

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

**BIOTÉCNICAS DE PROTEÇÃO DE TALUDES
EM ATERROS URBANOS**

Aluno: Clodomir Barros Pereira Junior
Orientador: Professor Dr. Vicente de Paulo Silva
Coorientador: Dr. Marcos Metri Correa

RECIFE-PE
2015

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

BIOTÉCNICAS DE PROTEÇÃO DE TALUDES
EM ATERROS URBANOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de concentração: Gestão Ambiental de Recursos Hídricos.

Recife,
Outubro de 2015

Ficha Catalográfica

P436b Pereira Júnior, Clodomir Barros
Biotécnicas de proteção de taludes em aterros urbanos /
Clodomir Barros Pereira Júnior. – Recife, 2015.
66 f.: il.

Orientador (a): Vicente de Paulo Silva.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de
Tecnologia Rural, Recife, 2015.
Referências.

1. Bioengenharia 2. Taludes (Mecânica dos solo)
3. Recuperação ecológica 4. Engenharia ambiental
I. Silva, Vicente de Paulo, orientador II. Título

CDD 620.8

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

**BIOTÉCNICAS DE PROTEÇÃO DE TALUDES
EM ATERROS URBANOS**

Dissertação defendida em: 18 de Agosto de 2015

Dr. Vicente de Paulo Silva - Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/DTR)

Dr. José Ramon Barros Cantalice – Membro Interno
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/DTR)

Dr. – Wagner Luis da Silva Souza – Membro Externo
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/DA)

EPÍGRAFE

“A impaciência em que vivemos provém da nossa ignorância, queremos que os homens e as coisas sejam o que não podem ser, e deixem de ser o que são por sua essência e natureza.”

Marques de Maricá

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Clodomir Barros Pereira
(*In Memoriam*) e Arlete Lins de Barros.
A minha Irmã Jaqueline Lins de Barros.
A minha Filha e orgulho Daniele Barros
A Minha querida companheira e cúmplice
Sandra Millicent. Dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, fé e o dom da perseverança para finalizar esta dissertação de Engenharia Ambiental.

A todos os mestres que contribuíram para a minha formação fundamental especialmente Valdson Araújo, Lindolfo Batista e Laís Viera no Ginásio e Científico; da Graduação em Arquitetura e Urbanismo; Professores Wandecock Tinôco, Helvio Polito, Oscar Uchoa, Gildo Montenegro, Castelo Branco, Ariano Suassuna, e José Luiz da Mota Menezes; Aos professores doutores do Mestrado em Urbanismo; Thomás Lapa, Norma Lacerda, Luiz de La Mora e Ana Rita de Sá Carneiro. Gostaria de agradecer de forma especial aos professores da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Swan, Rosângela, Claudia, Edvan, Ruan; e os do Mestrado em Engenharia Ambiental; Marcos Metri, Fernando Cartaxo, William Severi, Caroline Bionde, Victor Piscoya e Ramon Cantalice.

Ao Professor Doutor, Vicente de Paulo, pelos conhecimentos compartilhados durante a orientação deste trabalho, redirecionando idéia se impulsionando sempre em direção à meta final. O meu profundo agradecimento e admiração.

Ao prezado professor Dr. Brivaldo Almeida, pelos ensinamentos, convívio e supervisão no laboratório de Física do Solo.

Ao Doutor Wagner Luis pela paciência e ensinamentos com os quais aprendi que, em pesquisa, muitas vezes é preciso parar, voltar e retomar com um novo foco.

À UFRPE, ao Professor Dr. Renato Laurente, Coordenador do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Ao colega e ex Coordenador do Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental, Professor Doutor Romildo Morant, pelo abrigo para a realização desta pesquisa.

A todos os colegas do mestrado, especialmente a Valério, Hermon, Joyce, Elizângela, Elvis, Mercia, Yané, Marília e Fabiane pela grande amizade e valiosa ajuda nas disciplinas e na elaboração desta dissertação. Aos colegas da graduação, Alexandre, Paco, Marcos, Danilo Lucas, Simone e tantos outros. Ao companheiro de pesquisa André Cardin pela ajuda inestimável no campo experimental, Fernando Moraes e Edvan que muito ajudaram na montagem, execução do experimento e ensaios no laboratório.

Aos funcionários da UFRPE, em especial a Granja e a Nana. Aos funcionários da COMPESA, Dr. Claudio Milfontes, Dr. José Carlos e equipe. E aos funcionários da APAC Dr. Patrice e colaboradores Vinicius e Ronie.

Aos meus pais Arlete Lins e Clodomir Barros (*in memoriam*), pelos cuidados na formação, incentivo e crédito na cria que colocaram no mundo.

A minha filha amada Daniele Barros, que está sempre surpreendendo e enchendo-me de orgulho.

A minha querida irmã Jaqueline Lins, meus queridos sobrinhos Thiago e Renata Ferraz e o meu cunhado Antônio Ferraz, aos tios e primos.

Agradeço de forma muito especial a minha companheira de jornada, Sandra Millicent, que abriu mão de férias e finais de semana.

E finalmente, a todos que de uma maneira ou outra, contribuíram para a conclusão desta hercúlea obra.

RESUMO

PEREIRA JR. C. B. Biotécnicas de Proteção de Taludes em Aterros Urbanos. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

Resumo – O trabalho propõe ações para avaliar, em escala piloto, o desempenho de biotécnicas na conservação e proteção de taludes de aterros, no bairro de Dois Irmãos na Cidade de Recife, Pernambuco, contribuindo para o desenvolvimento de uma tecnologia a ser utilizada na conservação das encostas urbanas, que atendam às exigências legais e técnicas. Tem como objetivo avaliar a resistência do solo ao cisalhamento em tipologias diferentes de coberturas de solo. O experimento foi constituído de 21 parcelas, das quais foram selecionadas 16 parcelas experimentais constituídas de quatro tipologias, as quais foram submetidas a quatro repetições, que representaram quatro tipos de coberturas que podem vir a ser adotadas na recuperação de áreas degradadas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência ao cisalhamento em parcelas experimentais com 2,0 m de largura por 5,0 m de comprimento, utilizando diferentes tipos de coberturas: (1) retentores de sedimentos sobre solo desnudo; (2) biomanta de fibra de sisal; (3) capim Vetiver *Vetiveria zizanioides* L (Nash), casualizado; (4) solo desnudo, sem cobertura vegetal. A hipótese a ser verificada será a de que diferentes tipos de coberturas e combinações contribuem para maximizar a resistência do solo ao cisalhamento, auxiliando na conservação e proteção de taludes em aterros urbanos. Os produtos se basearam nos resultados obtidos e constatando-se que as tipologias que utilizaram cobertura em gramínea obtiveram mais resistência ao cisalhamento do que as de solo desnudo.

Palavras-Chave – Bioengenharia, Erosão, Cisalhamento, Degradação Ambiental.

ABSTRACT

Abstract – the study proposes actions to evaluate, on a pilot scale, the performance of biotech in the conservation and protection of slopes, in the neighborhood of Dois Irmãos in the city of Recife, Pernambuco, contributing to the development of a technology to be used in the conservation of the urban slopes, that meet the legal requirements and techniques aims to assess the soil shear resistance in different types of soil covers the experiment was composed of 21 plots, of which 16 were selected experimental plots consist of four types, which were subjected to four repetitions, which represented four types of coverages that may be adopted in the recovery of degraded areas. This work aimed to evaluate the shear strength in experimental plots with 2.0 m wide by 5.0 m in length, using different types of toppings: (1) sediment retainers on bare soil; (2) biomanta of sisal fiber; (3) grass *Vetiver Vetiveria zizanioides* L (Nash), randomized; (4) soil without vegetation cover. The chance to be verified is that different types of toppings and combinations contribute to maximize soil shear resistance, aiding in conservation and slope protection in municipal landfills. The products are based on the results obtained and noting that the typologies used in grassy coverage obtained more shear strength than bare soil.

Keywords - Bioengineering, Erosion, Shear Stress, Environmental Degradation.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

01	ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
02	ANOVA	Análise de Variância
03	APAC	Agência Pernambucana de Água e Clima
04	CBCN	Centro Brasileiro de Conservação da Natureza
05	CETESB	Companhia Estadual de Tratamento de Saneamento Básico
06	COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
07	EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pecuária e Agricultura
08	GLSOD	Global Assessment of Soil Degradation
09	IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
10	IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
11	INMET	Instituto de Meteorologia
12	ISSS	International System Science of Soil
13	NBR	Normas Brasileiras
14	NRCS	National Resources Conservation Services
15	ONU	Organização das Nações Unidas
16	PRCE	Produto em Rolo para Controle de Erosão
17	RAD	Recuperação de Áreas Degradadas
18	SCSA	Soil Conservation Society of American
19	SABESP	Secretaria de Abastecimento de Água do Estado de São Paulo
20	SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência de Solo
21	SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação do Solo
22	TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
23	TFSE	Terra Fina Seca em Estufa
24	UFLA	Universidade de Lavras
25	UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
26	UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
27	USDA	United State Department of Agriculture
28	USLE	Equação Universal de Perda de Solo

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	16
2.0	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3.0	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	BIOENGENHARIA DE SOLO	18
3.1.1	Geosintéticos e Biomantas	19
3.1.2	Retentores de Sedimentos	21
3.1.3	Sistemas Vertiver zizanioides (L) Roberty	22
3.2	DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DO SOLO	24
3.2.1	Áreas Degradadas	24
3.3	TALUDES E ENCOSTAS	26
3.2.1	Estabilidade de Encostas e Taludes	27
3.2.2	Aspectos das Tensões, resistência do solo e cisalhamento	28
4.0	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
4.1.1	Climatologia	31
4.1.2	Aspectos físicos, geográficos e pedológicos	31
4.2	LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO	32
4.2.1	Caracterização da área de Estudo e o Projeto RAD	32
4.2.2	Demarcação e Implantação das Parcelas Experimentais	33
4.2.3	Tipologia de Tratamentos Implantados	34
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	35
4.3.1	Definição de número de amostras	35
4.3.2	Amostras com atributos físicos não estruturados	35
4.3.3	Amostras com atributos físicos estruturados	38
4.3.4	Ensaio de Cisalhamento Direto	40
4.3.5	Caracterização Química	43
4.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	43
5.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	44
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	45

5.2.1	Atributos físicos das Amostras	45
5.2.2	Atributos Químicos das Amostras	57
5.3	DISCUSSÃO DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS	59
6.0	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	60
7.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1.0 INTRODUÇÃO

A reabilitação ambiental de taludes e encostas envolve fatores dependentes de características biológicas, climáticas e ambientais, intrínsecas ao local de estudo, fazendo-se necessários diagnósticos, monitoramento dos impactos ambientais e medidas mitigadoras para não resultar em custos desnecessários. Por essa razão, faz-se necessário os estudos básicos referentes a fatores como: precipitação, o solo e a vegetação, que podem fornecer subsídios para programas de gestão ambiental de manejo de taludes e encostas que visem à manutenção dos recursos naturais ou a recuperação das áreas degradadas. Brasil (2009).

Segundo Andrade & Mahler (2000) a legislação brasileira exige que áreas degradadas por atividade antrópicas devam ser remediadas para minimizar o dano, preservar e restaurar esses espaços, o meio ambiente e a paisagem. Dentre os fatores que contribuem para a degradação ambiental no que se refere à poluição do solo encontram-se os processos erosivos.

Para autores como Guerra e Cunha (1998), a erosão é mais expressiva e causa mais danos em países de clima tropical, resultante do regime hidrológico, geomorfologia e a ocupação de áreas inadequadas tanto nas áreas rurais quanto no meio urbano.

A principal condição para a ocorrência de problemas na estabilidade em taludes é a ausência de conhecimento das características físicas do ambiente onde o mesmo se insere, pois, a relação existente entre tipo de solo, de rocha, drenagem, presença ou ausência de vegetação, promovem uma dinâmica natural, vulnerável a qualquer interferência ou alterações. Carvalho. (1991).

A necessidade de conter e/ou reverter os processos de degradação do solo tem resgatado e inspirado o desenvolvimento de técnicas como a bioengenharia de solo, que utiliza materiais naturais e sintéticos em conjunto com métodos de engenharia, com o intuito de devolver à superfície condições de sustentação e equilíbrio. Megale (2011).

Para Fernandes *et. al* ((2010), Algumas técnicas da bioengenharia de solo têm sido utilizada na gestão ambiental de recuperação de áreas degradadas em locais onde ocorreram escorregamentos ou em áreas erodidas. A bioengenharia de solo ou a engenharia natural mostram-se como sendo uma solução adequada à ambientes de taludes e encostas, mas que precisam ser testadas e monitoradas.

A remediação de áreas degradadas com a utilização de técnicas de bioengenharia de solo (biotécnicas) incorpora a técnica ao ambiente, além dos aspectos visuais que sofreram impactos com a degradação ambiental se harmonizando com a paisagem. Pereira (2006).

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar, em escala piloto o desempenho de técnicas de bioengenharia de solo na conservação e proteção de taludes de aterro urbano na cidade do Recife.

2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar os aspectos agronômicos e geotécnicos do solo da área de estudo do ponto de vista físico e químico;

Avaliar a condutividade hidráulica em diferentes tipos de biotécnicas (retentores de sedimentos, biomanta e espécie vegetal quanto à capacidade de redução da perda de umidade;

Avaliar a resistência a tensão ao cisalhamento de amostras de substratos das parcelas sob tratamento de biotécnicas.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 BIOENGENHARIA DE SOLO

Conhecida desde a década de 1950, na região alpina e denominada *Ingenieur biologie*, Kruedenes (1951), termo garimpado do alemão para definir um campo prático que agrega aspectos geológicos, agrônômicos, e ambiental. Traduzido diretamente para o português resultou no termo bioengenharia. Em Portugal convencionou-se denominá-lo de Engenharia Natural. No Brasil convencionou-se denominá-lo atualmente de bioengenharia de solos, como do inglês *soil bioengineering*. (PORTOCARRERO, 2008).

A Engenharia Natural usa técnicas (biotécnicas) em que plantas, ou partes destas, são utilizadas como material vivo de construção. Sozinhas, ou combinadas com materiais inertes, tais plantas devem proporcionar estabilidade às áreas em tratamento (SCHIECHTL. 1973).

Florineth (2004) relata que a engenharia natural (também chamada de bioengenharia de solos) é uma área da Engenharia que se ocupa com a perenização de cursos de água e estabilização de encostas, bem como com o tratamento de voçorocas e erosão, através do emprego de material (vegetal) vivo, combinado com estruturas inertes como madeira, pedra, geotêxteis, sintéticos e estruturas metálicas. O princípio básico que norteia a bioengenharia de solos compreende a utilização desses elementos em sinergismo com elementos biológicos, como a vegetação, no controle da erosão.

Segundo Fernandes *et al* (2010), os objetos de projeto e construção da bioengenharia são a estabilização de taludes e escarpas, margens, diques, aterros, assim como outros espaços de uso e a sua proteção contra a erosão. No processo de projeto e execução são utilizados conhecimentos e competências das disciplinas de construção, assim como conhecimentos da biologia e da ecologia da paisagem de forma a instalar e garantir o adequado desenvolvimento de uma cobertura de espécies autóctones que garanta as exigências construtivas requeridas.

A bioengenharia de solos é um termo específico que se refere primariamente à utilização de plantas vivas ou partes delas com o intuito de mitigar problemas ambientais, tais como encostas erodidas e desestabilizadas, margens de rios, sistemas de trilhas, aterros sanitários, áreas mineradas, dentre outros. Raízes e caules servem como estrutura principal e elementos mecânicos no sistema de proteção de taludes (GRAY & SOTIR, 1996). Ao contrário de outras tecnologias nas quais as plantas são meramente um componente estético do projeto, na bioengenharia elas são um dos componentes mais importantes (ARAUJO *et al.*, 2005).

Professor Couto, discorre que a engenharia natural ou biotécnicas de engenharia tem se mostrado eficiente, prática, e harmônica com o meio ambiente. Facilmente têm se incorporado a paisagem urbana e rural. Os mesmos autores afirmam que nos projetos de recuperação ambiental de áreas degradadas ou áreas de difícil acesso ou mesmo por opção da técnica sustentável, a bioengenharias e utiliza da conjunção de diversos materiais de acordo com as necessidades de aplicação. Devem-se levar em consideração os aspectos estruturais do esforço, de resistência mecânica e biodegradabilidade. (COUTO L. *et al* 2010).

O princípio básico que norteia a bioengenharia de solos compreende a utilização de elementos inertes como concreto, madeira, aço e fibras sintéticas em sinergismo com elementos biológicos, como a vegetação, no controle da erosão. As espécies vegetais contribuem com o sistema radicular e o caule, sendo utilizados em diferentes arranjos geométricos como elementos estruturais e mecânicos para contenção e proteção do solo e também consorciadas com mantas, telas, paliçadas, etc. (COUTO L. *et al* 2010).

3.1.1 Geossintéticos e biomantas

Os geotexteis podem ser definidos como produtos têxteis permeáveis utilizados na engenharia geotécnica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR 12553, 1991). Esses materiais são constituídos por fibras obtidas através de fusão de polímeros, podendo desempenhar diversos papéis como arte integrante de projetos de engenharia. (COSTA, 19999).

Os geossintéticos podem ser classificados genericamente em categorias dependendo do processo de fabricação, também conhecidos como mantas e biomantas são materiais ou produtos manufaturados a partir das diversas matérias primas, podem ser classificados em degradáveis ou não degradáveis. Para sua confecção utiliza-se desde algodão, fibra de coco beneficiada, sisal, turfa, trigo, milho e palhada até restos de culturas agrícolas. As biomantas normalmente são tecidas em material totalmente biodegradável, como tecido vegetal, sisal, juta, dentre outras ou em conjunto com um material sintético, composto por polipropileno, polietileno, náilon e outros compostos. (COUTO L. *et al* 2010).

As aplicações das biomantas, atualmente, não se restringem ao recobrimento do solo desnudo, podendo ser utilizadas em operações de drenagem superficial e sub superficial, proteção de cursos d'água, construção de estradas, encostas, outras práticas de controle de erosão, filtração, separação, contenção, membrana tênsil, reforço mecânico e amortecimento de solos. (MANDAL, 1994).

Para sua confecção utiliza-se desde algodão, fibra de coco beneficiada, sisal, turfa, trigo, milho e palhada até restos de culturas agrícolas. As biomantas normalmente são tecidas em material totalmente biodegradável, como tecido vegetal ou em conjunto com um material sintético, composto por polipropileno, polietileno, náilon e outros compostos. (Figura 1).



