



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO ÉMERSON BRAGA MENDES JÚNIOR

**UTILIZAÇÃO DO CAPIM VETIVER COMO SOLUÇÃO DA BIOENGENHARIA
PARA O CONTROLE DA EROSÃO DE MATA REDONDA**

João Pessoa

2019

Francisco Émerson Braga Mendes Júnior

**UTILIZAÇÃO DO CAPIM VETIVER COMO SOLUÇÃO DA BIOENGENHARIA
PARA O CONTROLE DA EROSÃO DE MATA REDONDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Engenharia Civil do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba,
Campus João Pessoa, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Fábio Lopes Soares, Dse.

João Pessoa

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

J95u Junior, Francisco Emerson Braga Mendes.
Utilização do capim vetiver como solução da
bioengenharia para o controle da erosão de Mata Redonda
/ Francisco Emerson Braga Mendes Junior. - João Pessoa,
2019.
110 f.

Orientação: Fábio Lopes Soares.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Erosão. 2. Recuperação. 3. Sistema Vetiver. 4.
Bioengenharia. I. Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

FRANCISCO ÉMERSON BRAGA MENDES JÚNIOR

**UTILIZAÇÃO DO CAPIM VETIVER, COMO SOLUÇÃO DA BIOENGENHARIA,
PARA O CONTROLE DA EROSÃO DE MATA REDONDA**

Trabalho de Conclusão de Curso em 10/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares

Prof. Dr. Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Aline Flávia Nunes Remígio

Prof. Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Camila Costa da Nóbrega

Prof. Me. Camila Costa da Nóbrega

Departamento Unidade Acadêmica I do IFPB

APROVADO

A. Silva

Prof.^a Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 1549557

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por todo seu cuidado comigo ao mostrar os caminhos por onde seguir e por me dar forças para lutar todos os dias em busca do serviço ao próximo.

À minha namorada Sarah por me auxiliar em todas as fases das minhas conquistas e por me ajudar a enxergar um propósito para a vida.

Aos meus pais, Francisco Émerson e Maria AluÍzia, por nunca desistirem de mim, sempre acreditarem que conseguiria atingir meus objetivos e sempre mostrarem o caminho de retidão que o homem deve viver para alcançar seus sonhos.

À minha irmã, Maria HeloÍsa, por me mostrar que não existem barreiras para alcançar meus sonhos.

Aos meus avós, José Augusto, Ilzanete Campos, Maria HercÍlia e Nildo Mendes por me impulsionarem e serem exemplos de como colocar a vida a disposição do próximo.

Às minhas tias, Alane e Auxiliadora, por me darem carinho, amor e todo o suporte necessário para que pudesse concluir meu curso.

A minha tia Fatinha e aos primos Juliano, Glauber e Viviane, pela presença marcante nessa trajetória.

Ao senhor João Claudino por ter oferecido oportunidade de trabalho para os meus pais e pela atenção generosa com os meus estudos.

Ao meu amigo Daniel Ouriques, por ter me ajudado a ordenar a vida e enxergá-la de uma forma mais cristã.

À minha mãezinha, Nossa Senhora, por ter me acolhido como filho e nunca ter me deixado só.

Aos meus primos e tios queridos por estarem sempre comigo e me ensinarem a amar diante das diversidades.

Aos meus primos, especialmente Caio e Saulo, a quem a idade aproximou e a vida fez irmãos.

Ao Padre Antônio Cruz, por acolher minha família e por se tornar um suporte para ela.

Aos meus amigos de curso Yago, Natália, Tatiane, Lucas Sousa, Lucas Alves, Mateus Alves, Marcos, Eleoni, Paulinha, Márcio e todos aqueles que participaram dessa trajetória.

Ao meu orientador, Fábio Lopes, por todo apoio e suporte durante o processo de desenvolvimento do TCC.

Aos meus amigos de longa data Arthur Cabral, Hiarley Mendes, João Neto, Gabriel Paz, Marquinhos, Rodolfo, Lucas Mendes, Fábio Alves e Silvinha.

RESUMO

Mata Redonda é um distrito pertencente ao município de Alhandra, localizado no litoral sul do estado da Paraíba, em uma área com grande susceptibilidade a ocorrência de erosões, pois se situa em uma região de declive que favorece o escoamento superficial das águas pluviais. O crescimento acelerado de uma erosão, que já causou o desabamento de uma praça e o assoreamento de dois rios importantes para a cidade, torna-se uma grande ameaça a vida dos moradores, que se mostram cada vez mais preocupados e em busca de soluções que possam ajuda-los. Este trabalho foi inserido nesta problemática, com objetivo de ajudar na busca de uma solução que pudesse se adequar aos padrões da região, uma vez que a erosão se estende, em grande parte, em uma área rural do distrito. A utilização da vegetação como forma de recuperação da área degradada foi a solução proposta pelo trabalho, com foco na utilização de uma espécie vegetal específica, de nome *Chrysopogon zizanoides*, ou capim vetiver, como é popularmente conhecido. A escolha do sistema vetiver como possível solução foi analisada a partir da caracterização de toda área que contém a erosão e dos ensaios realizados: ensaio químico do solo e ensaio de cisalhamento direto. O estudo procurou uma certa compatibilidade da implantação da solução proposta com a região e atestar o porquê de ser escolhido esta solução, procurando sempre aquela que seria mais vantajosa, tanto socialmente como economicamente, para a população e órgãos competentes.

Palavras Chave: Erosão, Recuperação, Sistema Vetiver, Bioengenharia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processos e formas erosivas.....	16
Figura 2 - Erosão hídrica do tipo ravina em estudo.....	17
Figura 3 - Principais grupos de fatores que influenciam na ocorrência de movimentos de massa gravitacionais.....	19
Figura 4 - Efeito da vegetação na estabilidade de taludes, em função do fator de segurança e inclinação do talude.....	23
Figura 5 - Utilização de cobertura vegetal em associação com geocélula.	31
Figura 6 - Raízes de vetiver cultivadas no solo.	33
Figura 7 - Incêndio florestal (esquerda) e dois meses após o incêndio o vetiver volta a crescer (direita)	34
Figura 8 - Desenvolvimento do vetiver para diferentes níveis de pH com suas respectivas taxas de Alumínio..	35
Figura 9 - Desenvolvimento do vetiver de acordo com a salinidade.....	36
Figura 10 - Gráfico representando o desenvolvimento das raízes do capim vetiver de acordo com a temperatura (eixo das abcissas)..	37
Figura 11 - Elementos do capim Vetiver.....	38
Figura 12 - Mudas de capim vetiver prontas para o plantio..	38
Figura 13 - Sistema Vetiver em talude..	39
Figura 14 - Sistema Vetiver em plano de ruptura.....	42
Figura 15 - Vetiver sendo utilizado no tratamento de efluentes de um matadouro suíno na China.....	48
Figura 16 - Área de estudo: distrito de Mata Redonda, Alhandra-PB.....	52
Figura 17 - Início da erosão.....	52
Figura 18 - Fim da erosão.....	53
Figura 19 - Boca de lobo que despejava esgoto abaixo da praça..	53
Figura 20 - Dados de precipitação máxima anual do município de Alhandra-PB..	54
Figura 21 - Dados de precipitação máxima anual do município de Alhandra-PB..	55
Figura 22 - Variações anuais da temperatura..	55
Figura 23 - Presença de residências no entorno da erosão..	56
Figura 24 - Falta de esgotamento sanitário nas residências do entorno.	57

