m de distância, à jusante da parcela, garantindo que estivessem perfeitamente, garantindo que toda água mais os sedimentos fossem direcionados para os reservatórios.

Figura 5 - Parcela hidroerosiva instalada com coletor.



A instalação de cada parcela foi determinada de forma aleatória, tendo-se os seguintes tratamentos:

Parcela A - Fibra de sisal e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*: esse tratamento consistiu em instalar 02 faixas de fibra de sisal no sentido do declive, com dimensões de 1,0 m de largura por 5,0 m de comprimento de modo a garantir a cobertura de todo solo da parcela. Após a instalação da manta foi realizada a hidrossemeadura de sementes de *Brachiaria Decumbens* e mulch (mistura de papel e água que tem como objetivo aglutinar as sementes na superfície do solo, reduzindo as perdas do material jateado);

Parcela B – Enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud): para esse tratamento foi espelhado pela superfície da parcela uma camada terra orgânica numa espessura média de 10 cm, e logo após, foi realizada o plantio das placas em grama formando o enleivamento. As placas de grama foram fixadas com grampos de ferro em forma de “U” para evitar o deslizamento e perda do material;

Parcela C – Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) em fileira: esse tratamento consistiu em instalar 02 faixas de manta de fibra de sisal, com dimensões de 1,0 m de largura por 5,0 m de comprimento, cobrindo toda a área da parcela. Depois foram feitos furos de 10 cm de diâmetro na fibra a cada 15 cm, para abertura posterior das covas onde foram plantadas as mudas. O vetiver foi plantado em linhas, numa distância de 01 m entre elas, totalizando 05 linhas de vegetação plantada na área;

Parcela D - Saco de aniagem e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*: para esse tratamento foram montados sacos de aniagem (sacas de café) com dimensões 70 x 90 cm, preenchidos com terra vegetal, adubo químico (NPK) e sementes de *Brachiaria Decumbens*. Esses sacos foram distribuídos na superfície da parcela, cobrindo totalmente o solo da área delimitada. Para garantir a fixação dos sacos, evitando o deslizamento, foram colocados grampos de ferro em formato de “U”. Após a fixação dos sacos foi realizado um jateamento de hidrossemeadura.

Parcela E - Biomanta de fibra de coco e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*: esse tratamento consistiu em instalar por toda área da parcela a biomanta de fibra de coco, com dimensões 02 m de largura por 05 m de comprimento. Após a instalação e fixação da manta, sobre ela, foi realizada a hidrossemeadura de sementes de *Brachiaria Decumbens* e mulch.

Por solicitação da equipe de engenharia responsável pela obra do campus, para evitar danos a estrutura do talude, não foi instalada uma parcela testemunha, ou seja, com o solo descoberto.

Figura 6 - Parcelas hidroerosivas instaladas.



4.5.1 Coletas de Amostras do Escoamento Superficial para Determinação das Perdas de Solo e Água por Erosão

O experimento para avaliar as perdas de solo e água por erosão nos tratamentos estudados foi conduzido no período entre 01 de junho a 24 de agosto de 2016, no intervalo de uma semana entre as coletas, totalizando 13 semanas coletadas. No período experimental, foram avaliadas a erosividade e total das chuvas, as perdas de solo e de água.

4.5.2 Avaliação do Total e da Erosividade das Chuvas

A erosividade das chuvas foi calculada pelo índice EI_{30} (MEDEIROS et al., 2017). Este índice foi determinado de acordo com as chuvas individuais, ocorridas durante o período de condução do experimento, as quais foram classificadas em chuvas erosivas e chuvas não erosivas. Sendo, chuva individual aquela separada de outra por um período mínimo de 06 horas sem chuva ou com precipitação menor que 1,0 mm, e chuva erosiva toda aquela com 10,0 mm ou mais de quantidade total, ou com 6,0 mm a 10 mm desde que ocorra em 15 minutos ou menos, conforme sugestão de WISCHMEIER; SMITH (1978).

4.5.3 Quantificações das Perdas de Solo e de Água

O monitoramento das parcelas, avaliação de arrastes de sedimentos e índice pluviométrico possibilitaram a quantificação das perdas de solo por erosão nos diferentes tratamentos, assim como a avaliação da eficiência no processo de controle de área degradada por meio de biomantas de sisal e de fibra do coco. Após cada evento de chuva, os reservatórios foram inspecionados para verificar se houve ou não material escoado.

Para mensurar o volume do material escoado utilizou-se o procedimento de coleta dos dados anotando-se após a ocorrência de um evento de chuva natural, a altura do nível de água de cada coletor. Em seguida, todo material escoado (água e sedimento) era homogeneizado manualmente e dele retirada uma alíquota de aproximadamente 500 ml. Todas as amostras foram armazenadas em garrafas plásticas, hermeticamente fechadas, contendo a identificação da parcela de origem e a data de coleta. Após cada coleta, os coletores eram esvaziados e limpos para receber novo material após novo evento chuvoso (Figura 7).

As amostras com o material do escoamento superficial foram levadas para laboratório para a determinação da concentração da quantidade de sedimento ocorrido em cada evento de chuva. Em laboratório os sedimentos de cada amostra foram colocados para secar em estufa a uma temperatura de 110 °C até a evaporação completa da água, para determinação da massa seca do solo sedimentado (GARCIA et al., 2003).