Figura 1 - Biomanta de Sisal

A biomanta fibra de sisal é composta de uma malha de sisal desidratado entrelaçado, costurado e coberto por uma malha de Polipropileno foto degradável. No quadro 1 encontram-se informações referentes as propriedades físicas de biomantas de coco e sisal.

	Toledo Filho (1990) Brasil		CEPED (1982) Brasil		Chand (1988)		Mukherjee (1986) Índia	
	Sisal	coco	Sisal	Coco	Sisal	Coco	Sisal	Coco
Diâmetro (mm)	0,08 - 0,3	0,2 - 0,4	-	-	0,05 - 0,3	0,1 - 0,4	0,1 - 0,3	0,1 - 0,4
Comprimento (cm)	38 - 94	6 - 23	-	-	-	-	-	-
Peso Específico (kN / m²)	7,5 - 11	6,7 - 10	12,7	10,8	14,5	11,5	14,5	11,5
Absorção de água (%)	190 - 250	85 - 135	240	127	-	-	-	-
Resistência à Tração (MPa)	227 - 1002	108 - 174	458	180	530 - 640	131 - 175	530 - 630	106 - 175
Deformação na ruptura (%)	2,1 - 4,2	13,7 - 41	4,2	29	3 - 7	15 - 40	4,3	15
Módulo de Elasticidade (MPa)	11 - 27	2,5 - 4,5	15,2	2,8	9 - 22	4 - 6	17 - 22	3 - 6

Quadro 1 - Propriedades Físicas da biomanta de Coco e Sisal .Cunha (2007).

As chamadas fibras têxteis naturais são todas as fibras que já se apresentam prontas na natureza necessitando apenas alguns processos físicos para transformá-las em fios. Sua densidade média é de 1.55 g/cm³ e resistência a ruptura varia de acordo com a espécie vegetal. (MARTINELLI e AMBRÓSIO, 2008).

No quadro 2 encontram-se as propriedades físicas de algumas fibras utilizadas na confecção de biomantas.

Fibra	Densidade (g/cm ³)	Alongamento (%)	Tensão na ruptura (MPa)	Modulo de Young (GPa)
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Sisal	1,5	2,0-2,5	5511-635	9,4-22
Fibra de côco	1,2	3,0	175	4,0-6,0
Vidro-E	2,5	2,5	2000-3500	70,0
Vidro-S	2,5	2,8	4750	86,0
Aramida (normal)	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0
Carbono (padrão)	1,4	1,4-1,8	4000	230,0-240,0
Curauá	1,4	4,2	890-4.200	50,4

Quadro 2 - Propriedades Físicas de fibras de biomantas (Adaptado de Martinelli e Ambrosio (2008)).

3.1.2 Retentores de sedimentos

Outro elemento muito utilizado na bioengenharia é o retentor de sedimento que são confeccionados em rolos de tecido de algodão preenchidos com fibras naturais. Estes retentores devem ser ancorados, principalmente após a execução dos serviços de estabilização de taludes. As estruturas de detenção e retenção de sedimentos representam a principal ferramenta para controle de erosão em leito de canais e voçorocas. (KOSTADINOV,1998).

No Brasil os retentores lineares de sedimento têm o nome comercial de Bermalongas© e apresentam vários diâmetros e comprimentos. É totalmente drenante e resistente, podendo absorver até cinco vezes o seu peso em água. Deve ser usado em locais de menor declividade e baixo fluxo de sedimentos, sempre no sentido transversal à declividade do talude, fixado com estacas vivas ou de aço. (Figura 2).



Figura 2 - Retentor de sedimento (CBCN, Boletim Técnico 2010)

3.1.3 Sistema Vetiver

O Sistema vetiver (SV), o qual é baseado nas aplicações da planta vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.), recentemente classificado como *Chrysopogon zizanioides*, foi desenvolvido inicialmente pelo Banco Mundial, com o objetivo de ser utilizado para a conservação dos solos e águas na Índia, durante a década de 1980. Além da grande importância de aplicação do sistema em terrenos cultivados, os experimentos científicos conduzidos ao longo desses anos demonstram claramente que o Sistema Vetiver é um método natural muito eficaz e de baixo custo. Como resultado, observa-se a utilização desse sistema em diversas partes do mundo. Por essa razão o vetiver é conhecido mundialmente como a planta maravilhosa e milagrosa.

O primeiro uso que tornou o capim *Vetiver* (nome comum) ou ainda conhecido no nordeste brasileiro pelo nome de capim sândalo, em nível mundial foi o óleo ou essência extraído por destilação das raízes da planta e usado em perfumes largamente utilizado nas décadas de 80 e 90 do século passado no Brasil. Na antiguidade utilizou-se também na confecção de artesanatos e tetos para moradias conforme BVN (2006).

Devido a suas características morfológicas, fisiológicas e ecológicas únicas, tem um papel muito importante na proteção ambiental e na construção civil. (OROSCO, 2009).

A planta *Vetiveria zizanioides* L (Nash) recentemente reclassificada como *Chrysopogon zizanioides* L (Roberty) é uma gramínea perene, com talos eretos que atingem de 0,5 a 1,5 m de altura e folhas relativamente rígidas e compridas, com 75 cm de comprimento e não mais de 8 mm de largura. *The world bank*, (1993).

O sistema radicular, com numerosas fibras e raízes cilíndricas, são capazes de alcançar 3 metros de profundidade e em alguns casos tem-se conseguido raízes até de 5 metros Cazzuffi *et al.*, (2005) e BVN (2006).

A espécie, originária da Índia, foi promovida em 1980 pelo Banco Mundial para a conservação de solos. Cazzuffi *et al.* (2006) descrevem que as raízes dessa planta são capazes de crescer 2 metros nos primeiros dois anos, enquanto Truong & Hengchaovanich (1997) referem um crescimento de 2 a 3 metros no primeiro ano. As raízes apresentam sistema radicular agregado, formando um grampeamento natural estabilizante de encostas e taludes.

Devido a esta característica especial das raízes do *Vetiveria zizanioides* (L.) Roberty, se estendem profundamente no solo, causando ancoragem necessárias para prevenir deslizamentos superficiais, alguns pesquisadores tem estudado a resistência ao cisalhamento gerada pela interação solo-raiz.

Mickovski *et al.* (2005) relataram através de pesquisas que a resistência ao cisalhamento determinada em laboratório por meio de amostras de 60x60x20 mm a uma velocidade de 0,2 mm/h, confirmou a importância do plantio de gramíneas em taludes como forma de aumentar a resistência a coesão e conseqüentemente a estabilidade dos mesmos.

Na bioengenharia, o vetiver tem apresentado bons resultados em obras civis, para a proteção de taludes em beiras de estradas. Ressalta-se sua eficiência e seu baixo custo quando comparado com outras práticas utilizadas em engenharia. Em muitos casos se utiliza essa técnica de forma complementar a outras tecnologias para proteger diversas obras, diminuindo custos com manutenção e aumentando a vida útil de muitas estruturas. De acordo com Hengchaovanich (1998), as raízes do vetiver apresentam resistência tensil à tração de 75 MPa e oferecem grande aumento na resistência ao cisalhamento, que esta entre 6 a 10 KPa por quilo de raiz por m³ de solo, em comparação com valores entre 3,2 a 3,7 KPa por m³ de solo de raízes de árvores.

Truong & Loch, 2004; Cazzuffi *et al.*, (2006); Lopes (2009) ressaltam que o vetiver sobrevive em vários tipos de solo (inclusive areias, argilas, cascalhos e até solos ricos em alumínio) com limitações mínimas; é resistente a pragas, fungos, doenças, déficit hídrico, geadas e fogo. A Figura 3 mostra as características desta gramínea que forma-se por touceiras e se reproduz somente por mudas. Ainda, é usada como barreira para reter sedimentos, dado que a planta cresce uma em direção à outra (biotactismo positivo) sendo tais aptidões importantes na estabilização de aterros e em áreas erodidas. (PEREIRA, 2006).

O sistema de conservação de solos (sistema vetiver) quando plantado em curvas de nível, forma uma barreira protetora nos taludes, que reduz o escoamento superficial, fazendo com que os sedimentos depositem-se. Sendo as barreiras impermeáveis e não concentrando o escoamento superficial, a água filtra-se, alcançando a base do talude com menor velocidade, sem causar erosão nem se concentrar em local particular. (FIORI, 1997, PINTO, 2009, DE ANGELIS 2004).

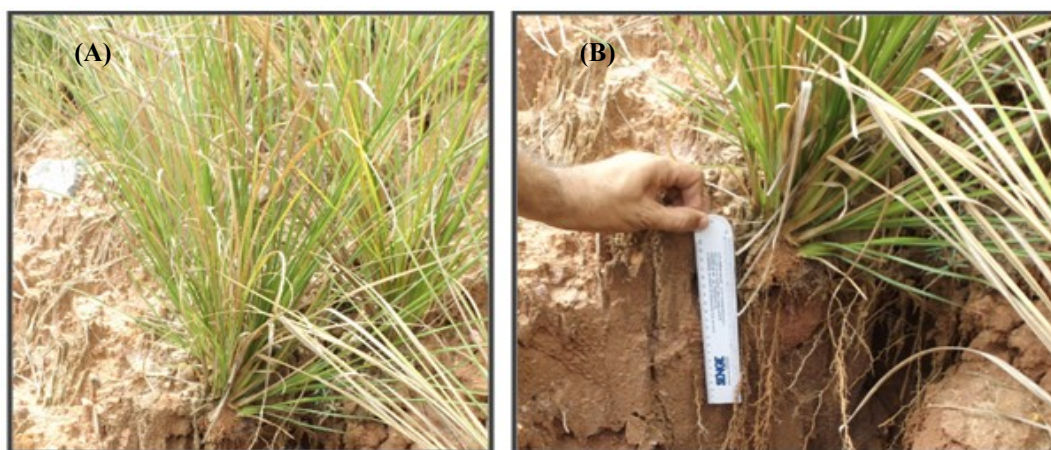


Figura 3 - Gramínea *Vetiveria zizanioides* (a) Muda; (b) Detalhe parte radicular.

3.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DO SOLO

O conceito de degradação ambiental é multidisciplinar, ele é utilizado em várias frentes do conhecimento humano. Esse conceito varia de acordo com o seu uso, podendo representar a depredação de uma mata, uma área salinizada, área impactada pela mineração, até a exploração de uma área de tal forma que ela perca suas características de solo e vegetação, podendo culminar até mesmo em uma modificação de relevo. (MOREIRA, 2004).

3.2.1 Áreas degradadas

Áreas degradadas são extensões de terra naturais ou antrópicas que perderam a capacidade de recuperação natural, após sofrerem distúrbios através de efeito ambiental ou impacto ambiental. Os principais fatores que levam à degradação do solo são as atividades antrópicas ou acidentes naturais. (SANCHEZ, 2008).

A Secretaria de Abastecimento de Água do Estado de São Paulo, SABESP, (2003) define degradação ambiental, como sendo “as modificações impostas pela sociedade aos ecossistemas naturais, alterando (degradando) as suas características físicas, químicas e biológicas, comprometendo, assim, a qualidade de vida dos seres humanos.

O Instituto brasileiro de Meio Ambiente, IBAMA (1990), afirma que a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. A degradação ambiental ocorre quando a perda de adaptação as características físicas, químicas e biológicas e inviabilizadas o seu desenvolvimento econômico.

Carpenazi *et al.*(1990) discorre que um ecossistema degradado é aquele que após algum distúrbio, teve eliminados os seus meios de regeneração natural, levando a uma baixa resiliência e conseqüentemente a necessidade de intervenção antrópica para sua regeneração ou recuperação.

Vários processos podem gerar formação de áreas degradadas, desde a falta de planejamento adequado de uso e ocupação de solo, o desmatamento de áreas com alta susceptibilidade a erosão, o uso do solo em desacordo com sua real aptidão, a adoção de práticas agrícolas inadequadas, até as operações de movimentação de terra para terraplanagem, exploração mineral ou decomposição de rejeitos. (PORTOCARRERO, 2012).

Assim entende-se que a degradação é um processo induzido pelo homem ou por acidente natural no meio ambiente que diminui a atual e futura capacidade produtiva do ecossistema. E como afirma Kobayama (2003) está dividida em três categorias;

- a) Degradação física: refere-se às alterações de características ligadas ao arranjo das partículas do solo, tendo como principais parâmetros a permeabilidade, a densidade, a estrutura, a aeração e a coesão. Alto grau de compactação, baixa aeração, alta friabilidade, alta susceptibilidade à erosão, baixa retenção de água e alteração topográfica do terreno;
- b) Degradação biológica: este tipo de degradação demonstra a baixa ou nula atividade do micro, meso e macro-fauna e flora no solo. Isto é consequência dos baixos valores de matéria orgânica presente;
- c) Degradação química: esta forma de degradação é um reflexo da presença de elementos indesejáveis, ou então a perda de elementos essenciais para o equilíbrio do solo. Por exemplo, a deposição de substâncias tóxicas em um aterro poderá degradar quimicamente o solo.

A recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como um conjunto de ações idealizadas e executadas que visam proporcionar o restabelecimento das condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural. (DIAS & GRIFFITH, 1998).

De acordo com Sánchez (2008) o ambiente afetado pela ação antrópica pode, em certa medida, sofrer recuperação da área degradada por meio de ações voltadas para essa finalidade e a recuperação de áreas degradadas divide-se em restauração, remediação e reabilitação.

A restauração a ação de deixar o meio degradado semelhante era antes de ser afetado pelo processo de degradação; isto é antes de haver intervenção antrópica. A remediação consiste na recuperação ambiental de um tipo particular de área degradada, que são as áreas contaminadas, pois esta consiste na aplicação de técnica ou conjunto de técnicas em uma área contaminada, visando a remoção ou contenção dos contaminantes presentes, de modo a assegurar uma utilização para a área, com limites aceitáveis de riscos aos bens a proteger. A reabilitação é a modalidade mais freqüente de recuperação, esta modalidade de recuperação ambiental pretendida estabelece que o sítio degradado deva ter “uma forma de utilização”. (SÁNCHEZ, 2008). O mesmo autor ainda afirma que ações de recuperação ambiental visam habilitar a área para que esse novo uso que deverá ser adaptada ao ambiente reabilitado, mesmo tendo características bastante diferentes daquele que precedeu a ação de degradação.

Segundo Dias e Greffith (1998) as obras de engenharia são outro campo que apresenta um alto grau de degradação do solo, na retirada de horizontes superficiais para empréstimos de aterros e barragens, quando isso acontece deixa os horizontes inferiores, menos agregados expostos ao processo erosivo. Sem a matéria orgânica e com baixo nível de fertilizante no solo, fica difícil o restabelecimento da vegetação.

3.3 TALUDES E ENCOSTAS

Segundo Cunha *et al* (1991) encosta pode ser entendida como toda a superfície natural inclinada que une duas outras superfícies caracterizadas por diferentes energias potenciais. As encostas também conhecidas como taludes podem ser definidas como encostas de maciços terrosos, rochosos ou mistos de solo e rocha originados por mecanismos naturais e de superfície não horizontal mesmo que tenha sofrido alguma ação antrópica. Ainda segundo o autor, os taludes artificiais são declives de aterros construídos a partir de vários materiais tais como; argila, silte, areia, cascalho ou a mistura destes.

Cunha *et al.* (1991) listam outros fatores que predispõem os fenômenos de instabilização e, por conseqüência, condicionam sua ocorrência. A alta declividade da encosta, as diferentes características de resistência das rochas e dos solos, a distribuição das chuvas, a face para qual está voltada o talude (grau de insolação recebido), a profundidade do lençol freático e, por fim, a ação antrópica (cortes, aterros, desmatamentos, queimadas, entre outros) são exemplos de fatores que interferem, conforme a situação, em menor ou maior grau na instabilidade dos taludes.

A forma ou aparência de uma encosta ou talude pode sofrer ações de fenômenos naturais ou antrópica. A própria ação do intemperismo (chuva, vento pressão e tensão superficial e interna) pode levar ao escorregamento dos sedimentos, levando a erosão de vários níveis, Fernandes (2004). A estabilidade do talude é variável ao longo do tempo.

A dinâmica que ocorre nas encostas ou taludes é regida pelos processos de transporte de sedimentos (massa) e pelos movimentos gravitacionais desta massa. (MASSAD, 2003).

Os transportes de massa incluem os vários tipos de erosão: laminar, sulcos e voçorocas e os movimentos de massa incluem os vários tipos deslocamentos: queda, tombamento, escorregamento, rastejo entre outros. (NIEBLE *et al*, 1993).

Fernandes (2004) afirma que no transporte de massa gerado por aterramento ou corte na formação do talude degradado durante as rotinas diárias de operação com máquinas, submete o solo a uma pressão que apresenta uma reação que é variável em função do tipo de solo, do local, do tipo de máquina, do manejo e das condições estruturais.

A compactação pode afetar a resistência do solo de várias maneiras: na pré-compactação, onde haverá um aumento da densidade do solo, na distribuição das partículas onde será mais uniforme, no volume de água que aumentará com a redução do volume do solo, o conteúdo de água no solo também será alterado por causa da pressão e da mobilidade. As ligações entre as partículas de solo serão rompidas pela pressão ou tensão de cisalhamento que levará a ruptura do solo e conseqüentemente ao escorregamento do talude. (MASSAD, 2003).

3.3.1 Estabilidade de Taludes

A erosão é causada pela instabilidade do talude, por ação da natureza ou antrópica devido a uma ruptura do solo. Esta em si é caracterizada pela formação de uma superfície de cisalhamento contínua na massa de solo. Existe, portanto, uma camada de solo em torno da superfície de cisalhamento que perde suas características durante o processo de ruptura, formando assim a zona cisalhada. (THERMAN *et al.*, (2006)

. A resistência ao cisalhamento de um solo é usualmente, dada pelo critério de Mohr-Coulomb conforme a equação é:

$$\tau = C' + \delta' \cdot \tan \Phi' + x$$

(Equação 8)

Onde:

τ = força de cisalhamento

C' = coesão do solo

δ = estresse normal na superfície de ruptura

Φ = ângulo de atrito interno.

X = Parâmetro do Solo.

O ângulo de atrito interno (Φ) e a coesão C' são conhecidos como parâmetros de resistência ao cisalhamento, podem ser determinados por vários ensaios de laboratório em amostras representativas de solo ou, alternativamente em ensaios de campo ou retro analisados, a partir da avaliação de escorregamentos, utilizando, o método de fatias. O “x” é o parâmetro do solo, como; resistência a tração, compressão e cisalhamento do solo. (THERMAN *et al.*, (2006).