Figura 25 - Lixo despejado na erosão observado em outubro de 2018 (à esquerda) e em fevereiro de 2019 (à direita).....	58
Figura 26 - despejado na erosão aliada à proximidade das residências.....	58
Figura 27 - Erosão do tipo ravina localizada nos entornos da erosão em estudo.....	59
Figura 28 - Declividade acentuada na zona rural do entorno da erosão.....	59
Figura 29 - Canal de drenagem em rua paralela à erosão.....	60
Figura 30 - Declividade da região do entorno da erosão.....	60
Figura 31 - Análise das declividades das áreas do entorno.	61
Figura 32 - Declividade da erosão.....	62
Figura 33 - Seções selecionadas para análise da declividade.....	63
Figura 34 - Assoreamento do rio Sarapó.....	65
Figura 35 - Área assoreada do Rio Sarapó. À esquerda, área assoreada pelo solo da erosão. À direita, córrego proveniente do assoreamento do rio.....	65
Figura 36 - Rio Gameleira.....	66
Figura 37 - Rio Abiaí, onde desagua o Rio Gameleira.....	66
Figura 38 - Assoreamento do Rio Gameleira.....	67
Figura 39 - Erosão no ano de 2017.....	68
Figura 40 - Erosão no ano de 2016.....	68
Figura 41 - Erosão no ano de 2015.....	69
Figura 42 - Erosão no ano de 2008.....	69
Figura 43 - Erosão no ano de 2005.....	70
Figura 44 - Área com maior crescimento entre 2005 e 2017 da erosão.....	70
Figura 45 - Curva granulométrica referente ao solo de Mata Redonda.....	71
Figura 46 - Moldagem, no dia 25 /04/2019, das amostras de solo, sem e com capim vetiver.	73
Figura 47 - Desmolde, no dia 10 /04/2019, das amostras de solo, sem e com capim vetiver e retirada dos corpos de prova.....	73
Figura 48 - Gráfico tensão normal (σ) x tensão cisalhante (τ) da amostra 1 (com vetiver).	75
Figura 49 - Gráfico tensão normal (σ) x tensão cisalhante (τ) da amostra 2 (com vetiver).	75
Figura 50 - Gráfico tensão normal (σ) x tensão cisalhante (τ) da amostra 3 (sem vetiver).....	75
Figura 51 - Amostra de solo, sem capim vetiver, saturada.....	77
Figura 52 - Amostra de solo com capim vetiver..	78
Figura 53 - Desenvolvimento da parte aérea do vetiver.....	78
Figura 54 - Desenvolvimento da raiz do capim vetiver.....	79
Figura 55 - Classes de interpretação para MO.	82

Figura 56 - Classes de interpretação para K.....	83
Figura 57 - Classes de interpretação para Ca e Mg.....	83
Figura 58 - Desenvolvimento do capim Vetiver com a variação de pH e Al.....	88
Figura 59 - Capim Vetiver plantado junto ao cercado em zona rural de Mata Redonda.	89
Figura 60 - Interior da erosão (início).. ..	90
Figura 61 - Solução para drenagem no interior da erosão.....	90
Figura 62 - Instalação de tela sintemax.. ..	91
Figura 63 - Pequenas barragens para água interceptada pelas canaletas.....	91
Figura 64 - Sistema vetiver implantado em taludes.. ..	92
Figura 65 - Seção transversal do talude.....	93
Figura 66 - Artesanato com utilização de vetiver.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Funções relacionadas a utilização da bioengenharia.....	21
Tabela 2 - Limitações do ângulo de inclinação de talude para o estabelecimento de vegetação	29
Tabela 3 - Classificação das espécies do capim vetiver	32
Tabela 4 - Níveis máximos de metais pesados no solo e na planta para o seu desenvolvimento	35
Tabela 5 - Aumento da resistência ao cisalhamento do solo com o capim vetiver de acordo com a profundidade	41
Tabela 6 - Características do meio físico de Alhandra-PB.....	56
Tabela 7 - Comprimentos e declividades do terreno	61
Tabela 8 - Declividade obtida para área da erosão	62
Tabela 9 - Declividades obtidas para as seções selecionadas.....	63
Tabela 10 - Distribuição das partículas da amostra de solo de Mata Redonda	71
Tabela 11 - Resultados do ensaio para amostra 1 (com vetiver)	74
Tabela 12 - Resultados do ensaio para amostra 2 (com vetiver)	74
Tabela 13 - Resultados do ensaio para amostra 3 (sem vetiver)	74
Tabela 14 - Resultados do ensaio para amostra 3 (sem vetiver)	76
Tabela 15 - Parâmetros alcançados para cada amostra pelo ensaio de cisalhamento direto	76
Tabela 16 - Taxa de crescimento da parte aérea do capim vetiver.....	79
Tabela 17 - Taxa de crescimento da raiz do capim vetiver	80
Tabela 18 - Resultados dos ensaios químicos do solo da erosão.....	81
Tabela 19 - Resultados obtidos com o ensaio de salinidade.....	84

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Justificativa.....	13
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo geral	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Processo erosivo.....	15
2.2. A bioengenharia	19
2.3. Influência da vegetação na estabilidade de taludes.....	21
2.3.1. Ação das raízes na massa de solo	24
2.3.2. Modificação no regime hídrico do solo	26
2.3.3. Proteção do solo contra agentes erosivos	27
2.3.4. Escolha da espécie vegetal a ser utilizada.....	27
2.3.5. Vegetação com material inerte	30
2.4. A espécie <i>chrysopogon zizanoides</i>	31
2.4.1. Características do capim vetiver	33
2.4.1.1. Características morfológicas e fisiológicas	33
2.4.1.2. Características ecológicas	36
2.4.2. Propagação do capim vetiver	37
2.4.3. O sistema vetiver no controle de erosões.....	39
2.4.3.1. Características hidráulicas.....	40
2.4.3.2. Resistência à tração e cisalhamento das raízes de vetiver.....	41
2.4.3.3. Pressão de água nos poros.....	42
2.4.4. Aplicações e vantagens do sistema vetiver.....	43
2.4.5. Especificações do sistema vetiver.....	44