Figura 7 – a) Homogeneização do material escoado no coletor de sedimentos; b) Coleta da alíquota do material sedimentado; c) Amostras coletadas.



4.5.4 Análise dos Dados

A análise dos dados foi realizada por meio de técnicas estatísticas descritivas fazendo-se uso de tabelas e de gráficos para os parâmetros analisados de acordo com o tamanho amostral dos parâmetros analisados igual a treze ($n = 13$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da Área

5.1.1 Análises Físicas do Solo

Pela composição granulométrica do solo, a classe textural foi definida como franco argiloso, podendo-se observar que em toda a área estudada a composição granulométrica do solo não apresenta muita variação em relação aos teores de argila, silte e areia (Tabela 4).

Tabela 4 - Frações granulométricas e textura do solo nas parcelas.

Composição Granulométrica	Parcelas				
	A	B	C	D	E
Argila (%)	34	34	32	30	30
Silte (%)	26	27	31	24	29
Areia grossa (%)	27	26	25	33	29
Areia fina (%)	13	13	12	13	12
Classe textural	Franco argiloso	Franco argiloso	Franco argiloso	Franco argilo-arenoso	Franco argiloso

Já os valores de densidade do solo oscilaram entre 1,33 e 1,36 g.cm^{-3} , enquanto que as densidades das partículas variaram entre 2,64 e 2,65 g.cm^{-3} . Ainda no que se refere aos parâmetros do solo a porosidade total do solo nas parcelas variou entre 48,7% a 49,8% (Tabela 5). Segundo KLEIN (2012) a densidade em solos agrícolas varia entre 0,90 e 1,80 g.cm^{-3} , de acordo com a textura e teores de matéria orgânica presente. LIBARDI (2012) por sua vez, apresenta o intervalo entre 0,70 a 2,00 g.cm^{-3} como densidade de solos minerais naturais. Ainda segundo o autor para solos argilosos a densidade varia entre 1,00 a 1,40 g.cm^{-3} . LIBARDI (2012) indica ainda valores entre 52,8 e 61,5% para solo com classe textural

argilosa. A variação no valor entre as parcelas é pequena, denotando homogeneidade entre os valores de porosidade.

Tabela 5- Valores da densidade do solo, das partículas e porosidade total do solo das parcelas.

Parcela	Densidade do solo (g.m ⁻³)	Densidade das partículas (g.m ⁻³)	Porosidade total (%)
A	1,36	2,65	48,70
B	1,33	2,65	49,80
C	1,36	2,65	48,70
D	1,35	2,64	48,90
E	1,35	2,65	49,10
Média	1,35	2,65	49,00

5.1.2 Caracterização Química

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados da análise de fertilidade do solo das parcelas experimentais.

Tabela 6 – Análise química do solo.

Parâmetros	Unidade	Valores
pH (água)	(-)	6,85
K ⁺	cmolc.kg ⁻¹	0,22
Ca ⁺²	cmolc.kg ⁻¹	3,30
Mg ⁺²	cmolc.kg ⁻¹	0,70
CTC	cmolc.kg ⁻¹	6,85
Al ⁺³	cmolc.kg ⁻¹	0,10
H ⁺	cmolc.kg ⁻¹	1,20
M.O.	dag.kg ⁻¹	2,30

K⁺ - potássio; Ca⁺² – Cálcio; Mg⁺² – magnésio; CTC – Capacidade de Troca Catiônica; Al⁺³ – Alumínio; H⁺ - hidrogênio extraível; e M.O. – Matéria orgânica

Segundo a classificação química para interpretação de pH em água, o pH das amostras compreendido entre 6,40 e 7,30 significa que o solo se encontra entre uma acidez fraca e uma alcalinidade fraca, muito perto do valor neutro. Conforme a classificação agrônômica, a acidez ativa do solo está compreendida entre alta e muito alta (EMPRAPA, 1999). Em termos de nutrição de plantas a faixa ideal de pH deveria estar entre 5,50 a 6,00 para contribuir com uma maior disponibilidade de nutrientes.

Para o valor do pH acima do ideal o Al³⁺ não se encontra precipitado, ou seja, não se encontra disponível no sistema solo-planta, sendo encontrado para este elemento 0,10 cmolc.kg⁻¹ e, portanto, a maioria dos nutrientes não estará na forma solúvel, passíveis de

serem absorvidos pelas raízes das plantas. A toxicidade do alumínio é um fator limitante ao crescimento de plantas, uma vez que também pode afetar vários microrganismos fixadores de N₂ em vida livre ou em simbiose (EMPRAPA, 1999).

A matéria orgânica classifica-se como muito baixa a baixa com valores de 2,3% na área experimental. Com respeito à erodibilidade do solo, quanto maior o teor de matéria orgânica, menor a erodibilidade deste. Regiões áridas, por exemplo, são pobres em matéria orgânica, pois as altas temperaturas aceleram sua decomposição. O escasso conteúdo de matéria orgânica torna o solo mais sensível à erosão (EMPRAPA,1999).

O teor de Ca²⁺ apresentou o valor de 3,3 cmolc.kg⁻¹, indicando que este solo possui uma boa qualidade agronômica. O teor de Mg³⁺ apresentou valor de 0,7 cmol.kg⁻¹, indicando tratar-se de um substrato com nível médio de Mg²⁺. Para o teor de K⁺, concentração de 0,22 cmol.kg⁻¹, indica que boa parte da área está com bom teor de potássio, porém, isto não significa que este nutriente esteja na forma disponível. A CTC potencial (6,85 cmolc.kg⁻¹) mostrou o valor classificado como de baixo a médio.