Segundo Therman *et al.*, (2006) muitos são os fatores que influenciam no setor de resistência de cisalhamento de um solo. Entre eles, as propriedades do solo, como a forma e o tamanho do grão, conteúdo de água, grau de compactação são alguns fatores. Outro fator inclui parâmetros de procedimento de ensaios, como velocidade e deslocamento, tamanho do plano de cisalhamento, tipo de aparato e preparação do ensaio.

Gray & Sotir (1996), a principal razão para a perda de estabilidade e do aumento da frequência dos deslizamentos de encostas é após a derrubada da vegetação, é o decaimento da raiz e a perda de resistência. As raízes menores são as primeiras a desaparecer após um corte ou derrubada. Os autores ainda afirmam que a vegetação afeta a estabilidade do solo, devido ao aumento na resistência ao cisalhamento, através do reforço oferecido pelas raízes.

Goldsmith (2006) cita que algumas pesquisas realizadas com o objetivo de estudar as propriedades mecânicas das raízes das plantas e o esforço do solo derivado da ação das mesmas têm utilizados resultados empíricos como os de Orosco (2009) e Calderon (2011) para avaliar o potencial das plantas para aplicação em bioengenharia do solo. Ao mesmo tempo, esses estudos produzem dados que mostram o incremento da resistência ao cisalhamento devido a interação solo-raiz de gramíneas vertiver.

Nesse sentido, já constatava Gray & Sotir (1996) que o valor do sistema radicular nesse aspecto dependerá da sua resistência e concentração, características de ramificação e distribuição espacial do solo. O reforço das raízes é influenciado pelo tipo e natureza da vegetação e as variações das condições do solo no local. (VAN BEEK *et al.*, 2005).

A morfologia das raízes é configurada geneticamente e pelas condições ambientais. As características de desenvolvimento de uma determinada arquitetura radicular estão em função desses dois fatores, ditando desse modo sua contribuição à estabilidade da encosta. Sistemas radiculares fortes e profundos que penetram em potenciais planos de cisalhamento tendem a aumentar a estabilidade contra deslizamentos superficiais. A resistência a tração das raízes de diversas espécies vegetais pode se aproximar de 70 MPa, ficando a maioria das espécies vegetais situadas entre 1 e 4 MPa; a herbácea *Vertiveria zizanoides* aparece como uma das que possuem maior resistência à tração das raízes. Os arbustos apresentam semelhanças ter resistência radicular semelhantes às espécies arbóreas, (GRAY & SOTIR, 1996).

3.3.2 Aspectos das Tensões, resistência do solo e cisalhamento

O comportamento do solo, conforme Brady & Weill (2012) se dá por alterações no volume e na resistência ao cisalhamento pode ser descrito pelo seu estado de tensão. As deformações acontecem devido as tensões na superfície ou na parte interior ou ainda serem transmitidas como um corpo rígido. Para definir o estado de tensão de um corpo é necessário definir o número de fases (sólida, líquida e gasosa) presentes.

Estas tensões são descritas em tensão normal e tensão de cisalhamento, tanto para a tensão quanto para a deformação. (PINTO, 2000).

A resistência de um solo ao cisalhamento é a resistência interna por área, que o solo pode oferecer para resistir a rupturas e a deslizamentos ao longo de um plano, dependendo das condições do solo, umidade, compressão, esta falha pode causar abatimento de berma, afundamento de base ou deslizamento e desmoronamento de talude. O solo se rompe quando um corpo de solo excede um valor crítico de resistência. (REICHERT *et al.*, 2010).

É importante esclarecer que nas tensões são distinguidas como: Tensão normal que sofrem uma ação de uma força na perpendicular e Tensão Tangencial ou de Cisalhamento quando a direção da força é paralela. Outra informação fundamental é que para corpos elásticos, a deformação é proporcional à tensão. A saber, que a aplicação da tensão e deformação depende do tempo.

Segundo Reichert *et al* (2010) a resistência do solo é a capacidade do solo suportar forças, sem cisalhar, seja por ruptura, fragmentação ou fluxo. Também pode ser definida como a máxima tensão que o solo pode suportar sem ocorrer falha. Ainda conforme o autor, a resistência do solo é dependente da agregação, arranjo das partículas, porosidade, composição, quantidade de água dentre outros fatores.

O solo de uma maneira geral, quando submetido principalmente a diferentes tipos de manejo, sofre mudanças em suas propriedades mecânicas que estão relacionadas a dinâmica do movimento de expansão e contração, comprimindo ou retraindo as partículas, umedecimento e secagem, resultado do contato da água com a matriz de solo e da poro-pressão. O solo fica resistente quando passa das fases úmidas para a seca devido ao rearranjo e acomodação das partículas, gerando aumento a resistência de cisalhamento. (REICHERT *et al*, 2010).

Para analisar estas falhas, um método muito utilizado é A Teoria de Mohr, que se baseia na relação funcional entre as forças normais e tangenciais é utilizado para analisar estes fenômenos. Esta teoria considera segundo Reichert *et al* (2010) as possíveis distribuições das tensões na superfície de um volume de solo, tendo como resultado o círculo de Mohr, que indica o valor das tensões normais e tangenciais (cisalhantes) em qualquer ângulo de inclinação.

A força de cisalhamento de um solo é resultado de três aspectos; a) da resistência estrutural ao deslocamento pela interconexão das partículas do solo; b) da resistência de fricção ao deslocamento entre as partículas individuais do solo e seus pontos de contato e c) da coesão (adesão) entre as superfícies das partículas do solo. (REICHERT *et al*, 2010).

Os ensaios que são mais utilizados para medir a resistência ao cisalhamento, são: o ensaio direto, o ensaio triaxial e o ensaio de palheta. No ensaio por cisalhamento direto o corpo de prova é confinado em uma caixa metálica (*Sherarbox*), de seção quadrada ou circular, partida horizontalmente a meia altura, mantida com uma pequena folga. Abaixo e acima da caixa são colocadas placas porosas, que permitem ocorrer à drenagem. Uma força é aplicada verticalmente, por meio de uma placa de carregamento e a tensão cisalhante é aplicada gradualmente sobre um plano horizontal. Essa metodologia faz com que as metades das caixas movam-se uma em relação à outra. Vários ensaios são feitos, com forças verticais diferentes.

4.1.1. Climatologia

O clima do Núcleo Metropolitano é do tipo tropical quente e úmido com chuvas de inverno antecipadas no outono (clima As' da classificação climática de Köppen). A precipitação média anual decresce do sul para o norte, ao longo do litoral pernambucano, variando de 2.213,9mm, na sede do município do Cabo de Santo Agostinho (ao sul da área), para 1763,0mm, em Olinda, observando-se a mesma tendência de leste para oeste, com as médias históricas passando de 2.457,9mm, em Recife.

A estação chuvosa estende-se de março a agosto, sendo os meses de maio, junho e julho os de maior pluviosidade e outubro, novembro e dezembro, os de menor precipitação. A temperatura média anual é de 25,5o C, com média máxima mensal de 26,6o C em janeiro e fevereiro e média mínima de 23,9o C em agosto. Dados da área para o mesmo período indicam balanço hídrico positivo de 1.068,2mm e insolação média anual de 2.463,6h com máxima mensal em novembro e mínima, em agosto (Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco – SRH-PE, 2002). A umidade relativa do ar apresenta média de 82% nos meses de março a agosto e 70% entre os meses de setembro e Janeiro (INMET, 2000).

No centro de logística da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) existe uma estação pluviométrica da Agencia Pernambucana de Água e Clima (APAC) que permitiu o acompanhamento pontual da precipitação.

4.1.2 Aspectos Geológicos e Pedológicos

Os solos superficiais encontrados na área são do Grupo Barreiras, havendo uma predominância de jazidas de solos que apresentam entre média e baixa resistência ao cisalhamento, média permeabilidade e média capacidade de retenção de água. Esse grupo se constitui de uma cobertura sedimentar terrígena continentais e marinhas, de idade miocênica. A pleistocênica inferior encontra-se repousando sobre o embasamento cristalino pré-cambriano do Espírito ao Ceará, e intermediado com calcários terciários em Pernambuco, Paraíba, Pará e Maranhão (Nunes, 2011). A espessura média do solo nesta área é de 26 metros, sendo classificado como CL argila inorgânica arenosa, com média de 82% de areia, de baixa plasticidade, e média condição de compactação, apresentando uma espessura de 280 metros até o topo do embasamento cristalino.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SBCS), EMBRAPA (2013), o solo identificado é Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. De uma maneira geral os Argissolos são muito susceptíveis a erosão, sobretudo quando a gradiente textural é mais acentuado.

4.2- LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

4.2.1 Caracterização da área de estudo e considerações sobre o projeto

O experimento foi conduzido em talude de proteção, um local onde foi realizada no ano de 2013 uma recuperação de área degradada de adjacente ao Centro de Logística da COMPESA. Figura 6 e 7.

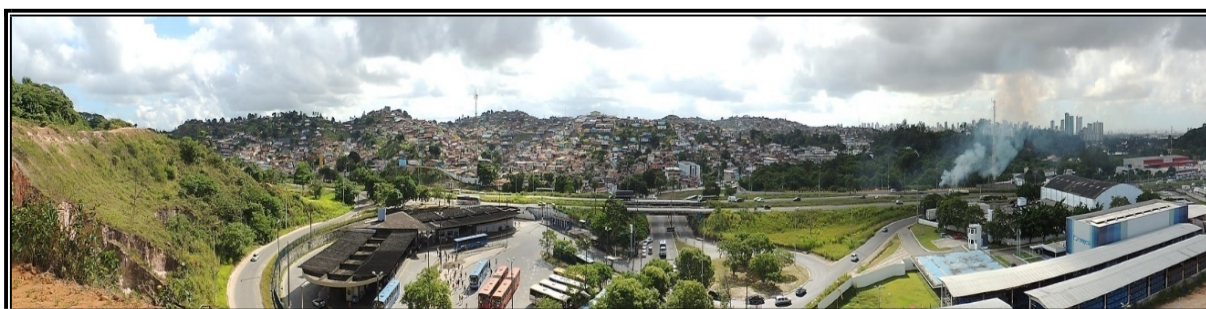


Figura 6 - Vista Geral da Localidade

A COMPESA por necessidade de ampliação de suas instalações de logística e distribuição buscou recuperar a encosta coadunada a mata de Dois Irmãos como forma de remediar uma área degradada devido a exploração de material para empréstimo.



Figura 7. Evolução da RAD –(a) Encosta degradada antes da intervenção; (b) Retaludamento da encosta; (c) Encosta após a conclusão das obras

Definido o projeto de contensão do talude, a solução adotada foi a recomposição do talude com solo proveniente da encosta. O talude de corte proposto no projeto foi 1,5:1,0 (V:H), enquanto que o do aterro foi de 1,0:1,5 (V:H). O corte da encosta foi executado com trator de esteira D5, sendo dividida em quatro bermas e quatro taludes de comprimentos distintos segundo a topografia. O corte foi executado a partir da margem da mata, onde se iniciava o processo de degradação, sem interferir no bioma, resguardando a vegetação natural. Toda compactação foi executada com rolo compactador, sapo ou pé de carneiro em camadas de 30 cm, com grau de compactação equivalente a 100% do Proctor normal e umidade crítica de compactação à 2%. Terminado os trabalhos foi iniciada a complementação da vegetação com *Vertiverzanioides* no talude e *Zoysia japônicano* recobrimento das bermas.

4.2.2 Demarcação e Implantação das parcelas experimentais

O estudo se propôs a avaliar, em escala piloto, o desempenho de algumas biotécnicas na conservação e proteção de taludes que auxiliam o desenvolvimento de tecnologias utilizadas na contenção de encostas urbanas que possam atender às exigências técnicas legais. Nesse sentido, o experimento foi conduzido a partir da instalação de 21 parcelas experimentais distribuídas em sete diferentes tipologias, com três repetições.

As parcelas foram implantadas de forma adjacentes ao longo de 40 metros lineares com áreas individualizadas de 20m² de superfície exposta, (2,0m x 10,0m) perfazendo 420,00 m² de área estudada. (Figura 8).

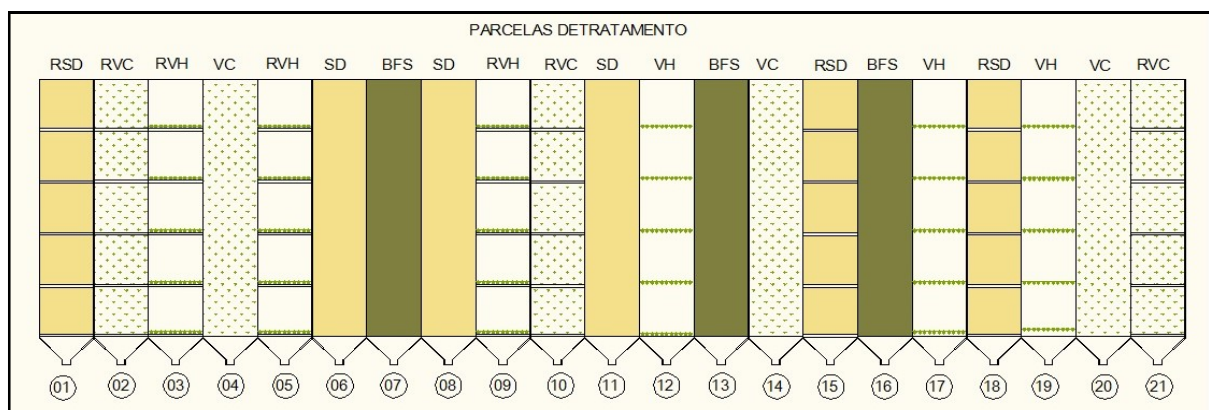


Figura 8: Esquema do delineamento das parcelas experimentais.

As parcelas experimentais foram dispostas no talude com uma inclinação média de 33°. Para separá-las foram instalados septos de madeira de 1,0 cm de espessura x 30cm de largura x 200 cm de comprimento para evitar possíveis interferências entre os tratamentos, os quais foram enterrados a 10 cm de profundidade. No extremo inferior de cada parcela implantou-se um canalizador de sedimentos de chapa galvanizados com diâmetro de 10 cm, engastado em tubo de PVC corrugado com 100 mm de comprimento variável. No final do tubo foi acoplado um recipiente plástico de 56 litros para recolhimento dos sedimentos, para avaliar posteriormente as perdas de solo em cada uma das parcelas (Figura 9).

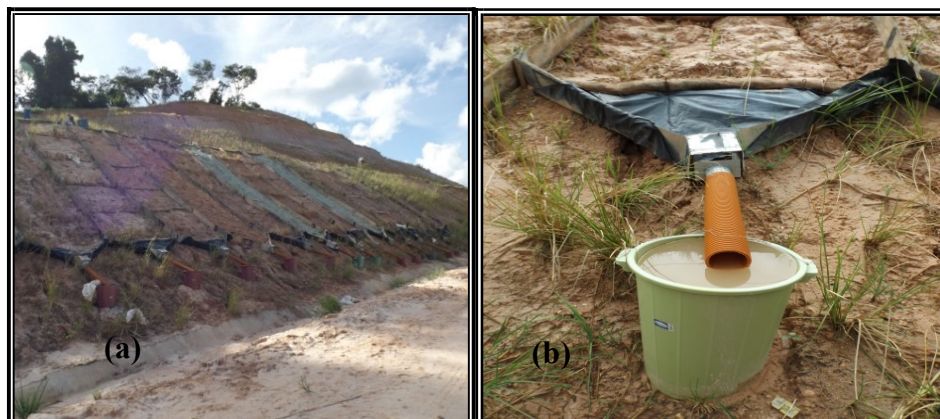


Figura 9: (a) Parcelas experimentais instaladas; (b) Canalizador de sedimentos.

4.2.3 Tipologias de tratamentos implantados

As parcelas experimentais consistiram dos seguintes tratamentos: (1) Parcela de Controle ou testemunha, Solo Desnudo- SD. (2) Retentores de sedimentos em Solo desnudo -RSD; (3) Biomanta de fibra de sisal - BFS; (4) *Vetiveriazizanioides* L (Nash), casualizado - VC; (5) *Vetiveriazizanioides* L (Nash), em fileiras horizontais-VH; (6) Retentor de sedimento com *Vetiveriazizanioides* L (Nash) casualizado-RVC; (7) Retentor de sedimento *Vetiveriazizanioides* L (Nash), em fileira horizontal - RVH;

Parcela de Controle (Solo Desnudo) – SD; estas parcelas não possuíam tratamento nenhum, ou seja, o solo permanece desnudo (sem recobrimento); serviram como parcelas testemunhas, para comparar a eficiência dos tratamentos aplicados.

Retentores de Sedimentos em Solo Desnudo – (RSD): estas parcelas possuíam tratamento com retentor de sedimento espaçado horizontalmente de 2.0m dispostos de forma transversal à declividade do talude sobre o solo desnudo. Confeccionados em rolos de tecido de algodão, possuindo diâmetro de 0,20m x 2.0 m de comprimento sendo fixada por grampos de ferro 5.0, com 0,25 m de comprimento e forma de “U”

Biomanta de Fibra de Sisal – (BFS): estas parcelas possuíam tratamento com a instalação de biomanta cobrindo toda a área da parcela, sendo fixada por grampos de ferro 5.0, com 0,25 m de comprimento e forma de “U”. As biomantas possuíam 2,00 m de largura por 10,0 metros de comprimento, perfazendo 20,00m²/parcela.

***Vetiveria zizanioides* L (Nash) casualizado – (VC):** estas parcelas possuíam tratamento com cobertura de gramínea plantada ao acaso, sem espaçamento definido;

***Vetiveria zizanioides* L (Nash) em fileiras horizontais – (VH):** estas parcelas possuíam tratamento de gramínea plantadas em cordões, cujas mudas foram dispostas a cada 0,15m com densidade de 7 plantas por metro linear. Os cordões tiveram espaçamento linear de 2,00m.