2.4.5.1.	Precauções	44
2.4.5.2.	Especificações e manutenção do plantio	45
2.4.5.3.	Especificações do plano	46
2.4.6.	Outras aplicações do sistema vetiver	46
3.	METODOLOGIA	49
3.1.	Levantamento das características físicas, ambientais e sociais	49
3.2.	Ensaio de laboratório	50
3.3.	Análise de resultados	51
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	52
4.1.	Características do meio físico	54
4.2.	Uso e ocupação do solo	56
4.3.	Análise do relevo e perfis da erosão	60
4.4.	Assoreamento do rio	64
4.5.	Avaliação do crescimento da erosão	67
5.	ENSAIOS E RESULTADOS	71
5.1.	Análise granulométrica do solo	71
5.2.	Resistência ao cisalhamento	72
5.2.1.	Resultados do ensaio	73
5.2.2.	Comparação dos resultados	76
5.3.	Taxa de crescimento da parte aérea do vetiver	78
5.4.	Taxa de crescimento da raiz do vetiver	79
5.5.	Análise química do solo	80
5.5.1.	Análise do pH	81
5.5.2.	Análise do alumínio (Al^{3+})	81
5.5.3.	Matéria orgânica do solo (MO)	82
5.5.4.	Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio disponível	83
5.5.5.	Salinidade	84

6. UTILIZAÇÃO DO CAPIM VETIVER NO CONTROLE DA EROSÃO.....	85
6.1. Viabilidade da implantação do sistema vetiver em mata redonda	85
6.2. A aplicação do capim vetiver em mata redonda	89
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	97
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXO I.....	105
ANEXO II.....	106
ANEXO III.....	107

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o processo erosivo em áreas urbanas tem sido reflexo de uma ocupação desordenada em decorrência do aumento populacional, constituindo uma problemática no que diz respeito as possíveis soluções a serem tomadas diante dessas circunstâncias, uma vez que não está somente envolvida num contexto ambiental, mas também político, social e econômico.

Processo erosivo pode ser entendido como o desgaste do solo e o movimento de suas partículas por agentes naturais, como a chuva, vento, gelo ou mar, ou ainda, por agentes antrópicos, como por exemplo a ocupação desordenada de uma região de risco.

O Distrito de Mata Redonda, pertencente ao município de Alhandra, no estado da Paraíba, apresenta uma erosão que tem chamado a atenção. Além da vasta área atingida pela mesma, cerca de 10.210 m², encontra-se em uma região totalmente residencial, tornando-se uma ameaça para os habitantes que ali residem e estão sujeitos a novos deslizamentos a qualquer instante.

Neste cenário, tem-se um processo erosivo que foi causado principalmente pela ação direta do homem, uma vez que houve a construção de uma praça às margens das feições erosivas e no ano de 2010 ocorreu o desabamento da mesma. Além disso, a pavimentação das ruas contribuiu para o processo de impermeabilização do solo, o que direcionou as águas provenientes das chuvas para o local da erosão, e as residências ao redor da mesma acabam atuando como sobrecargas.

Esse tipo de erosão provoca um grande risco aos moradores, podendo ocasionar desde danos materiais até perdas de vidas. Diante dessas situações de risco, várias soluções podem ser adotadas desde obras para controle da erosão até obras de contenção.

As obras de controle da erosão têm como objetivo amenizar o desgaste do solo proveniente da ação da água da chuva, agente que tem mais influência no desgaste do solo e carreamento das partículas, diminuindo a energia dissipada pela mesma sobre os terrenos desprotegidos. Desta forma, as obras de drenagem, que captam e conduzem as águas superficiais para um local indicado são as mais adequadas.

Já as obras de contenção são aquelas responsáveis por atribuir uma maior segurança à ruptura dos taludes formados na erosão, evitando que ocorra um aumento da mesma. A escolha

do tipo de contenção a ser utilizada depende de vários fatores como: prazo de execução, questões geotécnicas, limitantes geométricos, existência de residências nas proximidades, método executivo e viabilidade econômica.

Uma área da engenharia que tem crescido muito é a bioengenharia, que possui o objetivo de alcançar as finalidades construtivas desejadas sem que haja alteração no aspecto ambiental, utilizando, ao máximo, as características do ambiente a favor da construção, como por exemplo, a utilização da vegetação para o controle da erosão. Além de procurar manter os aspectos ambientais, a bioengenharia procura reduzir ao máximo os custos que se teriam se fossem utilizados métodos tradicionais da engenharia.

A intervenção em erosões por meio do cultivo de vegetação é uma prática eficiente da bioengenharia. Uma das espécies que tem apresentado resultados bastante satisfatórios é a espécie *Chrysopogon zizanoide*, popularmente conhecido como capim Vetiver. Esta espécie tem demonstrado uma eficiência no que diz respeito a drenagem das águas pluviais, assim como na própria estabilização dos taludes formados na erosão, por meio do acréscimo na resistência ao cisalhamento provocado pelo atirantamento de suas raízes no solo.

Além de ser uma solução bastante eficiente ambientalmente e estruturalmente, o capim vetiver apresenta custos reduzidos quando comparado a utilização de soluções convencionais, tornando-se desta forma uma excelente solução para controle de erosões.

1.1. JUSTIFICATIVA

O enfoque dado a área de erosão localizada no Distrito de Mata Redonda, no município de Alhandra foi estabelecido depois da realização de visitas, onde constatou-se que a erosão representava grande risco para a população que residia nas proximidades.

A presença de residências tão próximas aos locais de riscos e a circulação de pessoas, principalmente crianças, suscitou o interesse de melhor estudar as possíveis soluções que garantissem a segurança dos moradores.

Até o ano de 2018 foram poucas as soluções adotadas, limitando-se apenas ao aterramento do local, que logo era carregado pela ação da água. Deste modo, verificou-se a importância de uma solução que, primeiramente, contribuísse para diminuição do impacto das águas da chuva

sobre a erosão e que também pudesse contribuir estruturalmente para estabilização dos taludes formados com a erosão.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Propor uma possível solução para a erosão de Mata Redonda, localizada no município de Alhandra-PB, através da utilização do capim *Chrysopogon zizanoides*;

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a espécie *Chrysopogon zizanoides*;
- Caracterizar a região da erosão;
- Classificar o solo da erosão através de análise granulométrica;
- Realizar uma análise química do solo da erosão para comparação com as características químicas adequadas para o cultivo de vetiver;
- Realizar uma análise comparativa da resistência ao cisalhamento de um solo com capim vetiver e sem capim vetiver.
- Mostrar possíveis soluções com uso do capim vetiver em conjunto com outros materiais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PROCESSO EROSIVO

Segundo Baptista (2003), a erosão é um processo de perda de volume de solos, caracterizado pelo desprendimento e transporte dos sedimentos constituintes, causado pela ação geológica, pela ação física do vento e pela ação física e química da água, porém nos dias atuais está sendo agravada pela ação antrópica. Galetti (1979) afirma que a erosão é um processo que pode ocorrer tanto nas camadas superficiais como nas mais profundas, caracterizando-se pela desagregação, decomposição e transporte de partículas de solo ou rocha.

De acordo com Mortari (1994), a erosão pode ser acelerada ou natural: a erosão acelerada é fruto do desequilíbrio entre o processo de formação dos solos e o processo erosivo, ou seja, o processo erosivo se dá de uma forma mais rápida do que o processo de formação do solo. Já a erosão natural – ou geológica – acontece quando há um equilíbrio entre a velocidade de formação do solo e do processo erosivo, ocorrendo uma compensação do solo desprendido pelo processo de formação.