Após as parcelas terem sido instaladas o solo foi preparado para aplicação de fertilizante químico de acordo com a necessidade dada pela interpretação das análises químicas do solo. Aplicou-se NPK (8-28-20) como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio para vegetação da área experimental.

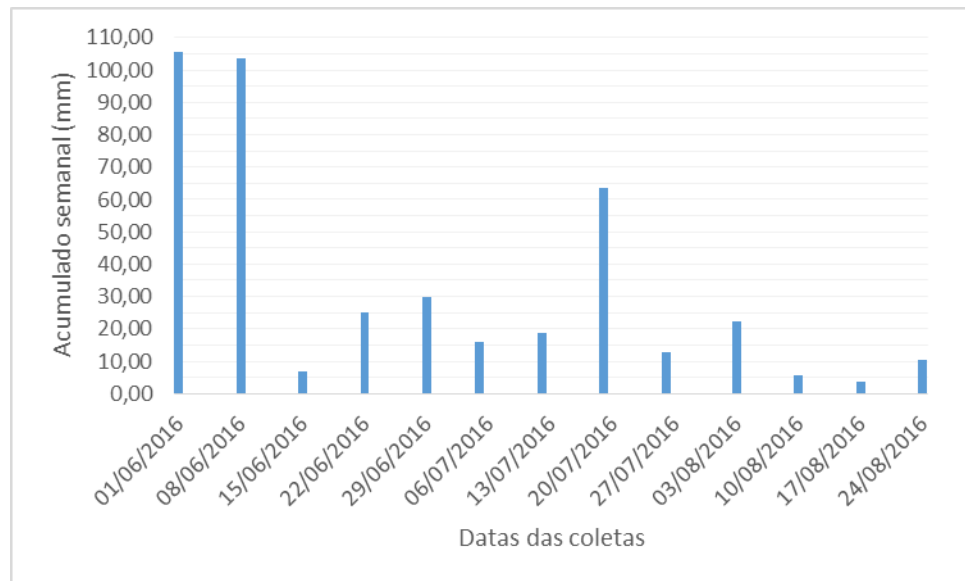
5.2 Avaliação do Escoamento Superficial e das Perdas de Sedimentos e Água por Erosão

5.2.1 Quantidade Total e Erosividade das Chuvas no Período Experimental

A distribuição das chuvas durante o período do experimento apresentou os totais mensais de 165,20 mm em junho, 129,40 mm em julho e 61,90 mm no mês de agosto de 2016.

As precipitações acumuladas semanalmente durante o período experimental somaram um total de 356,50 mm (Figura 8). Nesta, verifica-se a distribuição temporal das precipitações semanais coletadas da estação da APAC, código 603 no período de 01/06/16 a 24/08/16.

Figura 8 – Distribuição temporal das precipitações totais semanais (mm) da estação de código 603 no período de 01/06/16 a 24/08/16.

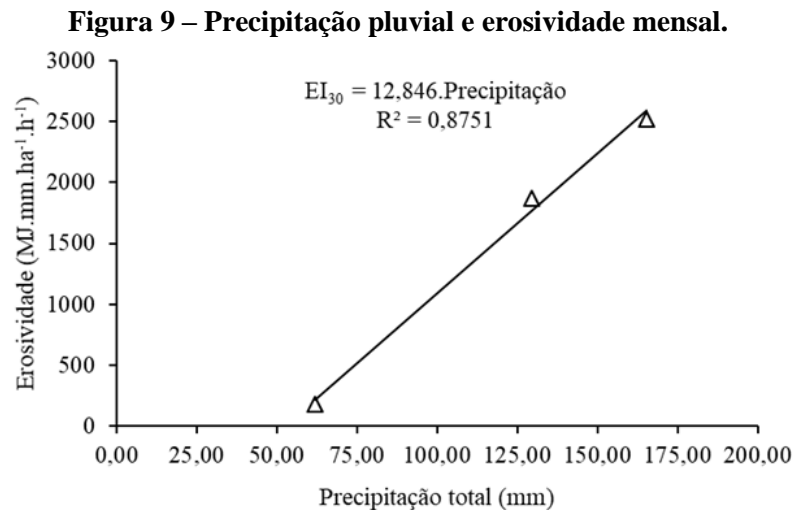


Da precipitação total ocorrida no período do experimento 332,40 mm foram de chuvas erosivas conforme critérios de WISCHMEIER; SMITH (1978).

Tabela 7 – Caracterização das chuvas erosivas.

Ano	Meses	Precipitação total (mm)	Chuva erosiva total (mm)	Nº de chuvas erosivas	EI ₃₀ (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹)
2016	Junho	165,20	157,00	04	2.521,50
2016	Julho	129,40	121,4	03	1.866,50
2016	Agosto	61,90	54,0	03	178,70
Total		356,50	332,40	10	4.566,70

A tabela 7 mostra que o potencial erosivo das chuvas durante os 03 meses de avaliação, determinado pelo índice EI_{30} (WISCHMEIER, 1978) é de $4.566,70 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Desse total, $4.388,0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ são devidas as chuvas erosivas que ocorreram nos meses de junho e julho correspondendo a 96% do referido índice. O mês de agosto mostrou-se como sendo o de menor valor para o índice erosivo.