Retentor de Sedimento com *Vetiveria zizanioides* L (Nash) casualizado –(RVC): estas parcelas possuíam tratamentos com retentores de sedimento dispostos horizontalmente com espaçamento de 2.00 m e plantio de gramíneas ao acaso entre os retentores e sendo fixado por grampos de ferro 5.0, com 0,25 m em forma de “U”

Retentor de Sedimento com *Vetiveria zizanioides* L (Nash) em fileira horizontal – (RVH): estas parcelas possuíam tratamento com retentor de sedimento dispostos horizontalmente aos cordões vegetativos de *Vetiveria* justapostas aos retentores sendo fixada por grampos de ferro 5.0, com 0,25 m de comprimento em forma de “U”.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

4.3.1 Definição do número de amostras

As amostras foram coletadas em dois momentos do experimento, nos mês de agosto e no mês de dezembro, na profundidade de ocorrência do substrato de empréstimo, situado na faixa de profundidade de 0-0,20 m, a quantidade de amostras para os tipos de ensaios e/ou análises foram coletadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo da coleta de amostras para análises e ensaios diversos.

nálises e Ensaios	Descrição	Estado da Amostra	Quantidade
Física	Atributos Físicos	Não estruturada	63
	Curva de Retenção	Estruturada	21
Mecânica	Cisalhamento Direto	Estruturada	21
Química	Atributos Químicos	Não estruturada	7

4.3.2 Amostras com atributos físicos não estruturados

Em campo as amostras de solo foram coletadas nas parcelas experimentais em três pontos distintos, na base, no centro e na crista do talude. Para tanto foi utilizado um trado holandês para coleta do solo a uma profundidade de 0,20 m. Foram coletadas 63 amostras para avaliação da granulometria; para o teor de umidade, densidade do solo. Para a curva de retenção foram coletadas 21 amostras de forma estruturada, como também 21 amostras para o cisalhamento, das quais foram rejeitadas cinco por problemas de manuseio durante os ensaios de cisalhamento.

Para análise dos atributos químicos foram coletadas sete de cada tipo de tratamento, porém apenas cinco foram utilizadas. Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório de Física de Solo no Departamento de Agronomia da UFRPE. A Figura 10 apresenta o processo de coleta na área e secagem das amostras.



Figura 10; (a) processo de coleta; e (b) secagem das amostras no laboratório.

A Tabela 2, a seguir, apresenta os parâmetros físicos do solo analisados e a metodologia utilizada para a caracterização física.

Tabela 2 – Caracterização física do solo e metodologias de análises.

Parâmetro	Unidades	Metodologia
Análise Granulométrica	%	ABNT NBR 7181/84 e EMBRAPA 1997
Teor de Umidade (Ua)	%	EMBRAPA, 1997
Densidade de Partículas (γ_s)	g/cm ³	ABNT NBR 6508/84 e EMBRAPA 1997
Densidade de Solo (γ)	g/cm ³	ABNT NBR 6508/84 e EMBRAPA, 1997
Límite de Liquidez (LL)	%	ABNT NBR 6459/84
Límite de Plasticidade (LP)	%	ABNT NBR 7180/84
Índice de Plasticidade (IP)	%	ABNT NBR 7180/84
Índice de Vazios (e)	(-)	EMBRAPA 1997
Porosidade (P)	cm ³ cm ⁻³	EMBRAPA 1997
Curva de Retenção	cm ³ .cm ⁻³ / kPAs	EMBRAPA 1997
Ensaio Direto	-	ASTM D-3080/98

Fonte: o Autor

a) Análise granulométrica

A determinação da distribuição das partículas primárias do solo (areia, silte e argila) para caracterização do solo estudado, foi realizada conforme metodologia sugerida por Almeida (2008). Nessa, a fração argila do solo, foi dispersa quimicamente pelo uso da solução de hexametáfosfato de sódio e, fisicamente por agitação lenta, no agitador tipo Wagner por 16 h. Após a agitação, o material foi passado em peneira de 0,053 mm, coletando-se as frações argila e silte em proveta de 1L, até o volume de 940 mL, posteriormente, agitando-se manualmente com uma haste. Após 24 h de repouso, o material em suspensão (argila total) teve sua densidade medida pelo uso do densímetro de Bouyoucos (152 H).

Procedendo-se a leitura também da prova em branco (apenas dispersante + água). O material retido na peneira, após secagem em estufa a 105°C por 24 h, foi pesado e calculado como areia total. O silte foi obtido pela diferença entre as frações [% silte = 100 – (% areia + % argila)].

Da mesma forma, foram determinadas as quantidades de argila dispersa em água (ADA), sendo calculados os índices de floculação (IF) a partir da relação entre os teores de argila total e argila dispersa em água.

b) Teor de Umidade

A umidade do solo em teor em água (h) é definida como a massa da água (Pa) contida em uma amostra de solo dividido pela massa de solo seco (Ps), sendo expressa em quilogramas de água por quilogramas de solo, multiplicando-se por 100, tem-se a %.

c) Limite de plasticidade

O limite de plasticidade (LP) foi determinado por meio da moldagem do solo em cima de uma plataforma de vidro áspero até ficar na forma de um bastão com rachaduras, ocorrendo a saída de água do bastão para a plataforma. Desse modo, formam-se pequenos cilindros de dimensões padronizadas, conforme norma da ABNT (1984 b), onde o LP corresponde a umidade gravimétrica contida nos cilindros moldados.

d) Limite de liquidez

O limite de liquidez foi determinado por meio do aparelho de Casa Grande, conforme a norma da ABNT (1984 a), a qual estabelece como o limite de liquidez, a umidade gravimétrica necessária para fechar uma fissura na massa do solo da concha em 25 batidas.

e) Índice de plasticidade

O índice de plasticidade foi calculado pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, constituindo uma indicação da plasticidade do solo, conforme a norma da ABNT (1984 a)

f) Estabilidade de agregados via seca

A estabilidade de agregados via seca foi realizada com um agitador eletromagnético, fabricante ViaTeste, equipado com um conjunto de peneiras com os seguintes diâmetros de abertura de malha: 3,35; 1,70; 0,850; 0,600; 0,425; 0,300; 0,212; 0,150; 0,106; 0,075; 0,053 mm e uma fechada, a uma intensidade de 90 vibrações por segundo, durante 10 minutos. Foram coletados aleatoriamente 300 gramas de agregados secos ao ar, posteriormente colocou-se no agitador para proceder ao ensaio. Após o término, realizou-se a pesagem da fração de agregados retidos em cada classe de peneiras do agitador e, com estes pesos, determinou-se o DMP e o DMG, conforme as equações 1 e 2 de Kemper & Rosenau (1986).

g) Densidade de partículas

A densidade de partículas sólidas do solo (D_p) foi realizada pela determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo 20 g de terra fina seca em estufa (< 2 mm), de acordo com a metodologia proposta pela (EMBRAPA, 1997).

4.3.3 - Atributos físicos com amostras estruturadas

A coleta de amostras de solo para as determinações da condutividade hidráulica saturada, da curva de retenção de água no solo (CCRAS), densidade do solo, porosidade (total, macro, meso, micro, criptoporosidade), em laboratório, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, foi realizada nas profundidades de 0-0,20 m. sendo coletadas para cada tipologia de tratamento, totalizando 21 amostras.

A coleta foi realizada com uso de um amostrador de solos tipo *Uhland* com anéis volumétricos de dimensões de 5,0 cm de altura (h) x 5,0 cm de diâmetro interno.

Após a introdução do amostrador no solo e sua retirada, marcou-se o sentido da coleta no anel e se procedeu a retirada do cilindro com auxílio de uma faca deixando um excesso de solo no anel para ser retirado no laboratório (*toilet*), e envolvida em plástico. (Figura; 11).



Figura 11; Acondicionamento das Amostras coletadas em campo; (a) metodologia de coleta e acondicionamento de amostras no laboratório. Fonte: SOUZA (2015)

a) Porosidade total do solo

A porosidade total foi determinada pelo método da saturação. Neste, os anéis volumétricos contendo solo saturado foram pesados, obtendo-se volume de poros. Este peso foi utilizado nos cálculos da umidade volumétrica de saturação (θ saturada), assumindo-se que a densidade da água é igual a 1 g cm⁻³, então, por definição, pode ser considerada como a porosidade total da amostra (P_t), conforme equação (1).

$$P_{(cm^3\ cm^{-3})} = \frac{M_{su\ saturation} - M_{ss\ 105^\circ C}}{V_{t\ anel}} = \frac{V_{satuação}}{V_{t\ anel}} = \frac{V_{Poros}}{V_{t\ solo}} = \theta_{Satuação}$$

Equação (1)

Em que, P= porosidade total (cm³ cm⁻³); M_{su} = massa de solo úmido na saturação (g); M_{ss} = massa de solo seco à 105°C (g); V_{satuação} = volume da água na saturação (cm³); V_{tanel} = volume total do anel (cm³); V_{tsolo} = volume total do solo (cm³); V_{poros} = volume de poros (cm³) e, θ = umidade volumétrica na saturação (cm³ cm⁻³).

b) Determinação da distribuição do tamanho de poros do solo

Para determinar a distribuição de tamanho de poros do solo (macro, meso, microporos e criptoporos) utilizou-se a classificação por diâmetro (Φ) de poros proposta por Prevedello (1996), ficando definidos como macroporos aqueles poros que drenam água à tensão de 0,10 mca (μd > 300 μm), mesoporos aqueles que drenam entre as tensões de 0,10 e 0,60 mca (50 μm < d < 300 μm) e, microporos aqueles que drenam água à tensão > 0,60 mca (d < 0,50 μm).

Desse modo, a macroporosidade foi determinada nos conjuntos anel-amostra de solos submetidos a uma tensão de 1kPa.

A mesoporosidade foi determinada nos anéis conjuntos anel-amostra de solos submetidos a uma tensão de 6kPa.

A microporosidade foi determinada pela diferença entre o peso da amostra de solo à 60 cca (6 kPa) e o peso da amostra a 15000 cca (1500 kPa).

A criptoporosidade foi determinada e classificada numericamente, equivalendo à umidade volumétrica no ponto de murcha permanente, a qual é a diferença entre o peso da amostra equilibrada em 15000 cca (1500 kPa) e amostra seca em estufa.

c) Determinação da curva característica de retenção de água do solo (CCRAS)

As curvas de retenção de água no solo foram determinadas em cada sistema de tratamento para a profundidade (0 - 0,20m), totalizando 21 amostras. Para construção da curva foram determinadas as seguintes tensões de 1; 6; 10; 300; 500 e 1500 kPa. As amostras foram colocadas para saturar por 48 horas e, posteriormente transferidas para mesa de tensão para determinação da umidade volumétrica nas menores tensões de 1; 6 e 10 kPa.

Terminada as etapas da mesa de tensão, as amostras foram colocadas na câmara de Richards de baixa pressão (figura 12), para determinar as umidades nas tensões de 33; 500 kPa e, finalizando na câmara de Richards para altas tensão de 1.500 kPa.

Os dados obtidos da curva de retenção de água no solo foram ajustados pela metodologia proposta por Van Genuchten (1980).

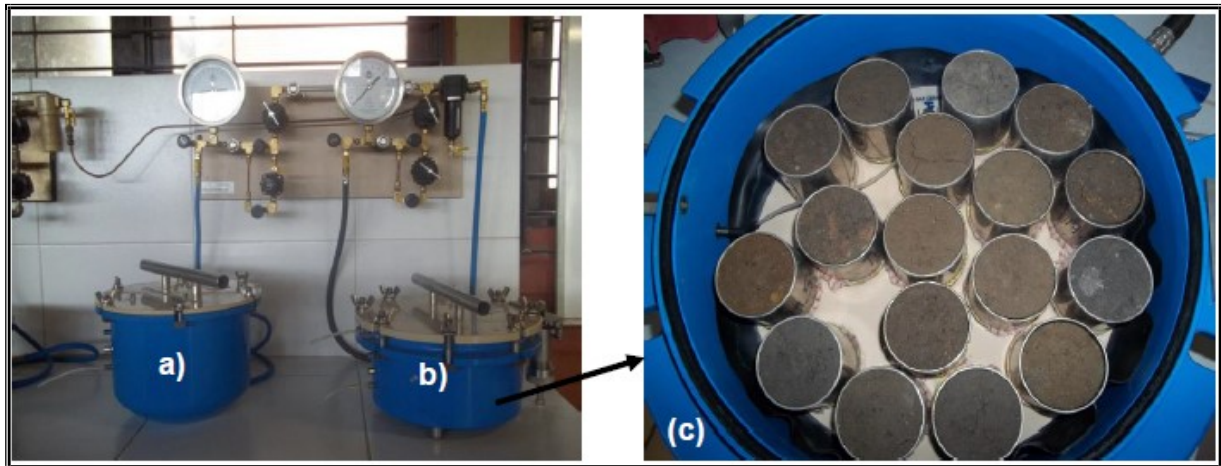


Figura 12; Câmara de Richards (a) e (b) vista lateral e (c) amostras ajustadas para ensaio. Fonte: SOUZA (2015).

4.3.4 Ensaio de cisalhamento direto

Para o ensaio de cisalhamento, a coleta em cada sistema de manejo, ocorreu na profundidade de 0-0,20 (m) em três repetições, para serem usadas em cada tensão normal (50, 100, 150 e 200 kPa) para os nível de umidade estabelecidos (0,60 cm³ cm⁻³), totalizando 16 amostras para quatro tipologias de tratamento. O ensaio de cisalhamento direto foi realizado conforme a norma ASTM D-3080/98, conduzido em um aparelho de cisalhamento direto com 12 velocidades cisalhantes (1,25; 0,625; 0,25; 0,125; 0,05, 0,025; 0,01; 0,005; 0,002; 0,001; 0,0004; 0,0002 mm min⁻¹) e com capacidade de tensão normal de até 8 kgf cm⁻². A figura 13 apresenta o equipamento utilizado, com detalhes para os aparatos de sua constituição.

A velocidade de cisalhamento utilizada nas amostras foi de 0,125 mm m⁻¹, em quatro estágios de tensões normais de 50; 100; 150 e 200 kPa. Com estes quatro estágios, foi possível determinar um valor de coesão e o de ângulo atrito interno.

As amostras foram coletadas no campo por meio de uma caixa retangular de aço inox, confeccionada nas dimensões de 0,06 (l) x 0,06 (c) x 0,043 (h) m. As amostras foram introduzidas no solo por meio de pressão para não gerar nenhum tipo de abalo físico e conseqüentemente danificar a estrutura. Após a retirada das amostras, elas foram cobertas com plástico-bolha e condicionadas em caixas de isopor.

No laboratório, foi retirado o excesso de solo e colocadas para saturar por 48 horas e posteriormente, conforme as tensões a serem aplicadas nas amostras utilizaram-se a mesa de tensão, e/ou câmara de *Richards*, onde foram retiradas após cessar a drenagem. Após a drenagem de água e estabelecido o equilíbrio do potencial aplicado, as amostras eram retiradas individualmente para realizar alguns ajustes finais antes de proceder aos ensaios.

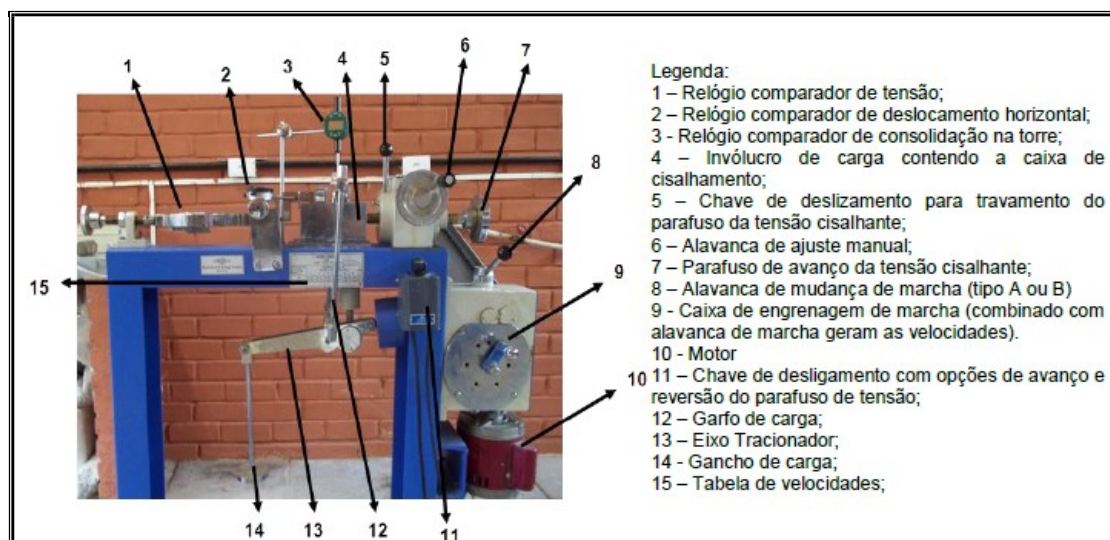


Figura 13; Aparelho de Cisalhamento Direto. Fonte: SOUZA (2015)

Das 21 amostras levadas ao laboratório cinco foram perdidas por manuseio, as dezesseis amostras restantes foram separadas em quatro grupos, sendo: primeiro grupo o de amostras das parcelas de solo sem cobertura – Solo Desnudo (SD); segundo grupo o de amostras das parcelas de *Vetiveria zizanioides* L (Nash) casualizado – (VC); terceiro grupo o de amostras das parcelas com retentor de sedimento em solo desnudo - (RSD); quarto o de amostras das parcelas com Biomanta de fibra de sisal - (BFS).

A modalidade do ensaio foi caracterizada pela aplicação simultânea inicial das tensões: normal constante (sn) e cortante (T), sendo esta última aumentada gradativamente até a ruptura do corpo de prova. A força horizontal provocou o deslocamento com velocidade constante na metade do corpo de prova, cuja resistência oferecida pela outra metade foi registrada por leitura no relógio comparador do anel dinâmométrico.

As leituras no anel dinâmométrico e no relógio comparador de deformação vertical foram realizadas conforme as deformações horizontais medidas pelo relógio comparador de deslocamento horizontal em intervalos de 0-10 mm. Assim, foi determinado para cada tensão normal (sn) aplicada à superfície de deslizamento, o valor da força cortante (T), necessária para provocar a deformação contínua do solo até a ruptura do corpo de prova (Lambe, 1951).

Nos ensaios, foram obtidos os dados de tensão normal e tensão de cisalhamento, no aparelho de cisalhamento direto. (Figura; 13 e 14).



Figura 14; Detalhe do aparelho de Cisalhamento Direto e o anel dinamométrico e no relógio comparador de deformação vertical. Fonte: Souza (2015).

O ângulo de atrito interno e o valor de coesão foram determinados com o valor da tensão de cisalhamento em cada tensão normal no final do ensaio, imprimindo um gráfico com a relação tensão cisalhante x tensão normal (Figura 15), onde se obteve os valores de coesão, pelo intercepto da equação da reta formada no gráfico e, o ângulo de atrito interno obtido pela inclinação da reta, como também, a formação das de envoltórias do círculo de Mor-Coulomb.