De acordo com Jesus (2013), a erosão pode ser hídrica (pluvial, fluvial, de subsuperfície e marinha), eólica e glacial. A erosão hídrica é aquela cujo agente erosivo é a água, a erosão eólica é provocada pela ação intensa dos ventos e a glacial tem como agente o gelo. As classificações e subclassificações da erosão quanto ao agente pode ser observado na Figura 1.

A erosão hídrica se classifica ainda em fluvial, quando o agente erosivo se dá por meio da água proveniente de rios, pluvial, quando a água é proveniente da chuva, ou de subsuperfície, quando o escoamento da água ocorre nas camadas mais internas do maciço de solo, gerando sua esqueletização.

A erosão em estudo, localizada no distrito de Mata Redonda, é classificada como uma erosão hídrica pluvial, uma vez que o principal agente erosivo é a água das chuvas. Pela observação, pode-se dizer que se trata de uma erosão acelerada, já que o processo erosivo se dá de forma mais rápida do que a formação de solo. Além disso, o homem possui uma interferência direta, devido a construção em locais inadequados, deposição de lixos nas proximidades do talude e falta de um sistema de drenagem que redirecione a água da chuva para um local que não seja o da erosão.

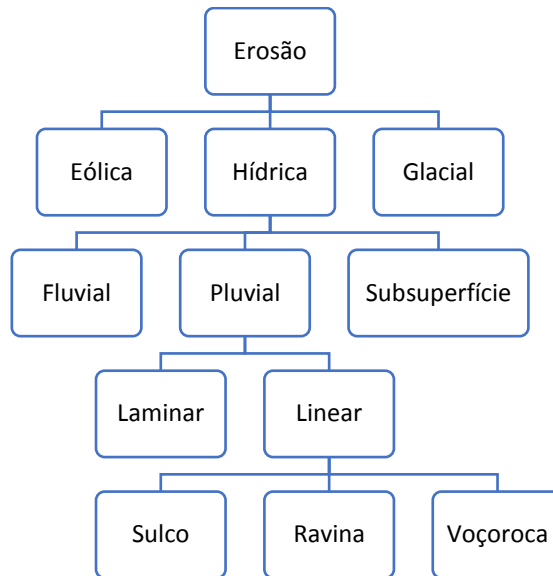


Figura 1- Processos e formas erosivas. Fonte: JESUS, 2013 (modificado pelo autor).

A erosão hídrica se classifica ainda em linear e laminar: a erosão laminar é provocada pelo carregamento do material superficial desgastando o solo, já a linear pode ser classificada em sulco, ravina e voçoroca.

Segundo Foster (1981), as erosões em sulcos possuem uma profundidade máxima de 300 mm e o seu desenvolvimento pode gerar ravinas, já as voçorocas são erosões lineares que apresentam grandes profundidades e que, de acordo com Salomão (2010), ocorrem por influência tanto das águas superficiais como das águas subsuperficiais, onde se inclui o lençol freático.

De acordo com as dimensões da erosão em estudo e seguindo a definição dada por Foster (1981) para ravinas, classifica-se a erosão em estudo como ravina, já que apresenta profundidade acima de 300 mm e não atinge o lençol freático, como pode ser observado na Figura 2.

Segundo Marques (1995), o desenvolvimento da erosão depende de vários fatores, entre eles, características de elementos climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológico e da cobertura vegetal. A erosão também é causada por efeitos naturais do solo, como a declividade do terreno, capacidade de absorção de água do solo, topografia, condições climáticas e em função do tipo de vegetação de cobertura.



Figura 2 - Erosão hídrica do tipo ravina em estudo. Fonte: Foto registrada pelo autor (2019)

A presença da cobertura vegetal é de extrema importância para o processo erosivo, pois contribui para proteção superficial do solo, minimizando os efeitos do impacto da gota de chuva e do escoamento superficial. Segundo Salomão e Iwasa (1995), a cobertura vegetal é responsável por proteger o solo do impacto direto das gotas de chuva; dispensar a energia do deflúvio; aumentar a infiltração através dos poros produzidos pelo sistema radicular e aumentar a capacidade de retenção de água.

De acordo com Mota (1991), as atividades desenvolvidas pelo homem contribuem para aceleração do processo de erosão do solo, destacando-se o desmatamento de áreas extensas, práticas agrícolas, queimadas, agropecuária, movimentos de terra, impermeabilização dos solos e execução de obras.

A ruptura do solo, na maioria dos casos, é consequência de um fenômeno de cisalhamento. De acordo com Pinto (2002), a resistência ao cisalhamento de um solo é definida como sendo a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer uma ruptura ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura estiver ocorrendo.

Para Guidicini (1983), as propriedades mais significativas dos materiais, no contexto da estabilidade, são o ângulo de atrito e a coesão dos solos.

A coesão do solo é a força de união entre as partículas e pode ser classificada em real ou aparente. A coesão real, de acordo com Mullins et al.(1990), é resultado do efeito de agentes cimentantes, como teor de óxidos e argilas silicatadas, Mitchell (1976) complementa afirmando que a coesão se trata do resultado de atração entre as partículas por forças eletrostáticas. Segundo Fredlund e Rahardjo (1993), a coesão aparente constitui uma parcela da resistência ao cisalhamento de solos parcialmente saturados.

A coesão aparente, conforme Machado (1997), deve-se ao efeito de capilaridade na água intersticial, a pressão neutra negativa atrai as partículas gerando um fenômeno de atrito entre as mesmas.

De acordo com Pinto (2000), o ângulo de atrito interno do solo representa as características friccionais entre as partículas do solo, sendo o ângulo máximo que a força transmitida ao solo pode fazer com a força normal à superfície de contato, sem que haja cisalhamento do solo no plano de ruptura.

Com o processo erosivo em desenvolvimento, formam-se taludes nos limites laterais da erosão, que estão sujeitos a rupturas, agravando ainda mais os riscos oferecidos pela erosão. Silva (2013), define talude como sendo qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, rochas ou ambos. Os taludes podem ser naturais, como as encostas, ou artificiais, como os taludes de aterro ou corte.

A Figura 3 apresenta a variedade de processos que levam a instabilidade de um talude e a uma ruptura: oscilações térmicas, alterações na geometria do talude, vibração, aumento da poro-pressão, elevação do nível de água em discontinuidades e trincas, sobrecargas, rebaixamento rápido do nível de água, “piping” (erosão subterrânea retrogressiva, a água percola no interior do maciço provocando a abertura de um tubo), desmatamento.