A relação entre a precipitação total e a erosividade durante o período de desenvolvimento do experimento mostrou que os meses de junho e julho de 2016 apresentaram os maiores riscos de perda de solo, devido aos elevados valores de erosividade mensal. Observou-se no período que os maiores valores mensais do índice de erosividade EI_{30} da chuva ocorreram nos meses junho e julho com $2.521,50$ e $1.866,50 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente. Já o menor foi em agosto igual a $178,70 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 9).

5.2.2 Perdas de Sedimento e Água por Erosão

A variação das precipitações teve influência direta no volume de suspensão água e solo escoado, bem como na massa de sedimentos carregados após as chuvas, variando de acordo com as diferentes biotécnicas utilizadas no experimento. Desta maneira, houve eventos chuvosos em que o volume de água e de sedimentos transportados foram insuficientes para a realização das quantificações. Os totais de volume acumulado de suspensão escoada e massa de solo perdida por parcela podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8 - Perdas totais de solo no período experimental.

Tipo de biotécnica/Parcela	Perdas de solo	
	g.10m ⁻²	Kg.ha ⁻¹
Manta de fibra de sisal e hidrossemeadura de <i>Brachiaria Decumbens</i> – Parcela A	9,73	9.730,00
Enleivamento de grama esmeralda (<i>Zoysia japonica Steud</i>) – Parcela B	27,50	27.500,00
Manta de fibra de sisal e capim vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) – Parcela C	49,56	49.560,00
Saco de aniagem e hidrossemadura de <i>Brachiaria Decumbens</i> – Parcela D	18,76	18.760,00
Biomanta de fibra do coco e hidrossemeadura de <i>Brachiaria Decumbens</i> – Parcela E	17,39	17.390,00

Durante todo o período de realização do experimento, a perda total de solo observada foi de 122,94 g.10 m⁻² (122.940 kg. ha⁻¹). A Parcela C (Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)) e a Parcela B (Enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica Steud*)) foram as que apresentaram maiores perdas totais de solo, com valores de 49,56 g.10 m⁻² (49.560 kg ha⁻¹) e 27,50 g.10 m⁻² (27.500 kg ha⁻¹), respectivamente.

A Tabela 9 apresenta as perdas totais de solo no período experimental de 90 dias, de 01 de junho a 24 de agosto de 2016, com chuva total de 356,50 mm, sendo 332,40 mm de chuvas erosivas.

Houve uma redução relativa nas perdas de solo de 92,08% e de 59,68% nas parcelas A (Manta de fibra de sisal e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*) e C (Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)) em relação à perda de solo total das parcelas. As demais biotécnicas tiveram uma redução relativa de 85,85% na Parcela B (Enleivamento de grama esmeralda - *Zoysia japonica Steud*); 84,74% na Parcela D (Saco de aniagem e hidrossemadura de *Brachiaria Decumbens*) e 77,63% na Parcela E (Biomanta de fibra de coco e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*).

A biotécnica de Manta de fibra de sisal associada a uma gramínea, no caso, *Brachiaria Decumbens*, a qual se supõe que sua capacidade de estabelecimento favorece uma proteção ao solo, devido seu crescimento e enraizamento, mostrou-se como sendo a melhor biotécnica para o fator de perda de solo na condição do talude testado. HOLANDA et al (2008), avaliaram de forma positiva o desenvolvimento da *Brachiaria Decumbens* e espécies

autóctones, pois formaram densa cobertura vegetal sobre o solo e grande rede de raízes que auxiliaram na fixação do geotêxtil e na estabilização das camadas superficiais do talude. BEZERRA et al (2011), comprovaram uma redução na produção de sedimentos de 93,4% com aplicação de geotêxtil produzido com fibra de buriti associada a semeadura de gramínea capim-braquiarião (*Brachiaria Brizantha*).

Por outro lado, a Manta de fibra de sisal associada ao capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) apresentou menor capacidade de retenção de sedimentos, demonstrando que enquanto não estiver estabelecido e desenvolvido, a vegetação não auxilia na redução da perda de sedimentos. PEREIRA JÚNIOR (2015), verificou em experimento com diferentes biotécnicas que o tratamento com vetiver se apresentou como o modelo com maior perda de solo, o pesquisador atribuiu o resultado ao desenvolvimento da planta, que ainda em fase de crescimento, permitiu uma menor cobertura na área das parcelas.