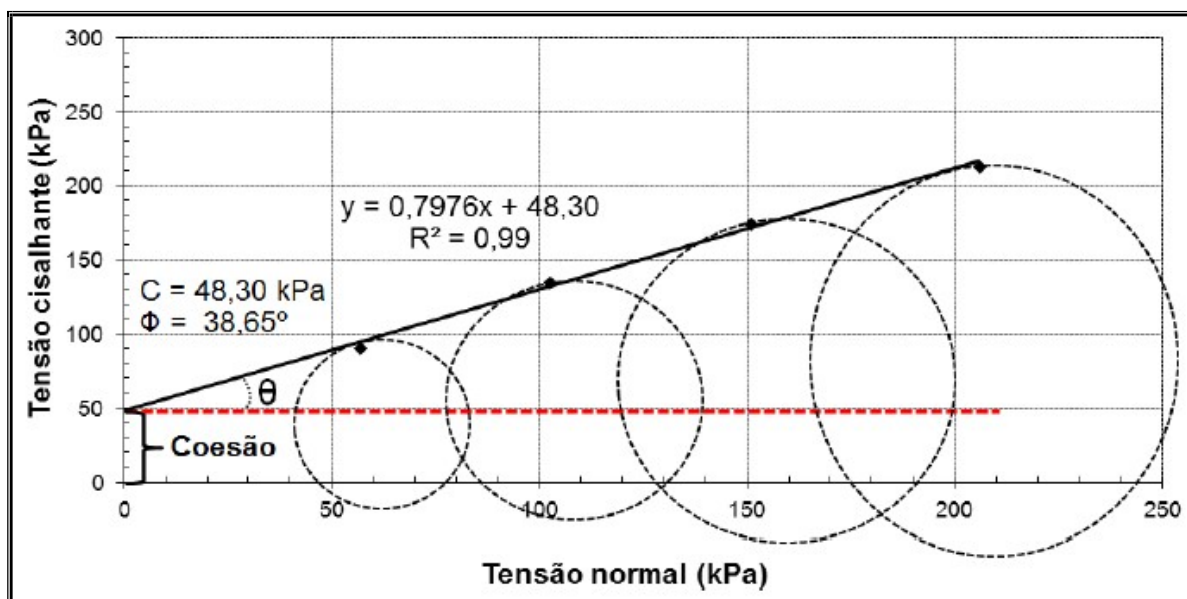


Figura 15; Representação gráfica da obtenção da coesão e do ângulo de atrito interno do solo Fonte: SOUZA (2015).

4.3.5 Características Químicas

Para determinar as propriedades químicas do solo, foram coletadas no talude sete amostras de solo ao acaso, com trado holandês na profundidade de 20 cm, sendo, posteriormente acondicionadas em sacos plásticos de 1.0 litro e levadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Agronomia da UFRPE para procedimento das análises, seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997) e encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização Química do solo / Metodologia EMBRAPA (1997)

Parâmetros	Unidades	Método
pH (água)	(-)	Método do eletrodo combinado (H ₂ O / KCl)
C ⁺	Cmolc/Kg	Solução extratora Merlich 1
Ca ⁺²	Cmolc/Kg	Método de cloreto e potássio 1 normal
Mg ⁺²	Cmolc/Kg	Método de cloreto e potássio 1 normal
CTC	Cmolc/Kg	CTC = S + (H ⁺ + Al ⁺³)
Al ⁺³	Cmolc/Kg	Solução extratora de KCl 1N
pH	Cmolc/Kg	pH em água abaixo de 7,0.
M.O.	g/Kg	Oxidação da MO (g/Kg) = 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

4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e suas médias submetidas a teste de TuKey e os resultados obtidos foram submetidos às análises básicas e testes não paramétricos como os de Kruskal & Wallis (1952), e Wilcoxon (1945). Estes testes enfocam a variabilidade das características de substrato e dos resultados dos tratamentos.

Tabela 4 – Parâmetros do delineamento experimental – dados da curva de retenção.

Tratamentos	Porosidades (cm ³ cm ⁻³)					θ _v (cm ³ cm ⁻³)	
	Macro	Meso	Micro	Cripto	Total	CC	PMP
VC	0,09	0,13	0,12	0,06	0,41	0,14	0,06
RVH	0,18	0,17	0,10	0,07	0,52	0,14	0,07
SD	0,13	0,16	0,09	0,10	0,48	0,17	0,10
MANTA	0,16	0,14	0,09	0,08	0,48	0,16	0,08
RSD	0,19	0,15	0,09	0,08	0,51	0,15	0,08
VH	0,18	0,16	0,09	0,06	0,49	0,13	0,06
RVC	0,12	0,16	0,09	0,07	0,43	0,14	0,07

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DURANTE O EXPERIMENTO

As parcelas experimentais foram instaladas durante os meses de julho e agosto de 2014. No mês de setembro ocorreram chuvas diárias na ordem de 30 mm diminuindo até o mês de dezembro para valor em torno de 12,0 mm. O decréscimo de precipitação, de certa forma, mostra coerência com os eventos que ocorrem no segundo semestre na região Metropolitana da Cidade do Recife. Essa questão afetou fortemente o desenvolvimento e crescimento do *Vetiveria zizanioides* quanto os outros tratamentos avaliados, pela falta de eventos que pudessem interagir com os tratamentos propostos.

As chuvas aumentaram durante os meses de março a julho de 2014, decrescendo até o mês de agosto, voltando a aumentar no mês de setembro quando o total mensal aproximou-se da precipitação máxima (312,0 mm). A temperatura mais baixa ocorreu no mês de julho registrando 29,0°C, enquanto que a temperatura mais alta ocorreu no mês de abril com 33,6°C.

A Figura 16, apresenta o gráfico de precipitação e temperatura médias mensais que foram registradas durante o ano de 2014, período no qual foi realizado o trabalho de campo no Centro de Logística da COMPESA.

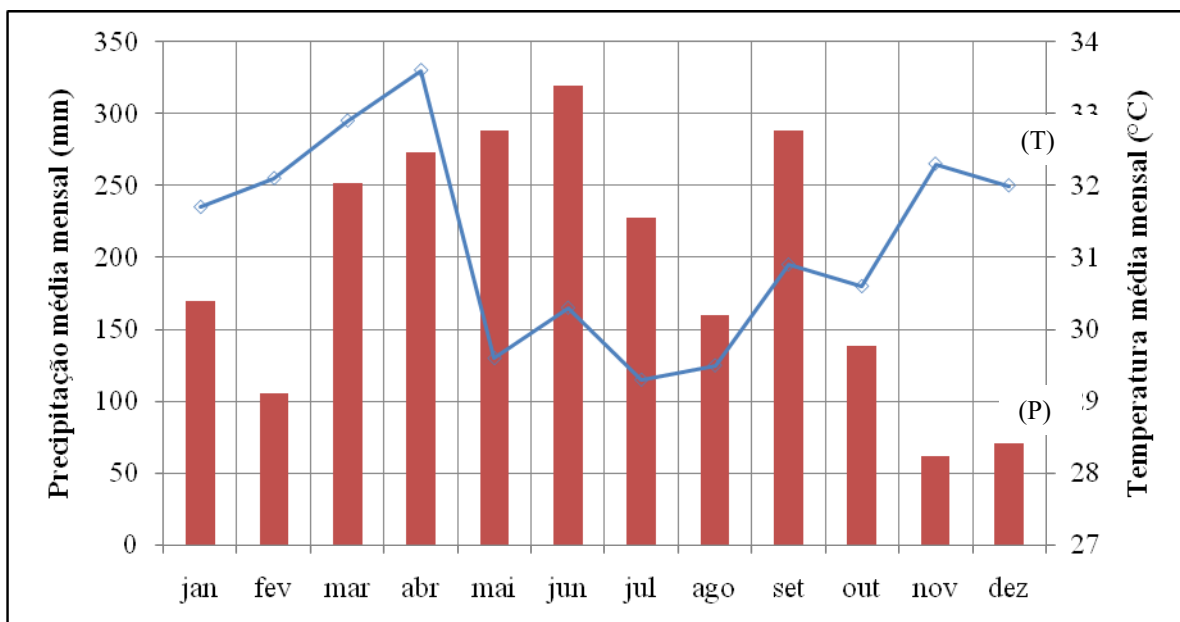


Figura 16 – Variação da precipitação e temperatura médias mensais durante o experimento.(P) precipitação; (T) temperatura.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

5.2.1 Atributos Físicos das Amostras

Os resultados da caracterização física do solo da área de estudo por meio da análise granulométrica (Dispersão total), método do densímetro, mostram a distribuição das frações que constituem o solo do talude estudado. Os resultados das amostras em relação a sua granulometria apresentaram-se bastante homogêneos, com predominância em todas as amostras avaliadas, na textura arenosa. A Tabela 5 apresenta os resultados desta análise segundo a classificação da Embrapa (1997).

Tabela 5 – Análise granulométrica do solo das parcelas experimentais

Tratamentos	Percentuais (%)			Classificação EMBRAPA (1997/2013)
	AREIA	SILTE	ARGILA	
RSD	82,30	11,10	6,60	ARENOSA
RVC	84,30	11,36	4,34	ARENOSA
RVH	84,37	9,74	5,89	ARENOSA
VC	83,30	10,09	6,61	ARENOSA
SD	82,62	11,82	5,56	ARENOSA
VH	83,07	11,25	5,68	ARENOSA
BFS	81,63	12,92	5,45	ARENOSA

RSD – Retentor em solo desnudo; RVC – Retentor em vetiver casualizado; RVH – retentor com vetiver em fileira horizontal; VC – *Vetiveria zizanioides* casualizado; SD – solo desnudo; VH – vetiver em fileira horizontal; BFS – Biomanta de fibra de sisal

É importante mencionar que no caso de solos granulares (areia), a granulometria tem relação direta com seu comportamento. No caso de solos finos (argila e silte), a presença de água tem uma influência maior que a granulometria devido à interação dela com os grãos minerais afetando, portanto, a plasticidade e a coesão dos solos. A tabela 6 apresenta a umidade das parcelas experimentais. Os resultados apresentam pouca variação de umidade, tendo o percentual médio de 25.42.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de umidade

Tratamentos	Pesos			Umidade Total
	Solo Úmido	Solo Seco	Água	
RSD	179,22	143,45	36,32	24,93
VC	178,74	142,56	36,18	25,37
SD	181,79	144,77	37,02	25,57
BFS	175,57	141,01	34,56	24,51
VH	170,47	137,17	36,30	26,71
MÉDIA				25,42

RSD – Retentor em solo desnudo; VC – *Vetiveria zizanioides* casualizado; SD – solo desnudo; VH – vetiver em fileira horizontal; BFS – Biomanta de fibra de sisal.

De acordo com os resultados o teor de umidade natural variou de 24,51 % a 26,71 % conferindo uma variação ao longo no talude. Embora aparentemente verificado em campo, durante os períodos de chuva um acúmulo de água nas posições mais baixas do talude, não foi possível observá-lo em laboratório e os resultados obtidos não confirmaram maior umidade para esta posição do talude. O solo apresentou um baixo teor de umidade devido a taxas de evaporação que ocorreram na época em que foi realizada a coleta das amostras, não havendo no momento nenhum condicionador de umidade como cobertura vegetal e matéria orgânica.

Para a análise da densidade das partículas, considerando-se a profundidade do substrato estudado, observou-se de acordo com a Tabela 7 uma variação de uma variação de $2,43\text{g/cm}^{-3}$ a $2,63\text{g/cm}^{-3}$, tendo o valor médio de $2,51\text{g/cm}^{-3}$. Se aproximando de parâmetros de solos arenosos.

Tabela 7- Densidade de Solo - Metodologia EMBRAPA (1997/2013)

Tratamentos	Massa (g)	Volume de Partículas (%)	Densidade do Solo dS solo
RSD	20,00	42,4	2,63
VC	20,00	41,8	2,43
SD	20,00	42,2	2,56
VH	20,00	41,8	2,43
BFS	20,00	41,9	2,47
MÉDIA			2,51

Na tabela 8 a seguir, pode-se observar que a densidade do solo (γ) variou de $1,51\text{g/cm}^{-3}$ a $1,59\text{g/cm}^{-3}$, com valor médio de $1,56\text{g/cm}^{-3}$, indicam que os substratos podem apresentar problemas decorrentes da compactação que acarretará dificuldades para o crescimento e desenvolvimento de raízes devido ao seu volume de macroporos. Esta faixa de peso específico aparente foi devida à compactação decorrente do uso dos implementos das máquinas durante a construção do talude.

Tabela 8 – Densidade de Partículas

Tratamentos	Amostras		
	Volume	Solo Seco	Densidade De Partículas $\mathbf{dP} (\gamma)$
RSD	90,60	143,45	1,58
VC	90,61	142,56	1,57
SD	90,18	144,77	1,59
BFS	90,33	141,01	1,54
VH	90,59	137,17	1,51
MÉDIA			1,56

Segundo Bertol *et al.*, (2004) esses substratos, nessas condições de densidade, acarretará alteração na velocidade de infiltração de água e na respiração das raízes das plantas dificultando seu desenvolvimento e conseqüentemente influenciando nas biotécnicas de engenharia.

Estas condições de porosidade são bastante limitantes ao desenvolvimento radicular de plantas em geral, pela reduzida taxa de difusão de gases entre poros no substrato e pela dificuldade de drenagem do excesso de água das chuvas (Bertol *et al.*, 2004), torna-se difícil generalizar conclusões, pois a influência da compactação do solo sobre o crescimento radicular é decorrente de diversos fatores, que dependem das características genéticas das plantas, das condições ambientais e do estágio de desenvolvimento do vegetal.

O índice de vazios (IV) em cada tratamento apresentado foi calculado conforme a norma da ABNT 12007/90, onde estabelece que o IV é a relação entre a $dP/dS - 1$. em que: e_i = índice de vazios inicial (adm); D_s = densidade do solo ($cm^3 cm^{-3}$); D_p = densidade de partículas ($cm^3 cm^{-3}$). O índice de vazios (e) apresentou uma variação na ordem de 50 a 70%, sendo a média 60%. Como este índice está relacionado com o volume de poros e o volume ocupado pelas partículas sólidas, de acordo com Wutke et al. (2003), a porosidade deste substrato pode ser caracterizado como de baixo índice, pois, apresenta uma variação de 30 a 40%, sendo a média 37,75%.

Devido ao alto percentual da fração areia detectada em torno de 83% os Limites de Liquidez (LL) e de Plasticidade (LP) não foram atingidos, demonstrando que o teor de argila encontrado estava muito baixo, em torno de 3,6%, conseqüentemente não ocorreu a modelagem da argila nem apresentou a umidade e a plasticidade necessária para fechar a fissura no aparelho de casa grande, obtendo-se LN e não sendo possível definir o índice de plasticidade (IP).

A estabilidade de agregados via seca foi realizada com um agitador eletromagnético, com um conjunto de peneiras de malha: 3,35; 1,70; 0,850; 0,600; 0,425; 0,300; 0,212; 0,150; 0,106; 0,075; 0,053 mm, a uma intensidade de 90 vibrações por segundo, durante 10 minutos. (Figura 17). Após o término dos ensaios, realizou-se a pesagem da fração de agregados retidos em cada classe de peneiras do agitador e, com estes pesos, determinou-se o DMP e o DMG. Apresentando um DMP de 50 e um DMG de 0.2, reiterando uma textura de solo arenoso, como conseguido pela análise granulométrica (Dispersão total), método do densímetro, pela metodologia EMBRAPA (1997).

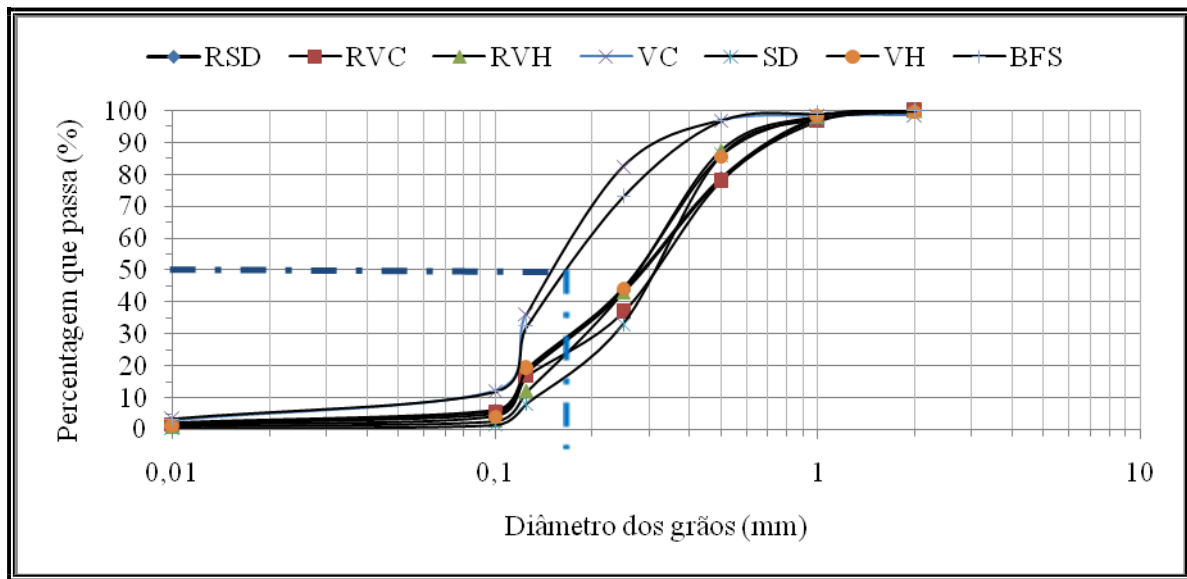


Figura 17 – Peneiramento das amostras

Pode-se observar através da Tabela 9, que o volume de água em cm^3/cm^3 variou na macroporosidade de 0,52 a 0,35. A mesoporosidade variou de 0,35 a 0,15. A microporosidade variou de 0,15 a 0,06 e a Criptoporosidade 0,03 a 0,10 cm^3/cm^3 . A umidade no ponto de murcha permanente PMP, variou de 0,03 a 0,10.

Tabela 9 – Umidade Volumétrica Resumo dos Tratamentos

Tratamentos	Umidade Volumétrica (q) $\text{cm}^3 \text{ cm}^3$						
	0	10	60	100	333	10.00 0	15.00 0
VC	0,41	0,31	0,19	0,14	0,12	0,07	0,06
RVH	0,52	0,33	0,16	0,14	0,13	0,08	0,07
SD	0,48	0,35	0,19	0,17	0,16	0,11	0,10
BFS	0,48	0,32	0,18	0,16	0,15	0,10	0,08
RTD	0,51	0,32	0,17	0,15	0,13	0,09	0,08
VH	0,49	0,31	0,15	0,13	0,10	0,07	0,06
RVC	0,43	0,32	0,15	0,14	0,12	0,07	0,07

Segundo Reichert *et al.*, (2007), a microporosidade é responsável pela retenção e armazenamento, enquanto que a macroporosidade comanda a infiltração e a drenagem da água no solo. Observam-se na figura 18, as curvas característica de retenção de água no solo (CRAS) dos sistemas de tratamento, nas quais, foram observados os níveis de umidade encontrados em cada parcela e em cada sistema de manejo. (morro a baixo, Solo desnudo, Cordão vertical, Biomanta e sistemas mistos). Em relação a Curva de retenção do solo, os valores obtidos durante as análises realizadas situaram-se na faixa de 10^{-3} a 10^{-5} cm^3/s com média de 10^{-4} cm^3/s .