Agentes Geológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais alterados, enfraquecidos ou intemperizados - Materiais cisalhados, fissurados ou fraturados (descontinuidades) - Contrastes na permeabilidade - Contrastes na espessura (material espesso e denso sobreposto a materiais plásticos)
Agentes Morfológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Tectonismo ou vulcanismo - Qualquer tipo de erosão - Deposição no topo ou na base da encosta - Remoção da vegetação
Agentes Físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Chuva intensa ou excepcionalmente prolongada - Degelo repentino - Intemperismo por congelamento e degelo - Abalo sísmico - Erupção vulcânica - Intemperismo de material expansivo
Agentes Antrópicos	<ul style="list-style-type: none"> - Escavação da encosta ou da sua base (remoção do suporte)-Urbanização - Sobrecarga no topo ou na encosta - Diminuição do nível dos reservatórios - Desmatamento - Irrigação - Mineração - Vibração artificial - Vazamentos

Figura 3 - Principais grupos de fatores que influenciam na ocorrência de movimentos de massa gravitacionais.

Fonte: Cruden e Varnes (1996)

Devido ao risco que a ruptura de um talude traz, tanto econômico quanto à vida, torna-se de extrema importância a análise de sua estabilidade. A análise da estabilidade de taludes se propõe a determinar, através de um conjunto de procedimentos, um índice ou grandeza que permite quantificar se um talude encontra-se próximo da ruptura ou não.

Os métodos de análise de estabilidade de taludes são divididos em duas categorias: métodos determinísticos, nos quais a medida de segurança do talude é feita em termos de um fator de segurança e métodos probabilísticos, nos quais a medida de segurança é feita em termos de probabilidade ou do risco de ocorrência da ruptura (GEORIO, 2000).

Análise determinística é a análise quantitativa expressa sob a forma de um coeficiente ou fator de segurança, sendo este maior que 1 o talude é considerado seguro.

2.2. A BIOENGENHARIA

São várias as técnicas de engenharia utilizadas para controle e contenção de área degradadas, porém as melhores técnicas a se adotarem são aquelas que causam menos danos ao ambiente da obra e conseqüentemente menos danos aos moradores.

Segundo Araújo (2007), as medidas de bioengenharia são um caso especial de estabilização biotécnica, na qual as plantas e partes de plantas, principalmente estacas vivas, são incrustadas e arranjadas no solo em padrões e configurações especiais. Essas agem como: reforço para o solo, barreira contra o movimento de terras, concentradores de umidade e drenos hidráulicos. As raízes adventícias ao longo do comprimento das estacas e ramos oferecem um reforço secundário.

A bioengenharia tem como objetivo unir os conhecimentos biológicos e os conhecimentos construtivos de tal forma que haja uma preservação e proteção do ambiente, promovendo uma sustentabilidade. Para Florineth (1999) a bioengenharia se preocupa com a perenização dos cursos de água e a estabilização de encostas, assim como o tratamento de voçorocas, ravinas e outras formas de degradação através do emprego de matérias vivas (vegetais) que podem estar ou não combinados com materiais inertes como por exemplo madeiras, pedras, geotêxteis e estruturas metálicas.

Na bioengenharia, as plantas deixam de ter apenas uma importância estética e passam a fazer parte dos componentes estruturais que auxiliam na estabilização do talude.

De acordo com a Deflor (2005), as técnicas de bioengenharia possuem alguns princípios que devem ser atingidos para ser caracterizado como tal:

- Os sistemas biotécnicos usam componentes de vegetação (sozinho ou combinação);
- Os sistemas são resistentes e aumentam ao longo do tempo (resistem a chuvas pesadas, protege o solo, absorve o impacto da gota de chuva);
- Em um sistema biotécnico de estabilização de solos, a planta pode fornecer os componentes estruturais e vegetativos, podendo-se utilizar espécies vegetais da região;
- Os sistemas biotécnicos são úteis na estabilização do talude de pequena profundidade;
- Pode-se planejar a aplicação da técnica no período chuvoso (úmido) para o estabelecimento da vegetação ou planejar a irrigação no período seco;
- Apropriados para áreas de reserva botânica e parques, pois caracteriza-se pelo acesso mínimo de equipamentos.

Segundo ERB (1985), são várias as vantagens da utilização da bioengenharia: há exigência de menor número de equipamentos, diminuindo custos e degradação do ambiente por estes; possibilidade do uso de plantas nativas, o que também levaria a um menor custo de

implantação além de facilitar o desenvolvimento do mesmo, uma vez que as plantas já estão adaptadas aos fatores climáticos e às condições de solo.

Tabela 1 - Funções relacionadas a utilização da bioengenharia

Técnico-funcional	Resolução de problemas técnicos (consolidação de margens fluviais ou estabilização de uma vertente em riscos de desmoronamento); redução da erosão fluvial, proteção do terreno contra a erosão, sistematização hidrogeológica e aumento da retenção das precipitações;
Naturalísticas – ecológicas	Permite a recriação das condições ecológicas de base, contribuem para o melhoramento das características físico-químicas do terreno e dos cursos de água;
Estético - paisagístico	Enriquecimento da paisagem por meio da criação de novos elementos, estruturas, formas e cores de vegetação, bem como integração de estruturas na paisagem;
Socioeconômica	Está relacionado ao benefício social induzido, à gestão econômica dos recursos naturais e às técnicas tradicionais em termos de custos de construção e de manutenção de algumas obras.

Fonte: Venti et al.(2003).

2.3. INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NA ESTABILIDADE DE TALUDES

Segundo Pereira apud Barbosa (2012), a vegetação vem sendo utilizada há séculos pelo homem no controle de processos erosivos e como proteção e reforço em obras civis. As técnicas de bioengenharia de solos são empregadas em decorrência do seu baixo custo, do requerimento

técnico relativamente simples para instalação e manutenção, bem como a adequação paisagística e ambiental.

A vegetação tem uma função extremamente importante no controle da erosão pluvial. As perdas do solo devido a esta erosão podem ser diminuídas em até mil vezes, mantendo-se uma cobertura densa de gramíneas ou vegetação herbácea (USDA, 1978).

Segundo Fiori e Carmignani (2001), é muito difícil mensurar a real contribuição da vegetação na estabilidade de taludes de solo, porém pode-se afirmar que a ausência desta deixa o solo exposto e mais sensível a processos erosivos e de movimentação. São vários os aspectos que devem ser estudados na interação entre o solo e a vegetação, como por exemplo, a resistência do sistema solo-raiz, o peso da cobertura vegetal, força de arrasto do vento nas copas das árvores e o efeito de atirantamento das raízes com a profundidade são itens de extrema importância.

Desta forma, a escolha da vegetação para o controle de processos erosivos deve ser criteriosa, uma vez que pode interferir na transferência de água para o solo e nos sistemas de drenagem superficial.

Para Tabalipa e Fiori (2008), o desmatamento de uma área pode reduzir consideravelmente o fator de segurança da mesma, pois reduz a proteção realizada pela vegetação, os efeitos mecânicos do sistema radicular por deterioração dos tecidos vegetais e contribui para que os efeitos climáticos ocorram diretamente sobre o solo.

Pereira (1999) afirma que a vegetação exerce influência direta na estabilidade de taludes, porém as plantas podem ter influências positivas ou negativas, logo é de grande importância o conhecimento das espécies para a aplicação.