Tabela 9 – Volume de suspensão escoada e massa de solo perdida para as 13 coletas realizadas, considerando os diferentes tratamentos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
	Volume de suspensão escoada (l/10 ²)													
A	36,56	123,81	8,31	27,42	14,96	0,00	19,94	18,28	19,94	0,00	4,99	4,99	2,49	281,69
B	1,66	10,80	4,15	10,80	9,97	0,00	3,32	8,31	11,63	0,00	2,49	0,00	4,15	67,28
C	16,62	73,12	2,49	44,04	0,00	0,00	4,99	36,56	13,30	0,00	0,00	0,00	11,63	202,75
D	33,24	47,36	1,66	18,28	11,63	0,00	12,46	10,80	8,31	0,00	1,66	0,00	6,65	152,05
E	4,99	33,24	3,32	8,31	8,31	0,00	10,80	7,48	7,48	0,00	1,66	4,99	4,99	95,57
	Perda de solo (g/10 ²)													
A	1,78	0,27	3,19	0,30	0,49	0,00	0,77	0,64	0,25	0,00	0,90	0,64	0,50	9,73
B	8,62	4,67	1,18	0,50	4,35	0,00	0,60	2,94	0,90	0,00	3,58	0,00	0,16	27,50
C	4,67	3,80	22,69	0,67	0,00	0,00	9,42	3,67	3,64	0,00	0,00	0,00	1,00	49,56
D	2,51	1,69	2,64	0,44	0,93	0,00	4,83	1,46	1,85	0,00	1,77	0,00	0,64	18,76
E	5,04	1,27	4,53	0,73	0,86	0,00	2,09	0,61	0,43	0,00	0,42	1,12	0,32	17,42

Parcela A - Fibra de sisal e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*;

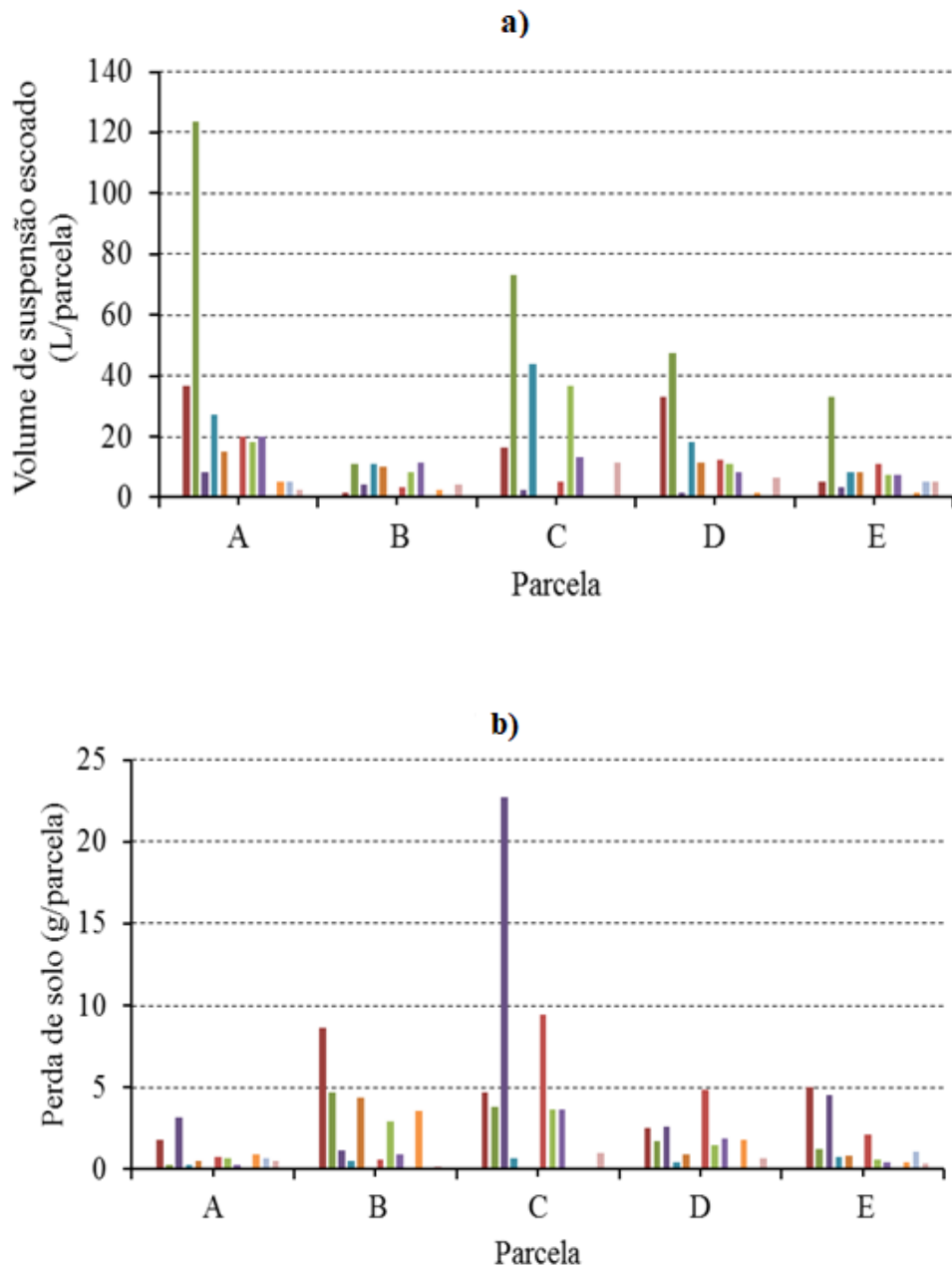
Parcela B - Enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud);

Parcela C - Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*);

Parcela D - Saco de aniagem e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*;

Parcela E - Biomanta de fibra de coco e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*.

Figura 10 – Volume de suspensão água + solo escoado (a) e massa de solo (b) perdida nas parcelas durante as treze coletas ocorridas no período avaliado.