Observa-se ainda na Figura 18, o comportamento da curva de retenção durante a submissão das diversas tensões e que houve variedade de umidade na coleta das amostras, apesar de as mesmas terem sido coletadas no mesmo dia com intervalos de 10 minutos. Porém no que tange as medições realizadas de 1 a 100 kPAs (Mesa de Tensão) na macro e mesoporosidade houve uma perda de solo umidade constante e uniforme. E na microporosidade observando mesa de tensão e câmara de Richards apresentou uniformidade constante e baixa perda de umidade características de solos arenosos. Comprovando-se a hipótese do solo arenoso. se mostrou uniforme.

A umidade é fator preponderante nas condições do talude e a sua relação com as tensões de cisalhamento. A saber, que um solo úmido estará muito mais propenso ao cisalhamento do que um solo seco, pois o peso é fator chave para aumentar o esforço.

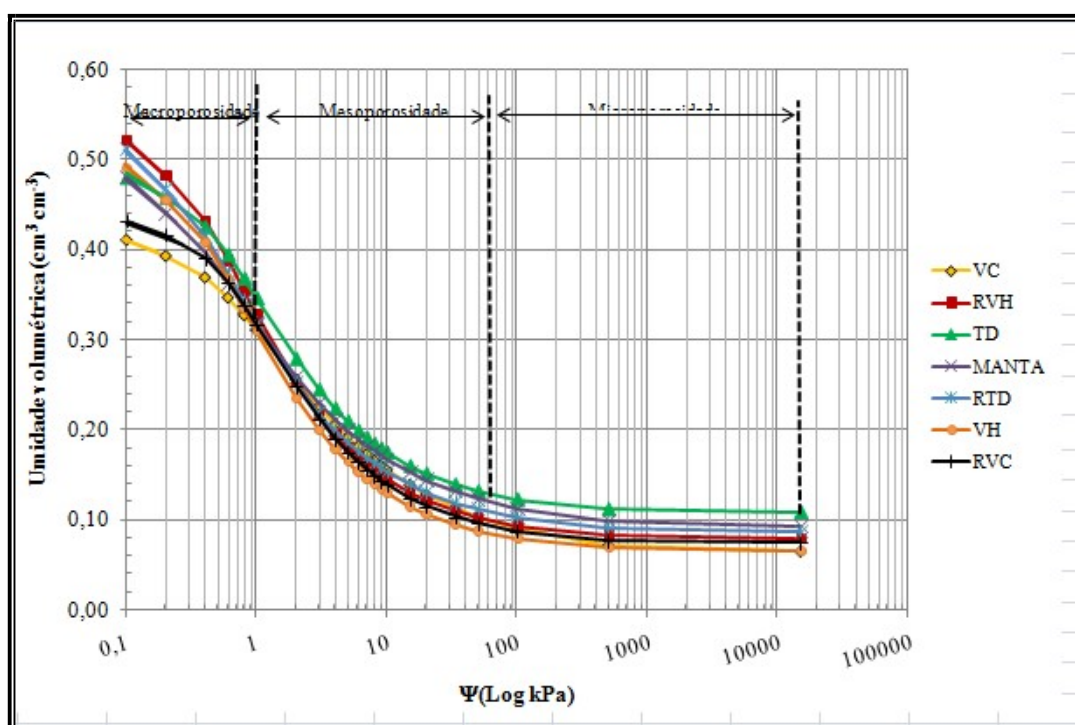


Figura 18 – Dada da Curva de Retenção – Porosidade

A resistência ao cisalhamento do solo é a tensão máxima que o solo pode suportar sem sofrer ruptura ou tensão cisalhante no plano de ruptura. E que estase da pelo excessivo movimento das partículas por bricamento, a água termina por ocupar todo menisco capilar aumentando a densidade do solo que leva a ruptura.

A resistência ao cisalhamento do solo em estudo foi determinada em amostras estruturadas e saturadas, utilizando-se tensões normais de 50, 100, 150 e 200 kPa, reproduzindo assim a situação de confinamento de campo.

Nas figuras 19, 20 e 21 têm-se as envoltórias de resistência ao cisalhamento de quatro sistemas tratamentos com amostras equilibradas na umidade de 0,60. Para a seleção das envoltórias, foram selecionadas as tensões de cisalhamentos e suas respectivas tensões normais que obtiveram um coeficiente de determinação (R²) maior que 0,97.

Segundo Pinto (2000), a envoltória de resistência é uma curva até a tensão de pré compressão e, uma reta cujo prolongamento passa pela origem acima desta tensão. Ainda segundo o autor, não é prático se trabalhar com envoltórias curvas, então, se costuma substituir o trecho curvo da envoltória por uma reta que a melhor represente. (SOUZA, 2015).

A inclinação da reta no tratamento com gramínea vertier apresentou menor inclinação correspondendo assim, a menor valor de ângulo de atrito interno, enquanto que os tratamentos testemunha, SD (solo Desnudo) e o tratamento com retentores apresentaram retas com maiores inclinações. O solo protegido por biomanta de sisal apresentou o menos ângulo de atrito, acredita-se que devido ao menor teor de umidade.

Tabela 10 – Tratamentos e os respectivos ângulos de atrito.

Tratamentos	Ensaio	Coesão	Ângulo de Atrito
Solo Desnudo	1	0,00	44,85
Vertiver Casualizado	4	88,51	43,44
Retentor /solo desnudo	3	21,24	45,81
Biomanta de Fibra Sis	2	10,10	42,63

Pinto (2000), afirma que os problemas de resistência dos solos são usualmente analisados empregando-se os conceitos do "equilíbrio limite", o que implica considerar o instante de ruptura, quando as tensões atuantes igualam a resistência do solo, sem atentar para as deformações. a determinação da resistência ao cisalhamento do solo é que condiciona o projeto, são as análises de estabilidade de taludes (aterros e cortes).

Através de emprego das tensões (50, 100, 150 e 200 kPAs), constroem-se vários círculos de Mohr que tangenciam a envoltória. Neste caso, quando se atinge algum plano da reta, ocorre a ruptura e rompendo-se a resistência ao cisalhamento. Esta condição ocorre em um plano inclinado a um ângulo " α crítico" com o plano onde atua a tensão principal maior, a tensão cisalhante. Dessa forma, a tensão normal é sempre menor que a tensão usada no teste.

Para cada esforço normal (N), determinou-se o esforço tangencial necessário para romper a amostra ao longo de um plano horizontal (T max.). Assim, para cada tensão normal (σ), tem-se uma tensão cisalhante. (τ_{max}).

Na Tabela 11, observam-se os índices físicos dos corpos de prova utilizados nos ensaios de cisalhamento direto realizados no laboratório.

Tabela 11 – índices físicos de cisalhamento das amostras

Tratamentos	Características Físicas						
	Ensaio	Profundidade	Tensão	Tensão Normal	Tensão cisalhante	Umidade Inicial	Umidade Final
Solo Desnudo	1	0.00 / 0.20	50	52,57	39,72	0.30	0.21
			100	111,14	99,42	0.18	0.13
			150	177,30	161,23	0.23	0.15
			200	226,53	225,90	0.28	0.17
Vertiver Casualizado	4	0.00 / 0.20	50	53,00	108,00	0.20	0.16
			100	107,00	140,00	0.32	0.13
			150	166,93	155,00	0.15	0.15
			200	229,30	186,12	0.15	0.13
Retentor /solo desnudo	3	0.00 / 0.20	50	59,25	71,49	0.15	0.14
			100	118,20	105,82	0.18	0.13
			150	177,35	152,84	0.19	0.11
			200	226,01	199,00	0.24	0.10
Biomanta de fibra de Sisal	2	0.00 / 0.20	50	59,26	70,76	0.26	0.19
			100	118,15	120,07	0.47	0.13
			150	170,51	172,17	0.27	0.09
			200	209,11	216,15	0.39	0.15

As curvas de deslocamento horizontal *versus* tensão cisalhante e deslocamento horizontal *versus* deslocamento vertical obtidas nos ensaios de cisalhamento direto são apresentadas nas Figuras 19 e 20, respectivamente.

Observa-se nas amostras testadas um ganho contínuo de resistência, com uma tendência à estabilização, em alguns corpos de prova, para elevados níveis de deslocamento.

Os gráficos de deslocamento horizontal *vs* tensão cisalhante mostram que, em geral, a tensão cisalhante, até o final dos ensaios, apresenta um contínuo acréscimo. Isto poderia indicar também que a ruptura da raiz não ocorre durante os ensaios de cisalhamento direto, se não, o alongamento ou deslizamento das fibras.

Com relação à variação de volume dos corpos de provas testados, durante a fase de cisalhamento, foi verificado que algumas amostras, só no começo desta fase, tiveram uma pequena dilatação, mas, ao longo do ensaio, houve contração do material.

A menor tensão cisalhante observadas durante os ensaios ocorreu na aplicação das tensões de 50 kPa no solo desnudo que apresentou 39,72, configurando-se como solo onde não havia nenhuma biotécnica de proteção. Ocorrendo no SD (Solo Desnudo) também a menor média de tensão cisalhante, 131,56.

A maior resistência ao cisalhamento a 50 kPa se deu na biotécnica BFS, (Biomanta de Fibra de Sisal) 55,26, seguida pelo uso da biotécnica de retentores.

A maior média a resistência ao cisalhamento se deu na biotécnica VC, vertiver casualizado onde foi constatada a média de 147,28.

No tocante a tensão cisalhante como apresenta as figuras 19, 20 e 21 as envoltórias de ruptura lineares (admitindo a validade da equação de Mohr-Coulomb), apresentaram melhores ajustes aos dados de campo, referendando a hipótese que a utilização de biotécnicas de engenharia pode auxiliar na resistência ao cisalhamento de solos em taludes urbanos.

De pronto sugere-se a necessidade de realização de mais ensaios em níveis de tensões normais mais baixos, simulando de forma mais adequado ao campo.

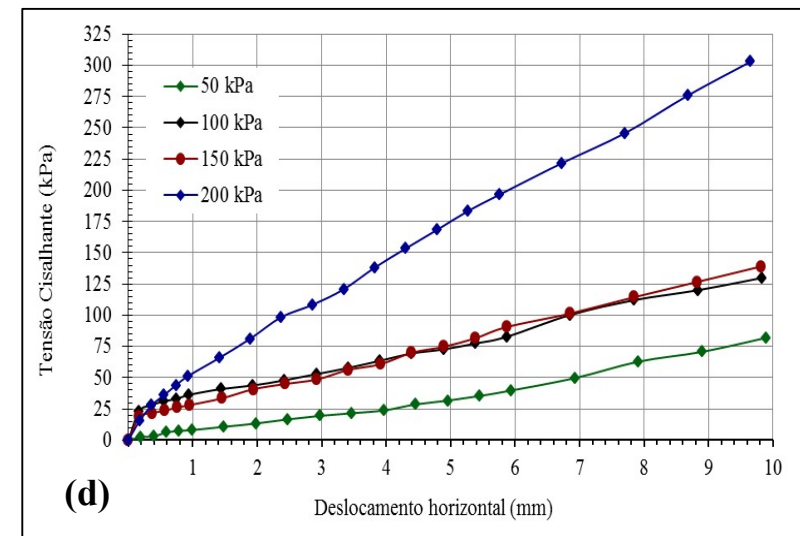
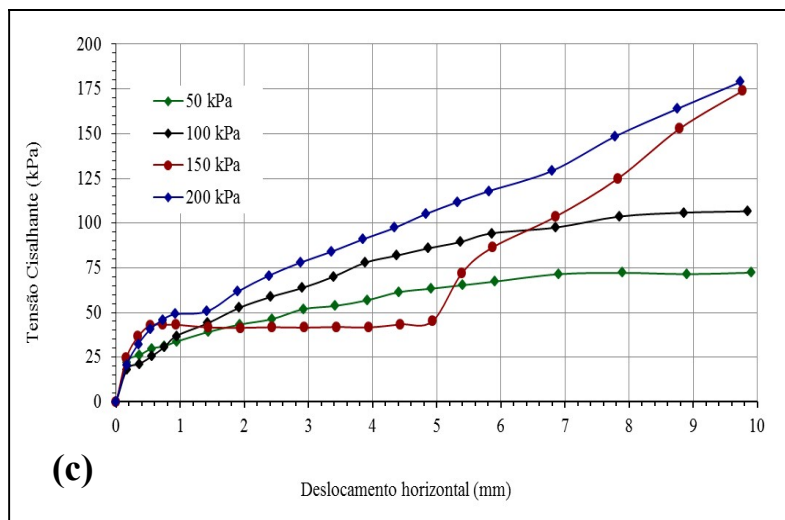
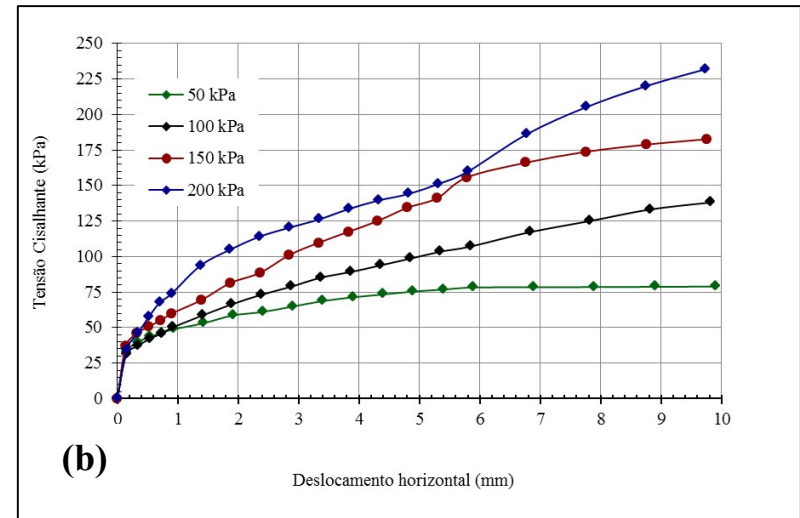
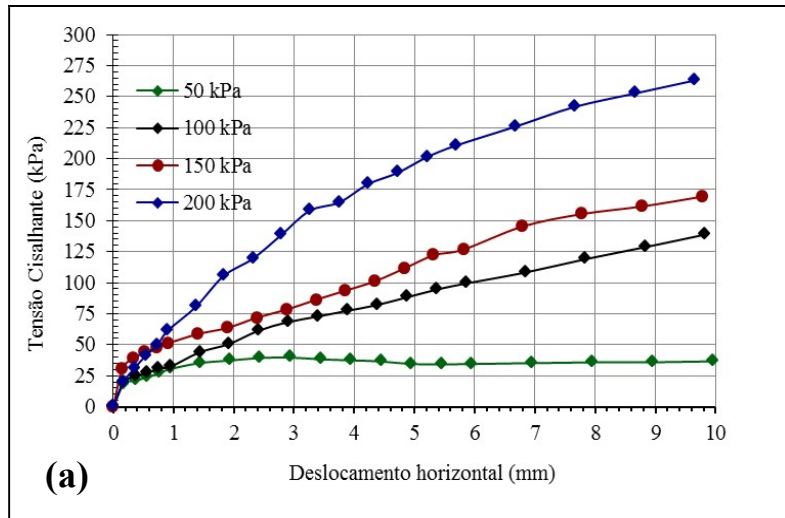


Figura 19 – Deslocamento vertical vs Tensão cisalhante: (a) – Solo desnudo; (b) – Vertiver casualizado; (c) – Retentor em solo desnudo; (d) – Biomanta de fibra de sisal.