Segundo Ziemer (1981), quando ocorre o desmatamento, a perda de resistência pelo sistema de raízes e a exposição da face do talude a intempéries de forma mais direta pode aumentar a umidade e, conseqüentemente, a poropressão, levando o talude a uma maior instabilidade.

A Figura 4 mostra uma comparação para a estabilidade de um talude, levando em conta um solo sem vegetação e um com vegetação. Percebe-se que para uma inclinação de 45° , sem proteção de vegetação, para a condição insaturada, o fator de segurança é de 1,3, enquanto que, na mesma condição, para um solo com cobertura de vegetação o fator de segurança se eleva para 2,8. Na condição saturada pode-se observar esta mesma contribuição de elevação do fator de segurança.

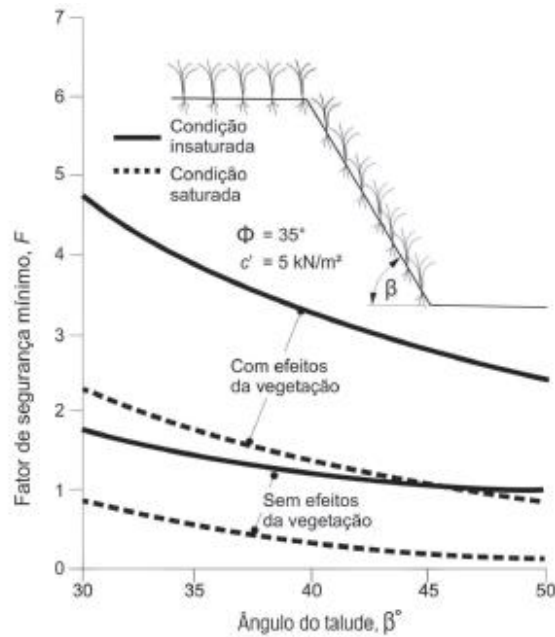


Figura 4 - Efeito da vegetação na estabilidade de taludes, em função do fator de segurança e inclinação do talude.

Fonte: Coelho (2006).

Para Norris e Greenwood (2006), alguns são os problemas encontrados pela utilização incorreta da vegetação:

- Acumulação de folhas e detritos podem ocasionar entupimento de canais;
- Quedas de galhos e árvores podem causar danos ao sistema de transporte;
- Árvores grandes localizadas próximas de fundações podem levar a movimentos de fundações;
- Crescimento de raízes pode levar o calçamento a se quebrar devido a pressão das raízes;
- As raízes podem causar destruição de muros de retenção.

2.3.1. AÇÃO DAS RAÍZES NA MASSA DE SOLO

O sistema radicular das plantas é aquele que mais interfere na estabilidade de um talude. De acordo com Ziemer (1981), a vegetação fornece reforço extra através do sistema de raízes, que pode formar uma espécie de ancoragem através do solo, além disso, segundo Morgan e Rickson (1995), as raízes das plantas tendem a incrementar a permeabilidade do solo e a infiltração.

Para De Baets et al (2008) apud Barbosa (2012), uma das características mecânicas importantes das raízes é a sua resistência à tração, ao contrário dos solos, que apresentam resistência à compressão. O efeito combinado de solo e raízes resultam em solo reforçado.

De acordo com Walker (2004) apud Barbosa (2012), as raízes são responsáveis pela fixação do vegetal ao solo, além de absorver e servir de reservatório de nutrientes importantes para o desenvolvimento da vegetação. A quantidade de nutrientes absorvidos e reservados depende de propriedades das raízes, tais como diâmetro e profundidade.

De acordo com Coelho e Pereira (2006), as plantas exercem funções estabilizadoras por diversos motivos, como por exemplo, o aumento da resistência ao cisalhamento, resultado das radículas, que mantem maior relação superfície/volume radicular, e a estabilização de movimentos pelo efeito das raízes, que agem como “tirantes vivos”.

De acordo com Gray e Sotir (1996), a resistência das raízes varia muito de espécie para espécie, mas podem chegar a uma resistência à tração de 10 a 40 Mpa, existindo espécies que chegam a um valor de até 70 Mpa.

O aumento da resistência ao cisalhamento do solo está vinculado diretamente à transferência direta das tensões de cisalhamento para resistência das raízes à tensão. Essa transferência ocasiona incrementos consideráveis na resistência ao cisalhamento dos solos, com consequente redução da erodibilidade, e no aumento da estabilidade do solo (COELHO, 2006).

Esse efeito, pelo qual há um incremento na resistência ao cisalhamento do solo devido a presença de raízes é denominado de reforçamento radicular, que pode variar de acordo com alguns fatores:

- Valores de resistência à tensão das raízes;
- Propriedades da interface entre as raízes e o solo;
- Concentração, características de ramificação e distribuição das raízes no solo;
- Espaçamento, diâmetro e massa de solo explorado pelas raízes;
- Espessura e declividade do perfil do solo do talude;
- Parâmetros geotécnicos relativos à resistência do solo;

O diâmetro das raízes, no geral, é inversamente proporcional a resistência radicular a tensão. As raízes com diâmetros mais finos possuem altas resistências à tensão radicular e maiores resistências ao arranco.

Segundo Coelho (2006), a elevada concentração de fibras radiculares de pequeno diâmetro é mais efetiva do que poucas raízes de diâmetro maior para o aumento da resistência ao cisalhamento de massas de solos permeados por raízes e esse aumento será diretamente proporcional à profundidade explorada pelas raízes, logo a ação estabilizadora é minimizada quando ocorre pouca penetração das raízes ao longo do perfil.

De acordo com Gray e Sotir (1996) apud Barbosa (2012) o principal efeito das raízes no solo está no aumento da coesão aparente, esta pode fazer uma grande diferença na resistência a deslizamentos superficiais ou em movimentações por cisalhamento. Na análise da estabilidade de taludes, foi utilizado a coesão radicular como função da concentração de raízes no solo com a profundidade, verificando que uma pequena variação nesta coesão pode implicar em uma mudança significativa no fator de segurança dos taludes.

O entrelaçamento das raízes forma uma espécie de rede, e tem um comportamento similar à de um geossintético, auxiliando no aumento da coesão que aumenta as propriedades de resistência do solo. De acordo com Holsworth (2014), as raízes que se desenvolvem para baixo contribuem para a ancoragem da vegetação no solo, já o desenvolvimento lateral fica responsável pela estabilização do solo ao redor da planta.

A contribuição das raízes para estabilidade de um talude será maior quando as raízes desta conseguirem penetrar a superfície de ruptura. É de extrema importância o reconhecimento da raiz da planta que será utilizada para estabilização do talude, uma vez que desempenham diferentes funções, além de possuírem diâmetros, comprimentos e formas variados.

2.3.2. MODIFICAÇÃO NO REGIME HÍDRICO DO SOLO

Um dos efeitos da utilização de plantas em encostas é a evapotranspiração e consequente diminuição da umidade de solo. O solo perde umidade pela transpiração das plantas e pela evaporação da parcela de água interceptada da chuva pelas folhas das plantas, além disso as plantas absorvem a água do solo e, assim, ocorre a alteração do conteúdo de água no solo. Essa perda de água devido a vegetação está vinculada ao comprimento das raízes.