Parcela A - Fibra de sisal e hidrosseadura de *Brachiaria Decumbens*;
 Parcela B - Enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud);
 Parcela C - Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*);
 Parcela D - Saco de aniagem e hidrosseadura de *Brachiaria Decumbens*;
 Parcela E - Biomanta de fibra de coco e hidrosseadura de *Brachiaria Decumbens*.
 (*) parcela = 10 m²

Em relação às perdas de água, verificou-se durante todo o período da pesquisa que esta perda foi de $799,37 \text{ l.}10 \text{ m}^{-2}$ o equivalente a $799.375,10 \text{ m}^{-3}.\text{ha}^{-1}$. A Parcela A (fibra de sisal e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*) e a Parcela C (manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)) foram as que apresentaram maiores perdas de água, com valores de $281,79 \text{ l.}10\text{m}^{-2}$ ($281.792,48 \text{ m}^{-3}.\text{ha}^{-1}$) e $202,75 \text{ l.}10\text{m}^{-2}$ ($202.752,11 \text{ m}^{-3}.\text{ha}^{-1}$), respectivamente. Ainda em relação às perdas de água, verificou-se que as parcelas D (Saco de aniagem e hidrossemadura de *Brachiaria Decumbens*) com $152,07 \text{ l.}10\text{m}^{-2}$, E (biomanta da fibra do coco e hidrossemadura de *Brachiaria Decumbens*) com $95,56 \text{ l.}10\text{m}^{-2}$ e B (enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud)) com $67,31 \text{ l.}10\text{m}^{-2}$, foram as que obtiveram os menores volumes de perdas de água durante o período do experimento.

Tabela 10 - Perdas de água por parcela no período experimental.

Ano	Meses	Precipitação total (mm)	Perdas de água por parcela (1.10m^{-2})				
			A	B	C	D	E
2016	Junho	165,20	211,06	37,39	136,28	112,18	58,17
2016	Julho	129,40	58,17	23,27	54,84	31,58	25,76
2016	Agosto	61,90	12,46	6,65	11,63	8,31	11,63
Total		365,5	281,69	67,31	202,75	152,07	95,56

Parcela A - Fibra de sisal e hidrossemadura de *Brachiaria Decumbens*;

Parcela B - Enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud);

Parcela C - Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*);

Parcela D - Saco de aniagem e hidrossemadura de *Brachiaria Decumbens*;

Parcela E - Biomanta de fibra de coco e hidrossemadura de *Brachiaria Decumbens*.

Com a redução das precipitações, há também a redução na perda de água, indicando que os diferentes tipos de biotécnicas utilizadas nas parcelas influenciaram na relação chuva x escoamento superficial. Neste sentido, a parcela B (enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud)) foi a que menos favoreceu o escoamento superficial, isto é, causando mais infiltração de água no solo, seguida pelo tratamento da parcela E (biomanta da fibra do coco e hidrossemadura de *Brachiaria Decumbens*).

Quando sobrepostas às informações de perdas de solo (Tabela 9) e perdas de água (Tabela 10) nota-se que a parcela A (Manta de fibra de sisal e hidrossemadura de *Brachiaria Decumbens*), apresenta o maior índice de perda de água por escoamento superficial, e em contrapartida é o teste de menor perda de sedimento, enquanto a parcela B (enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud)) apresenta o maior índice de infiltração, ou seja, menor escoamento superficial, e maior perda de solo. Isso ocorre devido aos diferentes

estágios de desenvolvimento vegetativo das espécies estudadas, o que diferencia a densidade de cobertura do solo em cada parcela e o enraizamento de cada uma das espécies. No primeiro momento a *Brachiaria Decumbens* (parcela A) não apresentou grande desenvolvimento foliar, o que reduz sua capacidade de interceptação da água da chuva, resultando numa redução da capacidade de infiltração nesse teste. Enquanto isso, a grama preenche toda a área da parcela, interceptando maior parte da água da chuva, reduzindo a sua velocidade, portanto reduzindo o escoamento superficial nesse experimento. Para LIBARDI (2012), alguns fatores interferem nos padrões de infiltração da água no solo, como por exemplo, as condições da superfície do solo: cobertura vegetal, rugosidade da superfície do solo e declividade do terreno.

Ainda avaliando as informações de perdas de solo e volume do escoamento superficial destaca-se o teste da parcela C (Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)), que apresentou a maior perda de solo comparada as demais parcelas e o segundo maior volume de água escoada. Estes resultados diferiram do estudo realizado por FERNANDES et al. (2009), o qual as máximas de perda de solo e água não foram resultantes no mesmo tratamento.

6. CONCLUSÃO

i. A relação entre a precipitação total e a erosividade durante o período de desenvolvimento do experimento mostrou que os meses de junho e julho de 2016 apresentaram os maiores riscos de perda de solo, devido aos elevados valores de erosividade mensal;

ii. A erosividade total durante os 03 meses do ensaio foi superior ao limite inferior do índice anual e das regiões da Mata Sul e Norte no estado de Pernambuco que se caracterizam por um moderado potencial erosivo;

iii. A Parcela C (Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)) e a Parcela B (Enleivamento de grama esmeralda (*Zoysia japonica Steud*)) foram as que apresentaram maiores perdas totais de solo, com valores de $49,56 \text{ g} \cdot 10\text{m}^{-2}$ ($49.560 \text{ kg ha}^{-1}$) e $27,5 \text{ g} \cdot 10\text{m}^{-2}$ ($27.500 \text{ kg ha}^{-1}$), respectivamente;