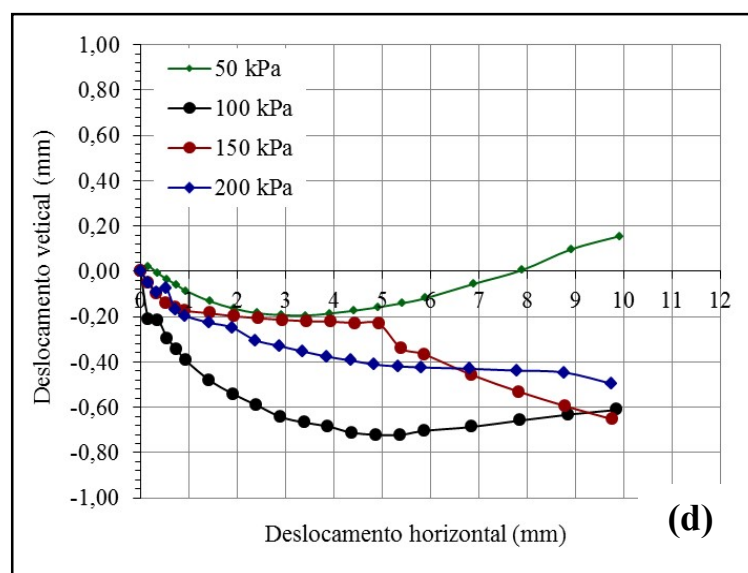
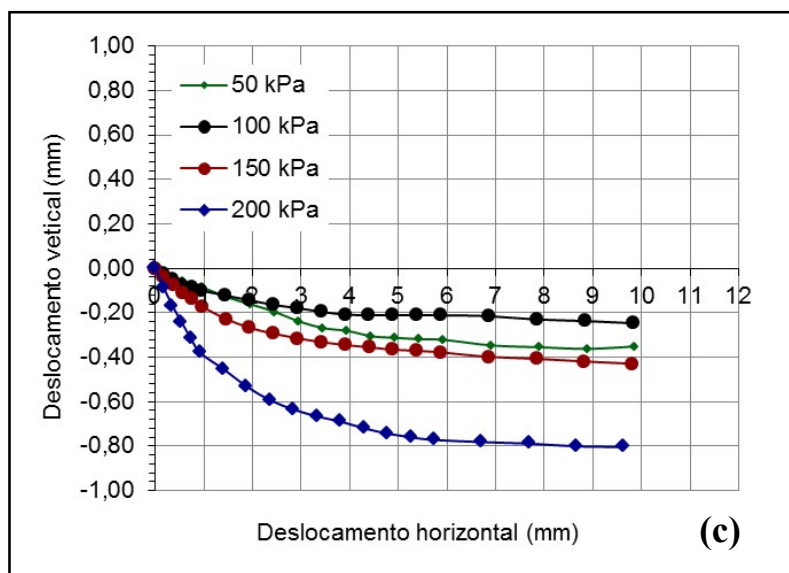
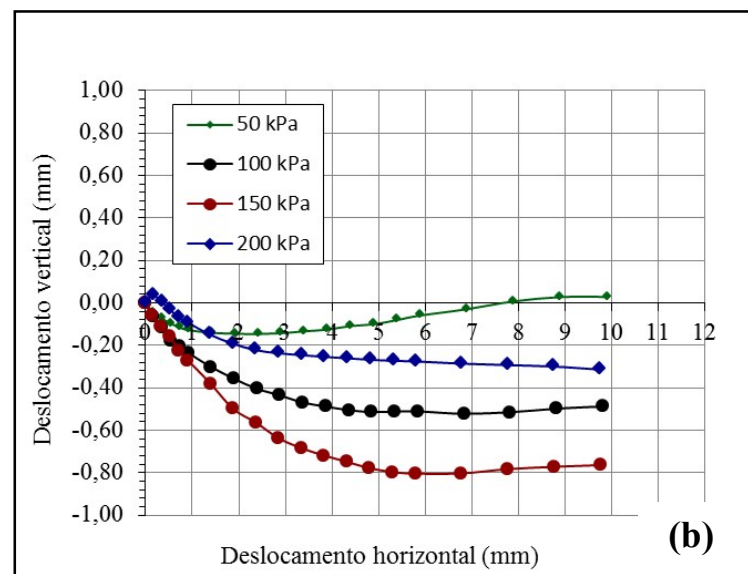
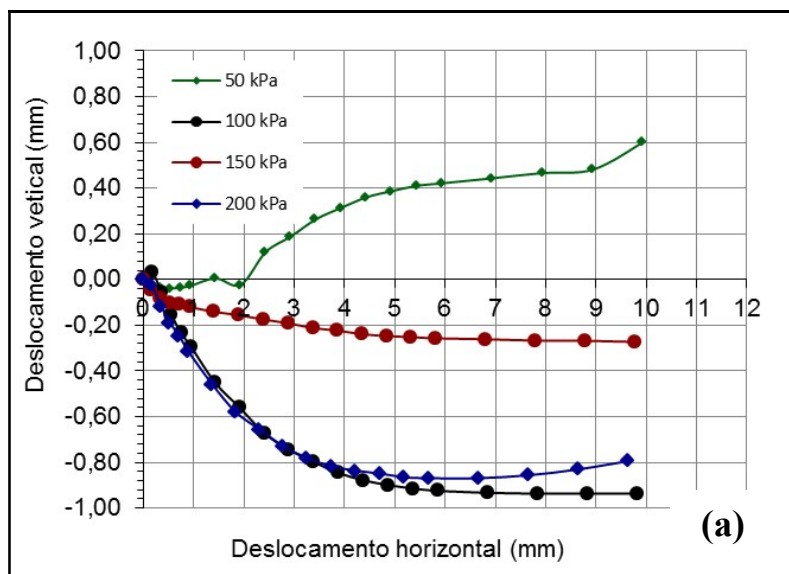


Figura 20 – Deslocamento horizontal vs Tensão cisalhante: (a) – Solo desnudo; (b) – *Vertiver* casualizado; (c) – Retenor em solo desnudo; (d) – Biomanta de fibra de sisal

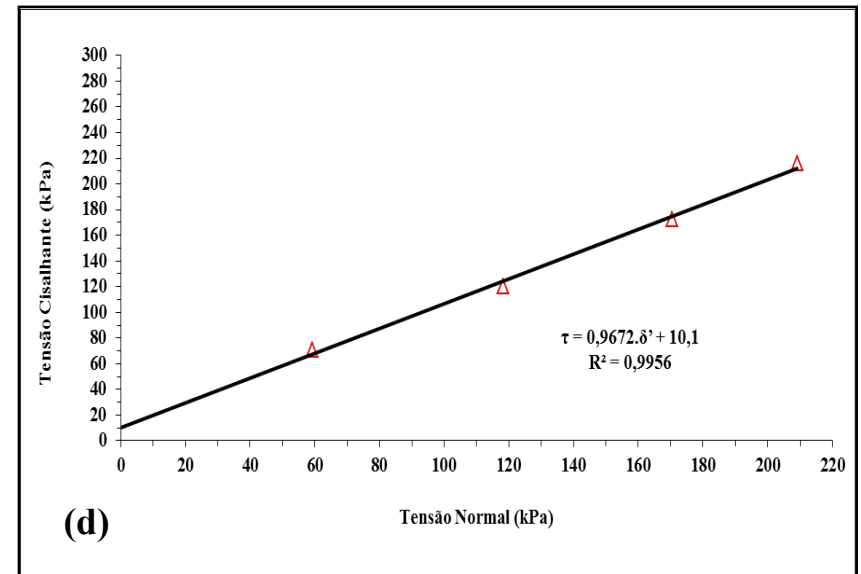
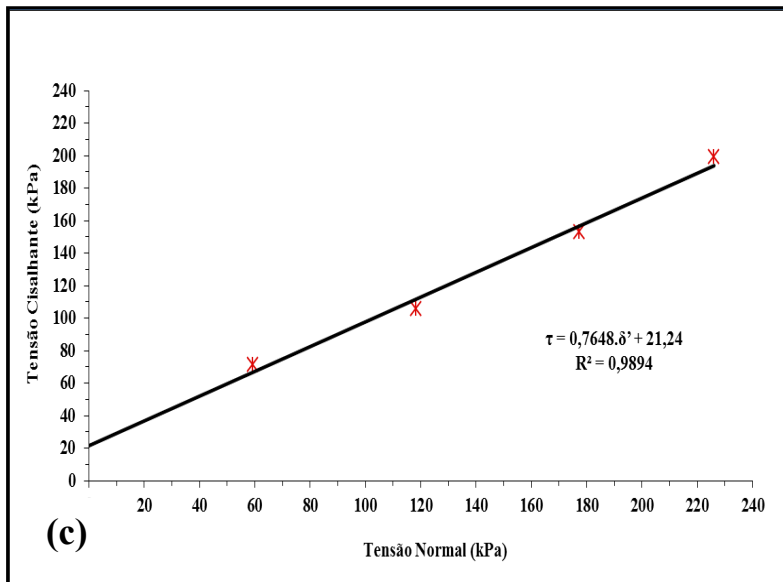
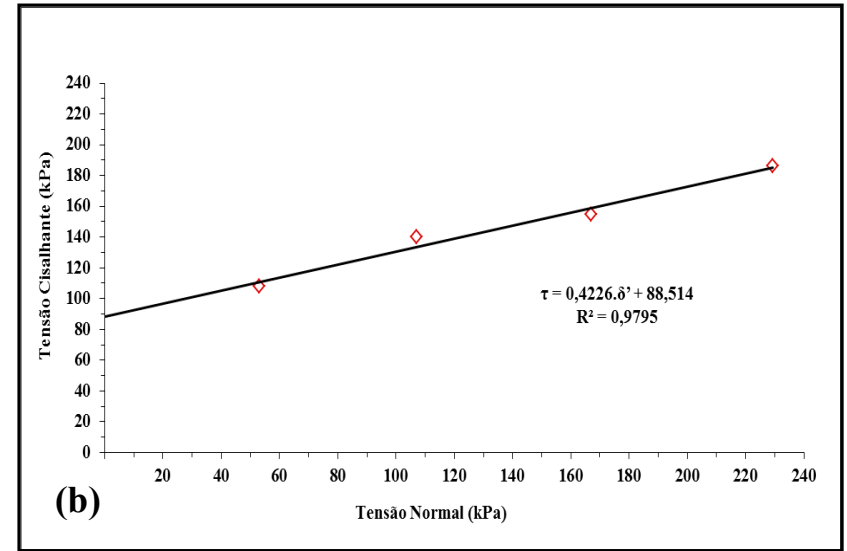
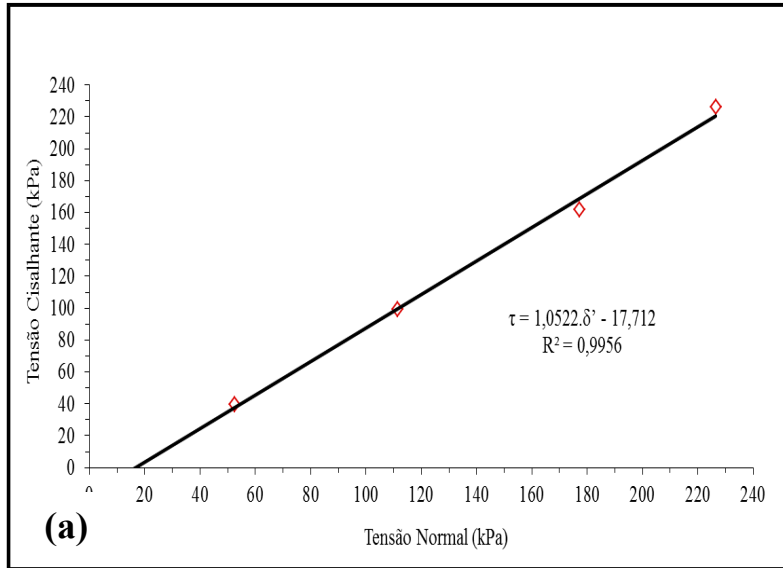


Figura 21 –Tensão cisalhante vs Tensão Normal: (a) – Solo desnudo; (b) – *Vertiver* casualizado; (c) – Retentor em solo desnudo; (d) – Biomanta de fibra de sisal

Na Tabela 12 são apresentados os parâmetros de resistência ao cisalhamento, calculados para cada uma das envoltórias dos quatro ensaios realizados, em quatro tipologias de tratamento, admitindo a validade da equação linear de Mohr-Coulomb.

Tabela 12 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento

Tratamentos	Profundidade (cm)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (graus)	Massa específica do solo (g/cm ³)	Umidade média do Teste (%)	Espaços Vazios (%)
Solo Desnudo (SD)	0,0 – 20,0	0,00	42,86	1,56	12	36
<i>Vertiver</i> Casualizado (VC)	0,0 – 20,0	88,51	43,44	1,41	12	43
Retentor Solo Desnudo (RSD)	0,0 – 20,0	21,24	45,81	1,60	14	36
Biomanta Fibra de Sisal (BFS)	0,0 – 20,0	10,10	42,63	1,39	12	44

Comparando os parâmetros de resistência ao cisalhamento, resultado das envoltórias de ruptura para cada ensaio, percebe-se que para todos os tratamentos os ângulos de atrito possuem a mesma ordem de grandeza para a profundidade testada. No entanto, para o Tratamento VC, devido a presença de raízes no solo observa-se que a coesão é superior à todos os outros tratamentos. Mattia *et al.* (2007) relatam que os valores da razão área/raízes, diminuem com a profundidade, e, conseqüentemente o reforço. Observa-se na Tabela 12 que a diferença entre os solos com raízes e os demais.

Por outro lado, analisando estes mesmos resultados para a mesma profundidade, nos Tratamentos SD, RSD e BFS notam-se variação da coesão, como também um ângulo de atrito muito próximos. Ao contrário da maioria dos dados apresentados na literatura apresentados por Cazzuffi *et al.* (2006), a maior resistência ao cisalhamento foi encontrada na amostra de solo com raiz, que apresentou o valor mais alto de coesão de 88,51 kPa, mas ângulo de atrito é semelhante às demais amostras.

Embora as amostras tenham sido coletadas no mesmo solo, os índices físicos iniciais especificamente a massa específica, constatou-se que na amostra de solo com raízes (VC), o solo era muito mais denso, e conseqüentemente mais resistente que os demais. Acredita-se então, que a escala de trabalho usada para a realização dos ensaios de cisalhamento direto não foi a mais adequada, devido às dimensões dos corpos de prova testados (6 x 6 x 3 cm) que não simulariam com total fidelidade a situação real que apresenta-se em campo.

Mendonça e Cardoso (1998), utilizando uma caixa de grandes dimensões (0,75 x 0,75 x 0,5m) para ensaio de cisalhamento direto, argumentaram que a amostra seria representativa do material a ensaiar, no entanto, relataram a impossibilidade técnica de realizar estes ensaios em devido à dimensão das partículas envolvidas.

Mendonça e Cardoso (1998) realizando ensaios de cisalhamento direto verificaram um incremento da resistência ao cisalhamento do solo conferido pela presença de raízes. Goldsmith (2006) relata que, em geral, os resultados da tensão de cisalhamento são amplos e variados, em virtude das condições não controladas dos lugares naturais onde foram realizadas as coletas das amostras. A mesma percepção é vista no presente trabalho, o que mostra a necessidade de se realizar um maior número de ensaios, em campo e no laboratório, que possibilitassem uma análise estatística e permitissem inferir melhores conclusões.

5.2.2 Atributos químicos das amostras

A seguir são apresentados e discutidos os resultados da caracterização química dos substratos onde foram implantadas as parcelas experimentais com, com a finalidade de caracterizar os possíveis efeitos da fertilidade do solo no desenvolvimento do *Vetiveria zizanioides*. Na Tabela 13, apresentam-se os resultados desta análise.

Tabela 13 – Parâmetros das análises química do solo

Parâmetros	Unidade	Valores
pH (água)	(-)	6,85
K ⁺	cmolc.kg ⁻¹	0,22
Ca ⁺²	cmolc.kg ⁻¹	3,3
Mg ⁺²	cmolc.kg ⁻¹	0,7
CTC	cmolc.kg ⁻¹	6,85
Al ⁺³	cmolc.kg ⁻¹	0,1
H ⁺	cmolc.kg ⁻¹	1,2
M.O.	dag.kg ⁻¹	2,3

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

Observa-se, então, que segundo a classificação química para interpretação de pH em água, o pH das amostras está compreendido entre 6,4 e 7,3 o que significa que o solo encontra-se 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. (ALVAREZ. *et al.*, 1999) e EMPRAPA (2000).

Em termos de nutrição de plantas a faixa ideal de pH deveria estar entre 5,5 a 6,0 para contribuir com uma maior disponibilidade de nutrientes. (DIAS, 1998).

Como o pH está acima do valor ideal, o Al^{3+} não se encontra precipitado, ou seja, disponível no sistema solo-planta, sendo encontrado para este elemento $0,1 \text{ cmolc.kg}^{-1}$ e, portanto, a maioria dos nutrientes não estará na forma solúvel, passíveis de serem absorvidos pelas raízes das plantas. Além disso, a toxicidade do alumínio será um fator limitante ao crescimento de plantas, uma vez que poderão também afetar vários microorganismos fixadores de N_2 em vida livre ou em simbiose. (DIAS, 1998).

A acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$), que apresenta valores entre $1,0$ e $1,3 \text{ cmolc.kg}^{-1}$, é classificada como baixa para a área de estudo. Relacionada também com a acidez do solo está a disponibilidade dos nutrientes cálcio e magnésio. EMBRAPA (2000).

Em relação ao cálcio, as amostras apresentaram resultados de $3,3 \text{ cmolc.kg}^{-1}$, valor bom. Em relação ao magnésio os valores estão compreendidos entre $0,7$ e $1,6 \text{ cmolc.kg}^{-1}$, de médio a muito bom.

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 porque as temperaturas altas aceleram sua decomposição. Este escasso conteúdo de matéria orgânica torna o solo mais sensível à erosão. (GOMEZ, 1990).

O teor de Ca^{2+} apresentou o valor de $3,3 \text{ cmolc.kg}^{-1}$, indicando que para este elemento o substrato possui uma boa qualidade agrônômica. Os teores de Mg^{3+} apresentou valor de $0,7 \text{ cmol.kg}^{-1}$, indicando tratar-se de um substrato com nível médio de Mg^{2+} . Andrade & Mahler (2000) obtiveram valores de Ca^{2+} e Mg^{3+} no substrato em um talude do aterro sanitário de São Paulo, valores superiores ao obtidos.

Para o teor de K^+ , concentração de $0,22 \text{ cmol.kg}^{-1}$, indica que boa parte da área está com bom teor de potássio, porém, isto não significa que este nutriente esteja na forma disponível (Ribeiro *et al.*, 1999),

A CTC potencial ($6,85 \text{ cmolc.kg}^{-1}$) mostrou um comportamento cuja classificação foi de baixo a médio. As amostras coletadas na área apresentaram uma baixa saturação por Al^{3+} , sendo justificado pela sua baixa concentração no substrato e uma alta saturação por base.

Pode-se inferir que o substrato possui alguma quantidade de macronutrientes, que atenderia as questões iniciais de nutrição das gramíneas, porém, devido ao baixo grau de saturação de Al^{3+} , a disponibilidade é dificultada às plantas.

5.3 DISCUSSÕES DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental utilizado para estatística da condutividade hidráulica foi o inteiramente casualizado, com três repetições distribuídos em sete tipologias de tratamento como se apresenta na Tabela 15.

Os tratamentos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e suas médias submetidas a teste de Tukey e resultados obtidos foram submetidos às análises básicas e testes não paramétricos.

Tabela 15 – Análise Estatística da Condutividade Hidráulica /Curva de retenção

Tratamentos	Porosidades (cm ³ cm ⁻³)										θ _v (cm ³ cm ⁻³)			
	Macro		Meso		Micro		Cripto		Total		CC		PMP	
VC	0,09	A	0,13	A	0,12	A	0,06	A	0,41	A	0,14	A	0,06	A
RVH	0,18	A	0,17	A	0,10	A	0,07	A	0,52	A	0,14	A	0,07	A
SD	0,13	A	0,16	A	0,09	A	0,10	A	0,48	A	0,17	A	0,10	A
MANTA	0,16	A	0,14	A	0,09	A	0,08	A	0,48	A	0,16	A	0,08	A
RSD	0,19	A	0,15	A	0,09	A	0,08	A	0,51	A	0,15	A	0,08	A
VH	0,18	A	0,16	A	0,09	A	0,06	A	0,49	A	0,13	A	0,06	A
RVC	0,12	A	0,16	A	0,09	A	0,07	A	0,43	A	0,14	A	0,07	A

Letras maiúsculas na mesma coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos apresentaram não significativos, para nenhum tratamento, inclusive o tratamento testemunha Solo Desnudo – SD.