“ O efeito da vegetação na diminuição da umidade dependerá da espécie vegetal, da profundidade, da época do ano e do estado fisiológico da vegetação, podendo estar vinculada a um ou mais desses fatores concomitantemente. ” (BIDDLE, 1982).

Com a diminuição do volume de água no maciço de solo ocorrem alterações significativas no equilíbrio de forças, através da redução de poropressão, aumentando a quantidade de água necessária para levar o talude a instabilidade, aumentando o fator de segurança de taludes em condição de saturação.

Ocorre também a interceptação das gotas de chuva pela parte aérea da vegetação, essa interceptação varia de acordo com as características das folhas da vegetação. De acordo com Coppin e Richards (1990), ocorre uma interceptação média anual de 30% da precipitação anual.

Outra função importante da parte aérea da vegetação é a diminuição da velocidade de escoamento, uma vez que, a presença destas, aumentam a rugosidade do escoamento. Desta forma, essa velocidade de escoamento dependerá da morfologia das plantas, da densidade de crescimento, da altura das plantas e da espessura da lâmina d'água.

Os índices de infiltração também podem provocar o aparecimento de fissuras, uma vez que há o aumento da rugosidade do escoamento com a presença de vegetação e consequentemente um aumento da rugosidade do escoamento, provocando uma menor velocidade de escoamento e uma maior infiltração no solo, aumentando assim a porosidade efetiva e alterando as características estruturais do solo, como por exemplo aumento da poropressão e maior instabilidade.

Desta forma, segundo Portocarrero et al. (2006), os efeitos hidrológicos devido à presença de vegetação no talude influenciam na estabilidade, devido aos efeitos da resistência,

pelo controle da saturação do solo, redução do escoamento superficial e aumento da capacidade de infiltração.

2.3.3. PROTEÇÃO DO SOLO CONTRA AGENTES EROSIVOS

A parte aérea da vegetação e a matéria orgânica protegem a superfície da erosão dos processos de mobilização e carreamento de sedimentos pela água ou pelo vento. De acordo com Mccullah (1994), os impactos das gotas da chuva no solo são responsáveis por até 98% da mobilização de sedimentos em solos arenosos e a presença de material orgânico fazem com que as forças provenientes desse impacto se dissipem.

O tipo de vegetação a ser utilizada deve ser bem estudada, uma vez que, diferentes tipos de vegetação de porte idêntico apresentam diferenças consideráveis na intensidade de perda de solo. Além disso o recobrimento proporcionado pela parte aérea das plantas e pelo composto orgânico no solo protege o solo das ações climáticas da região, provocando uma espécie de microclima, reduzindo as variações da umidade e a temperatura do solo.

Segundo Norris e Greenwood (2006), os efeitos do peso da vegetação também devem ser levados em conta, pois pode gerar uma certa instabilidade no talude devido a força transmitida pelo vento nas copas das árvores. O efeito deve ser considerado para árvores grandes com diâmetro do tronco maior que 30 cm.

2.3.4. ESCOLHA DA ESPÉCIE VEGETAL A SER UTILIZADA

A escolha da espécie vegetal a ser utilizada no processo de estabilização deve ser feita de forma cuidadosa, uma vez que, uma escolha não criteriosa pode levar a efeitos degradantes para o solo, aumentando a intensidade dos processos erosivos.

Os conhecimentos técnicos que abrangem os aspectos climáticos, edáficos, fisiológicos e ambientais são de extrema importância para seleção adequada das espécies e respectivas quantidades, sendo decisiva para o controle do processo erosivo. A escolha bem feita da vegetação leva ao sucesso da proteção ambiental e a redução de custos, eliminando o empirismo e a escolha aleatória das espécies.

De acordo com Greenway (1997), a utilização de vegetação inadequada pode levar a efeitos negativos, como:

- Dependendo das condições de recobrimento, a água da precipitação pode tomar a forma de gotas ainda maiores, atingindo o solo com potencial erosivo;
- O crescimento de plantas de porte maior pode sombrear estratos mais baixos ou ainda causar a eliminação da vegetação herbácea original pelo processo de alelopatia (liberação de substâncias inibidoras do crescimento celular vegetal de espécies invasoras por tecidos de espécies dominadoras);
- A parte aérea da vegetação pode ocasionar aumento da turbulência do escoamento superficial;
- O aumento significativo da biomassa superficial pode levar a sobrecargas no talude;
- Ventos atuando na parte aérea, podem provocar o efeito alavanca, transferindo forças para o sistema radicular, provocando perturbações nas camadas superficiais do solo;
- A penetração radicular em fissuras pode favorecer a infiltração e assim a instabilidade do talude.

De acordo com Pereira (2008), são vários os fatores que afetam na escolha da espécie de planta para proteção e recuperação de um talude:

- Edáficos: está relacionado com a adaptação das plantas ao local onde será feito o plantio, no qual deve-se analisar os solos da região, bem como obter informações a respeito do pH, fertilidade natural, salinidade, toxidez, textura, drenagem e matéria orgânica;
- Climáticos: enquanto que os fatores edáficos podem ser reproduzidos artificialmente, estes não podem ser controlados. Neste quesito deve-se analisar a tolerância à seca, à geadas, déficits hídricos da região, precipitação anual, temperaturas médias anuais e umidade relativa;
- Ambientais: estes são determinados de acordo com a rapidez e o nível de proteção do talude, além de atender os objetivos e exigências legais. Dentro dos quesitos ambientais, são várias características que devem ser analisadas: o tempo da proteção, se é uma solução temporária ou definitiva; o nível de matéria orgânica presente no solo, nível de recobrimento que se deseja e a profundidade para desenvolvimento das raízes; taxas de crescimento da vegetação; observação da fauna para escolha de espécies que favoreça a mesma;

utilização de várias espécies para atração da biodiversidade, como pássaros e animais silvestres, com escolha de plantas de diferentes portes.

Sintetizando, os pontos positivos do uso de vegetação para o controle da erosão, tem-se, de acordo com Pereira (2008), os seguintes aspectos:

- Redução do transporte de sedimentos: as raízes agregam as partículas e os caules aumentam a rugosidade do escoamento;
- Reduzem o escoamento superficial, uma vez que as raízes aumentam a porosidade do solo e conseqüentemente a permeabilidade, o que pode levar a uma maior taxa de infiltração ao invés de percolação pela superfície;
- Redução da erosão pelo efeito splash: interceptação da água da chuva antes que haja o impacto com o solo;
- As plantas de raízes longas com e folhas curtas são mais eficientes, já que aumentam o efeito de atirantamento do solo;
- Plantas rasteiras são excelentes coberturas para o solo;

Outro fator bastante importante que influencia na escolha do tipo de vegetação a ser utilizada é a inclinação do talude para o estabelecimento da mesma. A tabela 2 mostra as faixas de inclinação do talude para o cultivo de gramíneas e árvores:

Tabela 2 - Limitações do ângulo de inclinação de talude para o estabelecimento de vegetação

Ângulo de inclinação do talude (graus)	Tipo de Vegetação	
	Gramíneas	Arbustos/Árvores
0 – 30	Dificuldade baixa; Técnicas de rotina de plantio podem ser utilizadas	Dificuldade baixa; Técnicas de rotina de plantio podem ser utilizadas
30 – 45	Muita dificuldade no seu estabelecimento, aplicação rotineira de hidrosemadura	Muito difícil para plantar
> 45	Consideração especial exigida	Plantio deve ser executado geralmente em bancos

Fonte: Truong et al. (2008)

Observa-se que quanto mais inclinado for o talude, maior a dificuldade de se estabelecer uma espécie vegetal para o controle e recuperação da erosão.