iv. Em relação às perdas de água, a Parcela A (Fibra de sisal e hidrossemeadura de *Brachiaria Decumbens*) e a Parcela C (Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)) foram as que apresentaram maiores perdas de água, com valores de $281,69 \text{ l} \cdot 10\text{m}^{-2}$ ($281.692,48 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$) e $202,75 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$ ($202.752,11 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$), respectivamente; e

v. Verificou-se que a parcela C (Manta de fibra de sisal e capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)) apresentou-se como a pior biotécnica para situação de estudo, pois obteve o segundo maior volume de perda de água e a maior perda de solo comparado aos demais testes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação. ABNT NBR 10520. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002a, 7 p.

ABNT. Informação e documentação – Referências – Elaboração. ABNT NBR 6023. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002b, 27 p.

ABNT. Informação e documentação – Trabalhos Acadêmicos – Apresentação. ABNT NBR 14724. 3 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011, 11 p.

ALHO, A. Erosão e estabilização biológica de taludes. 2. ed. Lisboa: SIME, 2006.

AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A.T.; Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. Engenharia Agrícola. vol 30, n. 6. p.1046 -1049. Jaboticabal, 2010.

ANDRADE, J.C.M.; MAHLER, C.F. Avaliação de aspectos da fertilidade de metais tóxicos no solo de cobertura de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos visando sua vegetação. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, vitória. Anais. Vitória: ABES, 2000.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. Monitoramento Pluviométrico. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. 2016.

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

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.

BASTOS, C.A.B.; GEHLING, W.Y.Y. & MILITISKY, J.; Estudo Sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados a partir das Propriedades Geomecânicas. Teoria e Prática na Engenharia Civil, nº 2, maio, p. 9-18. 2001

BERTONI, J.F.; LOMBARDI NETO, F., Conservação do solo, Ícone Ed. São Paulo, 9ª edição, 2014.

BEZERRA, J.F.R.; GUERRA, A.J.T.; RODRIGUES, S.C. Aplicação de geotêxteis biodegradáveis na redução do escoamento superficial e controle da erosão superficial, Uberlândia/MG. Revista de Geografia, Recife, v. 12, n. 2, p. 93-104, 2011.

BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J.R.B.. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.30, n.3, 2006.

BIFULCO, C.. Engenharia Natural na reabilitação de taludes e vertentes. Disponível em: http://www.crp.pt/docs/A45S130-10_Art_T4_7CRP_2013.pdf. Acessado em: 23/08/2016. Lisboa, Portugal, 2013.

CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; FIGUEIRA, S.B. Linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco - 1ª aproximação; Revista Caatinga (Mossoró, Brasil), v.22, n.2, p.75-80. 2009.

CAPUTO, H.P. Mecânica dos solos e suas aplicações. LCT - Livros Técnicos e Científicos Editora. 6ª ed., 234p. Rio de Janeiro, 1988.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregados e qualidade de agregados de um Latossolo roxo, submetido a diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 14, p.99-105,1990.

CARVALHO, J.C.; LIMA, M.C.; MORTARI D. Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia. 2001.

CARVALHO, R. A.; CASTRO, S. M.; ALMEIDA, J. R.; RODRIGUES, M. G.. Proteção vegetal de taludes de aterro: o caso da plataforma da Ferrovia Transnordestina, Ceará, Brasil. *Natural Resources*, v.2, n.2, p.6-17, 2012.

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I- Sugestões gerais, medição de volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2. Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA – CNPT. p.75-97. Passo Fundo, 1978.

COUTO, L.; GONÇALVES, W.; COELHO, A.T.; PAULA, C.C.; GARCIA, R.; AZEVEDO, R.F.; LOCATELLI, M.V.; ADVÍNCULA, T.G.L.; BRUNETTA, J.M.F.C.; COSTA, C.A.B.; GOMIDE, L.C.; PEDRO, H.M. Técnica de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil. *Boletim Técnico CBCN*, n.1. Viçosa, 2010.

COSTA, C.D.O.; ALVES, M.C.; SOUSA, A.P.; SILVA, H.R.; GONZÁLEZ, A.P.; AVALOS, J.M.M.; BESKOW, S.; MARQUES, A.P. Estimativa das perdas de solo e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica sob processo de degradação ambiental. *Revista de Ciências Ambientais*, v.9, n.1. Canoas, 2015.

DNIT- Departamento Nacional DE Infraestrutura de Transporte. Manual de conservação rodoviária. 2. Ed. 564p. Rio de Janeiro, 2005.

DNIT- Departamento Nacional DE Infraestrutura de Transporte. Manual de vegetação rodoviária. v.2. IPR. Publ. xxx. Rio de Janeiro, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. Manual de Métodos de análise de solo. 2º ed. Revista atualizada. 212 p. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 1º ed. Revista ampliada. Brasília, 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Serviço de Produção e Informação SPI. Brasília – DF. 2000.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 3º ed. revista ampliada. 353 p. Brasília, 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Guia Prático para interpretação de resultados de análises de solos. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

FERNANDES, L.S. Avaliação de mantas comerciais na vegetação de talude em corte de estrada. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2004.

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*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 199-206, 2009.