6.0 CONCLUSÃO

Diante do exposto na presente pesquisa e de acordo com os resultados específicos obtidos dos experimentos aqui realizados, pode-se concluir que:

- ✓ A caracterização física dos substratos permitiu confirmar a homogeneidade dos substratos usados nas parcelas experimentais;
- ✓ A umidade do solo não foi suficiente para que houvesse o desenvolvimento do capim vetiver, haja vista termos um ano atípico que não proporcionou desenvolvimento das plantas em um curto espaço de tempo, sugere-se melhorar a manutenção no que se refere a adubação e irrigação para apresentar um melhor aspecto;
- ✓ A fertilidade do solo na área experimental e de acordo com as análises químicas mostrou-se deficiente, baixos teores de matéria orgânica e nutrientes, sugere-se maior preparo do campo para implementação de vegetação nos taludes descobertos, o *Vetiveria zizanioides*, precisou de cuidados necessários para um adequado e rápido crescimento.
- ✓ A resistência ao cisalhamento das amostras de solo-raiz do capim Vertiver apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento e de coesão, estando, portanto, mais denso e resistente ao escorregamento e conseqüentemente a erosão. Sugerindo o uso como biotécnica recomendada para o talude estudado;
- ✓ De acordo com os resultados obtidos na análise da condutividade hidráulica conclui-se que o solo é do tipo arenoso apresentando porosidade alta favorecendo os processos de erosão e o aumento na de perda de solo.

7.0 REFERENCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: **informação e documentação: citações em documentos: apresentação**. Rio de Janeiro, 2002a. 7 p. ABNT (1984). NBR 6508. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, SP, 8p.
- ABNT (1984). NBR 7180. Solo - **Determinação do limite de plasticidade**. Associação Brasileira de Normas Técnicas São Paulo-SP, 3p.
- ABNT (1984). NBR 7181. Solo – **Análise Granulométrica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo-SP, 2p.
- ABNT (1984). NBR 7181. Solo – **Estabilidade dos Taludes**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo-SP, 2009, 12p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação do Limite de Liquidez**, NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm: **Determinação da massa específica**, NBR 6508. Rio de Janeiro, 1984.
- ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo** Tese. Escola Superior de Agricultura .ESALQ, Piracicaba, SP.2008.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, p.711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- 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... (CD ROM). Vitória: ABES, 2000.
- ANGELIS NETO, G.; ANGELIS, B.L.D. A vegetação esua importância no controle de áreas urbanas degradadas.In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ÁREAS DEGRADADAS,4. 2000, Blumenau - SC. Anais... Blumenau: FURB, 2000.p. 265.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions**, USA, 2004
- BARBOSA, M. C; Estudo da aplicação do vetiver na melhoria dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos em taludes 2012, 128f. **Tese (Doutorado em Geotecnia)** Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2012.
- BERTONI & LOMBARDI NETO. **Conservação do solo**. 4ª edição, ícone, Coleção Brasil Agrícola, São Paulo, (1999) , 335 p.
- BERTOL., I. LEITE, D. J. C. guadagnin, S. R. RITTER. Erosão hídrica em um nitossolo hápico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, V28, nº 06, Viçosa, MG, dez, 2004.
- BVN, BOLETÍN VETIVER NÚMERO 14. Maracay, Venezuela: RLAV - Red LatinoamericanadelVetiver, n. 14, oct. 2006.
- BRADY, NYLE, C; RAY R WEILL, **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 6ª ed, Bookman, 2012. 716p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de vegetação rodoviária**. - Rio de Janeiro, 2009.734p.
- CALDERON. J.; **Efeito do uso de biomantas e de telas feitas com fibras naturais em encostas e taludes**, Bahia, 2013.

- CANTALICE, J.R.B. & MARGOLIS, E. **Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do Agreste de Pernambuco**. R. Bras. Ci. Solo, 17:275- 281, 1993.
- CAPUTO, H. P.; **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: Fundamentos**. 6ª. Ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1988. 234p.
- CARPENAZZI. A. A.; Costa, L. G. S.; Kageyama, P. Y. & Castro, C. F. A. **Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais**
- CARVALHO, P. A. S. et al. **Manual de Geotecnia - Taludes de Rodovias**: Orientação para Diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 389 p. In: Congresso Florestal Brasileiro, SBS/SBEF, Anais... Campos do Jordão, 1990, p. 216-221
- CAZZUFFI *et al.* **European experimental approach to the tensile creep behavior of high strength geosynthetic**. In:Geosynthetic 97, conference. 1987. Proceedings. P.253-266, 2005.
- CHAVES, H. M.L. Modelagem Matemática da erosão hídrica; Passado, Presente e Futuro In: ALVAREZ V. H. ; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (Eds.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos no Brasil e desenvolvimento sustentável. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. P 731-735.
- COGO, N. P. **Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural**. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e qualificação de solo e água da enxurrada (1º aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2. Passo Fundo, Anais... Passo Fundo, EMBRAPA –CNPT, p. 75- 98, 1978.
- COSTA. C. M. L. **Fluência de Geotexteis**, 1999, 87 f. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Carlos.USC, São Carlos, 1999,87 p.
- 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.; COSTA, C. A. B.; GOMIDE, L. C.; MOTTA, P. H. **Técnicas de Bioengenharia para Revegetação de Taludes no Brasil**. Boletim Técnico CBCN, Viçosa, n.1, 2010.
- COUTO,L. *et al.* **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil**. Viçosa, MG:CBCN, 2010, 118p. Disponível em: <www.cbn.org.br >. Acesso em 29 janeiro 2015.
- CUNHA, M. A., (org.), **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT. 1991. 216p.
- CUNHA, P. V. Estudo da degradação de geotêxteis tecidos. Dissertação de Mestrado – Centro de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2006.
- CUNHA, P. V. **Estudo da degradação de geotêxteis tecidos**. 2010.77f. Dissertação de Mestrado – Centro de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.
- CURI N.;LARACH,J.O.I.;KAMPF,N.;MONIZ,A.C.,e FONTES,L.E.T.Vocabulário de Ciência de Solo.Sociedade Brasileira de Ciência de Solo. Campinas, 1993,90p.
- DE ANGELIS NETO, Bruno Luiz Domingos DE ANGELIS2 e Daniel Simeoni de OLIVEIRA, **O uso da vegetação na recuperação de áreas urbanas degradadas de Generoso**, Acta Scientiarum. Technology Maringá, v. 26, no. 1, p. 65-73, 2004,
- DEFLOR bioengenharia. Soluções Ambientais definitivas. Belo Horizonte. 31p. 2002.
- DEFLOR BIOENGENHARIA .Guia de Instalação de Biomantas Antierosivas, Retentores de Sedimentos e Hidrossemeio. Belo Horizonte – MG.(2007).
- DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. N.; ANDRADE, S. C. & AZEVEDO, M. R. Avaliação sustentabilidade da estrutura de argissolos em sistemas florestais. Cerne, 8: 103-114, 2002.
- DIAZ, J. S. **Control de erosion em zonas tropicales**. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial Santander, (2001). 555 p.

EMBRAPA – FERTILIDADE DE SOLOS. **Interpretação de resultados de análise do solo**. 2000. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/feranalise.htm>. Acesso em: 20 de junho de 2014.

EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 1v.

DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. N.; ANDRADE, S. C. & AZEVEDO, M. R. **Avaliação da sustentabilidade da estrutura de Argissolos em sistemas florestais**, Cerne, 8-103 – 114,2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.

FAO – LAND AND WATER DEVELOPMENT DIVISION. National soil degradation maps, 2005. Disponível em: <http://www.fao.org/landandwater/agll/glasod/glasodmaps.jsp?country=BR&search=Display+map+%21>>. Acesso em: 8 de dezembro de 2014.

FIORI, A. P. & BOCHARDT, N. **Influência da Vegetação da Estabilidade de Taludes Naturais**. Curitiba: Boletim Paranaense de Geociências, n. 45. P. 43-58. 1997.

FLORINETH, F., MOLON, M., 2004/2005. Dispensa di Ingegneria Naturalistica, Università di Bodenkultur – Istituto di Ingegneria Naturalistica e Costruzione del Paesaggio, Vienna

FERNANDES, J. P.; GUIOMAR, N.; CRUZ, C. S: **Engenharia Natural - Uma engenharia para construir sustentabilidade**. Universidade de Évora APENA – Associação Portuguesa de Engenharia Natural, 2010,34 p.

FERNANDES., L. S. **Avaliações de Mantas Comerciais na Vegetação de Talude em Corte de Estrada**, 2004, 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal),UFV, Viçosa,MG, 2004.

GALETTI, P. A.; **Prática de Controle de Erosão**, Campinas, Instituto Campineiro de Estudos agrícolas, 1985, 278p.

GOLDSMITH, W. Soil strength reinforcement by plants. In: Proceedings of Annual Conference, International Erosion Control Association, February, 2006, Long Beach, California.

GÓMEZ, A.M. Control de la erosión hídrica. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 1990. 83 p.

GRAY, D. H., LEISER, A. T. **Biotechnical slope protection and erosion control**. Van Nostrand Reinhold. New York. 271p. 1989.

GRIFFITH, J.J., DIAS, L.E., JUCKSCH, I. **Novas estratégias ecológicas para a revegetação de áreas mineradas no Brasil**. In: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1: SIMPÓSIO NACIONAL, 2, 1994, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais – FUPF, 1994. p.31-43.

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

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1998.472p.

GUERRA, A. T. J; SILVA. A. S; BOTELHO. R. G. M.; (org.) **Erosão Conservação do Solo, Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999, 340p.

HENGCHAOVANICH D & TROUGH,. Vetiver System for SlopeStabilization. In: Proceedings of Third InternatioalVetiver Conference, October, 2003, Guangzhou, China.

Programa de Pósgraduação em Saneamento, Meio Ambiente e R.Hídricos da UFMG 78

- IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**, BRASÍLIA, IBAMA, 96p.1990.
- IBGE.(Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) Manual Técnico de Pedologia,2007.
- IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro: IBGE. Manuais técnicos em geociências, n. 1, 1992.
- JONG. V. L. QUIRJIN. Et al (org), 2010, **Física do Solo**, 1ª ed, Rio de Janeiro, SBCS, 2010, 298p.
- 262p. 1979.
- KOBIYAMA, M.; Minella, J.P.G.; Fabris, R. 2001. **Áreas degradadas e sua recuperação**. Informe agropecuário 210: 10-17
- LAL, R.; **Erodibility and Erosivity**. In LAL. R. et al, Soil Erosion Research Methods, Washington D.C. Soil and Water Conservation Society, 1988. P. 141-160.
- LAL, R. (Ed.). **Soil erosion – Research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1994. 340 p.
- LAL, R.,. Erodibility and Erosivity. In. LAL, R (editor). **Soil Erosion Research Methods**. Soil p. 141-160. 1990.
- LEPSCH, Igo F. **Formação e Conservação dos Solos**. Oficina de Textos. São Paulo. 2002.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo(EDUSPE), 344p, 2005.
- LOPES, M. H. Capim Vetiver. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT. **REDETEC – Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2005. 4p.
- MAGALHÃES, R. A. et al; **Erosão: definições, tipos e formas de controle**. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia, 2001.11p.
- 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**, MG. 2005. 169 f. Dissertação de Mestrado – PPG-SMARH, UFMG, Belo Horizonte.
- MARINELLI A. L. AMBROSIO, **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.
- MASSAD, Façal. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. 2. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2003. 216p.
- MANDAL, J. N.; **Promotion and use of jute geotextile in civil engineering**. Indian Textile Journal, v. 104, n. 9, p. 18-26, 1994.
- MENDONÇA, A.; CARDOSO, A. **Contribuição da vegetação para a estabilidade de taludes. Parte II – Estudo de um caso**. Geotecnia, Portugal, n. 83, p. 5-26, 1998.
- MEGALE, C M. S. **Avaliação do enraizamento e brotação na propagação de espécies potenciais para revegetação e estabilização de taludes**. 2011. 60f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2011.
- MICKOVSKI, S.B.; van BEEK, L.P.H.; SALIN, F. **Uprooting of vetiver uprooting resistance of vetiver grass (Vetiveriazizanioides)**. Plant and Soil, UK, n. 278, p. 33-41, 2005.
- MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, poços de caldas**, MG. (Tese de doutorado). Rio Claro, São Paulo, 2004.139p
- MORGAN, R.P.C; RICKSON, R.J. **Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach**. London: Chapman & Hall, 1995. 274 p.
- NIEBLE, C.M. GUIDICINI, G.; **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. Editora. Edgard Blücher LTDA. São Paulo, 1993

- NUNES, F. C. et al. **Grupo Barreiras: Características, Gênese e Evidências de Neotectonismo**. EMBRAPA, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 194, 2011.30p.
- NUNES, V. P. **Ensaio de Caracterização Geotécnica da Areia da Praia de Itaipuaçu**, 2014, 148f. Monografia (Graduação Engenharia Civil) Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.
- NUNES, F. C. **Contando histórias de Tabuleiros Costeiros: aproximações de sistemas pedológicos e geomorfológicos no Litoral Norte da Bahia**. 2011. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- OLIVEIRA, J.B. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592p.
- OROZCO, M. M. D. **Caracterização da Gramínea Vetiveria Zizanioides para Aplicação na Recuperação de Áreas Degradadas por Erosão**. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- PEREIRA, A. R.; **Como selecionar plantas para áreas degradadas e Controle de Erosão**, Belo Horizonte; FAPI, 2006, 150p.
- PEREIRA, A. R.; **Determinação da Perda de Solo**, Belo Horizonte; Deflor, 2006, 20p. (Boletim Técnico, 1)
- PEREIRA, A. R. **Uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas**. Belo Horizonte: Deflor, 2006. 20 p. (Boletim Técnico, 3).
- PEREIRA, A. R. **Efeitos da vegetação na estabilização de taludes e encostas**. Belo Horizonte: Deflor, 2006. 19 p. (Boletim Técnico, 2)
- PEREIRA, A. R. **Determinação de perda de solo**. In: **SIMPÓSIO DE EROSÃO**, 1999. Belo Horizonte. Anais. Sociedade Mineira de Engenheiros (SME), 1999. p. 27.
- PEREIRA, A.R.; **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. (s.d.) Disponível em: < <http://www.deflor.com.br/portugues/pdf/LivroSEAD.pdf>>. Acesso em 18 abril 2015.
- PINTO, G. M.; **Bioengenharia de Solos na Estabilidade dos Taludes: Comparação com uma solução tradicional**. 2019. 76f. Monografia (Engenharia Civil). UFRS, 2009.
- PORTOCARRERO, H. **Avaliação do Efeito de Técnicas de Bioengenharia em Parâmetros Hidrossedimentológicos Utilizando Instrumentação Automatizada**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), 2009, 678f. Rio de Janeiro, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.
- REICHERT, J.M. et al. **Mecânica do Solo**. In: JONG van LIER, Q. **Física do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 29-102.
- SABESP, Guia de Recuperação de Áreas Degradadas, 2003SILVA, F. C; **Metodos de Semeadura e uso de mantas no controle de erosão em taludes de corte**, 2008. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciência florestal),UFV, MG. 2008.
- SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- SCHIECHTL, H.M.; STERN R. **Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control**. Australia: Blackwell Science, 1996. 146 p.
- SEMAS, Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo (2004), **Teoria e Prática em Recuperação de Áreas Degradadas**, Apostila , SEMAS, São Paulo, 35p.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDA-SCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437 p. (Handbook, 18).
- SOUZA, W. L. da SILVA, **Comportamento físico-mecânico de dois solos cultivados com cana de açúcar em diferentes sistemas de manejo**. Tese (agronomia), UFRPE, Recife, PE. 2015. 183f.
- SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M. **Principais formas de erosão hídrica**. Universidade Federal de Lavras. UFLA, Notas de Aula. Lavras, p. 25.(2004).

- SILVA, R. B; DIAS JUNIOR, M.S; SANTOS, F .L.& FRANZ,C. A. B. **Resistência ao cisalhamento de um latossolo sob diferentes usos de manejo.** R.Bras.Ci. Solo, 28:165-173, 2004.
- STOKES, A. et al. Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. **Plant Soil**, 2009. 324:1-30. Disponível em: <<http://www.springerlink.com>> Acesso em 21 janeiro de 2015.
- STOCKING, M. **Modelagem de perdas de solo: Sugestões para uma aproximação brasileira.** Brasília: Secretaria Nacional de Produção Agropecuária, Secretaria de Recursos Naturais, 1985. 92 p.
- TAVARES, et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas.** Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de monitoramento e Estratégias de Recuperação. EMBRAPA solos, Documento 103,2008. 228p.
- TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI. F. (org). **Decifrando a Terra.** São Paulo; Companhia Editora Nacional, 2009.
- THE WORLD BANK. **Vetiver Grass: the hedge against erosion.** 4. ed. Washington, D.C.: The World Bank, 1993. 78 p.
- THERMANN, K.; GAU, C.; TIEDEMANN, J. **Shear strength parameters from direct shear tests – influencing factors and their significance.** In: IAEG – International Association For Engineering Geology and the Environment: Engineering Geology for Tomorrow's Cities. 10th, 2006, Nottingham: The Geological Society of London.
- TROEH, F.R.; HOBBS, J.A.; DONAHUE, R.L. **Soil and water conservation for productivity and environmental protection.** New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1980. 718 p.
- Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG
- TRUONG, P.; HENGCHAOVANICH, D. **Application of the Vetiver grass system in land stabilization, erosion and sediment control in civil construction.** In: Queensland Main Roads Southern Region Symposium, 1997, Toowoomba.
- TRUONG, P.N.V.; LOCH, R. **Vetiver system for erosion and sediment control.** In: ISCO - International Soil Conservation Organisation Conference, 13th, 2004, Brisbane.
- TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. **Soil erosion: processes, prediction, measurement and control.** New York: Willey, 2002. 338 p.
- USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Prediction rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Handbook n. 537. Washington D.C.: USDA, 1978.
- VASCO ROCHA 2015. **As Características Biotécnicas da Vegetação: critérios de selecção de espécies para recuperação de áreas degradadas** <http://naturlink.sapo.pt/Naturezae-Ambiente/Interessante/content/AsCaracteristicasBioTecnicasdaVegetacaocriteriosdeseleccao-deespeciesp>> Acesso 23 janeiro 2015
- WILCOXON, F. **Individual comparisons by ranking methods.** **Biometrics Bull.** V.1, pg. 80 – 83, 1945.
- Van BEEK, L.P.H.; WINT, J.; CAMMERAAT, L.H.; EDWARDS, J.P. **Observation and simulation of root reinforcement on abandoned Mediterranean slopes.** **PlantandSoil**, UK, n.278, p. 55-74, 2005.
- WISCHMEIER, W.H. SMITH, D.D. (1978). **Predicting rainfall erosion losses.** **Agricultural Handbook n° 537**, Soil Conservation Service. Department of Agriculture, United States.
- WUTKE, E. B. **Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo.** In: WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. (Coord.). Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônômico, 1. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. p.17-29.