FERREIRA, D.F. Sistema de análise de variância (Sisvar). Versão 5.3. Build 77. Lavras, MG: UFLA, 2010.

GARCIA, A.R.; MACHADO, C.C.; SILVA, E.; SOUZA, A.P. de. PEREIRA, R.S. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.4, p.535-542, 2003.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 1. ed. Bertrand Brasil, 340p. Rio de Janeiro 1999.

GUERRA, A.J.T; JORGE, M.C.O. Degradação dos Solos no Brasil. Bertrand Brasil, 320p. Rio de Janeiro, 2014.

GRAY, D.H., SOTIR, R.B.: Biotechnical stabilization of steepened slopes. Transportation Research Board, 746th Annual Meeting, Washington, 1995.

GRAY, D.H., SOTIR, R.: Biotechnical and Soil Bioengineering slope stabilization A Pratical Guied for erosion control. Ed John Wiley, New York. 337p.1996.

HILLEL, D. Environmental soil physics. New York, Academic Press. 771p. 1998.

HOLANDA, F.S.R.; ROCHA, I. P.; OLIVEIRA, V. S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental, v. 12, n. 6, p. 570-575. Campina Grande, 2008.

HOLANDA, F.S.R.; GOMES, L.G.N.; ROCHA, I.P.; SANTOS, T.T.; ARAUJO FILHO, R.N.; VIEIRA, T.R.S.; MESQUITA, J.B. Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. Ciência Florestal, v. 20, n.1, p.157-166. Santa Maria, 2010.

KLEIN, V. A. Física do solo. 2. Ed. Passo Fundo: Editora de Passo Fundo, 2012.

KOTTEK, M., GRIESER. J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL. F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, v. 15. n. 3. Ed. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. p. 259-263. 2006.

LAL, R.; Sustainable Land Use Systems and Soil Resilience. In: Greenland, D.J. and Szabolcs, I., Eds., Soil Resilience and Sustainable Land Use, CAB International Publishers, 41-67. 1994.

LIBARDI. P.L. Dinâmica da água no solo. 2. Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

LIMA, A.P.L; DAMATO, J.; SOUZA, C.M. Avaliação de um consórcio gramínea-leguminosa na revegetação de um talude e sua influência na temperatura e umidade do solo- Revista Verde, v. 9, n.1, p.249-253. Mossoró, 2014.

LONDE, P.R.; BITAR, N.A.B. Importância do uso de vegetação para contenção e combate à erosão em taludes do lixão desativado no município de Patos de Minas (MG). Perquirere: UNIPAM, v. 8, p.224-249. Patos de Minas, 2011.

MAGALHÃES, A.F. Avaliação do desempenho de Técnicas de Bioengenharia na Proteção e Conservação da Cobertura Final de Taludes em Aterros de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso para o Aterro Sanitário de Belo Horizonte. 169 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Recursos Hídricos e Meio Ambiente). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

MARIANI, P.P.; Produção de biomantas para controle de erosão em taludes. Dissertação (mestrado em Ciência do solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2016.

MEDEIROS, R.M.; KOZMHINSKY, M.; LORENA, E.M.G. Estimativa da erosão pluvial na bacia hidrográfica do rio Uruçuí Preto – Piauí, Brasil. VIII Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e V Workshop Internacional sobre Mudanças Climáticas e Biodiversidade. UFPE, Recife. 2017.

MAGALHÃES, M.J.M.. Utilização de fibra de coco seco e madeiras de paletes na estabilização de voçorocas. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 5 n. 1. 2014.

MORGAN, R.P.C; RICKSON, R.J. Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. London: Chapman & Hall. 274 p. 1995.

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

NILSSON, T.. Uma metodologia preventiva e multidisciplinar para preservação de taludes rodoviários. COBRAMSEG 2010: Engenharia Geotécnica para o Desenvolvimento, Inovação e Sustentabilidade. p. 1–8, São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, N.C.D.. Soluções Para a Estabilização de Taludes em Linhas Férreas. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

OLIVEIRA, C. M. M.; PORTOCARRERO, H.; CAMPOS, T. M. P.; ANDRADE, A. G.. Análise da estabilidade de um talude de corte submetido a técnicas de bioengenharia. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77729/1/Cobramseg-14-06-12-F-revisao2-enviado.pdf> . Acessado em: 06/09/2016. 2012.

OROZCO, M.M.D. Caracterização da gramínea *vetiveria zizanioides* para aplicação na recuperação de áreas degradadas por erosão. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

PEREIRA, A.R. Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. 2. ed. Editora FAPI, Belo Horizonte, 2008.

PEREIRA JÚNIOR, C.B.; Biotécnicas de proteção de taludes em aterros urbanos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, 2015.

PORTOCARRERO, H. Avaliação do efeito de técnicas de bioengenharia em parâmetros hidrossedimentológicos utilizando instrumentação automatizada. Tese (Doutorado em Engenharia civil) PUC – Rio, 2009.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; McCOOL, D.K.; YODER, D.C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). p. 404. Washington: USDA, 1997.

SCHIECHTL, H.M.; STERN R. Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control. Australia: Blackwell Science. 146 p. 1996

SELBY, M.J.. Hillslope materials and processes. 2 ed. New York: Oxford University Press, 1993.

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

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guid Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington: USDA. 58p. 1978.

APÊNDICE A – TOPOGRAFIA