São várias as espécies que podem ser adotadas no controle do desgaste superficial do solo, para cada situação podem existir uma planta que maximize seus efeitos de contenção. Uma das características que são mais levadas em conta é a resistência das raízes da planta ao

cisalhamento, já que seria a característica que mais contribui para se obter um fator de segurança elevado para o talude.

2.3.5. VEGETAÇÃO COM MATERIAL INERTE

A intervenção feita na erosão através da utilização de plantas com as mais diversas finalidades, como reforço e drenagem, pode ser executada em associação com outros tipos de materiais, como é o caso dos geossintéticos.

Existem uma grande variedade de geossintéticos, destacando-se os mais utilizados: geobarras, geocélulas, geocompostos, geogrelhas, geomantas, geomembranas, georredes, geotêxteis, geotiras e geotubos. Cada geossintético apresenta uma função específica, conforme a ABNT NBR ISSO 10318, são elas:

- a) Separação: separação de solos com granulometrias diferentes (geotêxtil, geogrelha, geomembrana);
- b) Filtração: funciona como filtro de areia, retendo as partículas sólidas (geotêxtil);
- c) Drenagem: age como um dreno que leva o fluido através de solos de baixa permeabilidade (geotêxtil, georrede, geotubo);
- d) Reforço: atua na melhoria das propriedades de resistência e de deformação do solo (geotêxtil, geogrelha, geocélula, geofibras);
- e) Contenção de fluidos e gases (impermeabilização): atua como barreiras impermeáveis para fluidos e gases (geotêxtil, geomembrana, geocomposto argiloso);
- f) Controle de processos erosivos: reduz os efeitos da erosão do solo causados pelo impacto da chuva e pelo escoamento da água (geotêxtil, geocélula);
- g) Proteção: redução das solicitações localizadas (geotêxtil, georrede, geocélula).

Desta forma, o geossintético escolhido para ser utilizado no controle de erosões deve suprir a necessidade e função para qual será solicitado pela erosão. É comum a utilização dos geotêxteis e geocélulas, como mostrado na Figura 5, no controle da erosão, podendo vir associado com a plantação de alguma cobertura vegetal.

Estes produtos conseguem atender diversas necessidades no controle da erosão, devido suas propriedades mecânicas e hidráulicas que lhes permitem suportar solicitações extremas, sendo eficiente mesmo em solos em que as condições locais (declividade, tipo de solo, regime

pluviométrico, uso e ocupação dos terrenos) se mostram adversas e potencialmente deflagradoras de processos erosivos. (MARQUES, 2004).

De acordo com Marques (2004), para que um geossintético tenha um bom desempenho em uma erosão é necessário que suas propriedades possibilitem a retenção dos finos provenientes dos solos subjacentes ou dos materiais erodíveis transportados e que resistam às velocidades de escoamento e aos esforços tangenciais provocados pelo fluxo de águas superficiais.



Figura 5 - Utilização de cobertura vegetal em associação com geocélula. Fonte: <http://www.diprotecgeo.com.br> (2019)

2.4. A ESPÉCIE *Chrysopogon zizanoides*

São poucas as plantas que possuem todos os atributos para contribuir no controle de erosão, sejam esses atributos de resistência, de implantação, de adaptação da planta ao meio em que vai ser utilizada, entre outros. Cada planta possui características específicas e em cada situação deve ser analisada os atributos que a planta deve possuir para alcançar o objetivo desejado. Por isso, quando se trata de utilização de vegetação para o controle de erosão deve ser realizado um estudo minucioso.

Uma das plantas que vem sendo bastante utilizada, devido a sua boa versatilidade para adaptar-se ao meio, baixo custo e eficiência no controle de erosões, é o capim Vetiver. Três espécies de Vetiver são utilizadas para fins de proteção ambiental, de acordo com a tabela 3:

Tabela 3 - Classificação das espécies do capim vetiver

<i>Vetiveria zizanoides</i> reclassificadas como <i>Chrysopogon zizanoides</i>	<i>Chrysopogon nemoralis</i>	<i>Chrysopogon nigritana</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Originárias do subcontinente Indiano. - Possuem níveis elevados de esterilidade e não são considerados invasivos. - Possui folhas mais amplas, caules mais espessos e mais rígidos, além de um sistema radicular mais profundo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Originárias da Tailândia, Laos e Vietnã. - Facilmente encontrado no Camboja e Myanmar. - Não é uma espécie estéril. - É muito utilizada na conservação do solo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nativa da África Austral (parte sul da África) e Ocidental. - Sua aplicação é restrita ao subcontinente, ou seja, fica restrita a sua terra de origem.

Fonte: Truong, Tan Van e Pinners (2008)

O capim vetiver mais utilizado na proteção de encostas pertence a espécie *Vetiveria zizanoides* que há pouco tempo foi renomeada como espécie *Chrysopogon zizanoides*. Essa espécie é originária do sul da Índia. É uma espécie que se reproduz por mudas, portanto não são plantas invasivas.

O capim vetiver geralmente é utilizado em conjunto, dispostos em alinhamentos que formam uma espécie de barreira vegetal que podem ajudar, de acordo com Truong, Tan Van e Pinners (2008), na redução de cerca de 70% do escoamento superficial e na contenção de cerca de 90% de sedimentos que vem com os escoamentos. Além dessas características físicas, o vetiver ainda apresenta uma resistência a tração bastante elevada, podendo chegar a até 1/6 da resistência do aço.

As plantas de vetiver quando são plantadas em conjunto formam uma espécie de barreira vegetal, que possui muita eficácia no retardamento e espalhamento das águas pluviais, na conservação de umidade, na redução da erosão e da quantidade dos sedimentos que descem com as águas da chuva. A plantação do capim vetiver em conjunto e através de barreiras vegetais caracteriza um sistema de controle de erosão conhecido como Sistema Vetiver, este foi desenvolvido pelo Banco Mundial para a conservação do solo e da água da Índia em meados

de 1980. Atualmente o sistema vetiver pode ser utilizado como uma solução da bioengenharia para estabilização de ravinas e de encostas.

Economicamente, o sistema vetiver apresenta um panorama bastante atrativo, uma vez que, segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), seu custo pode representar cerca de 5% dos custos dos tradicionais sistemas de engenharia e projetos.

Uma das características bastante importante do capim vetiver é a profundidade do seu grosso e massivo sistema de raízes ligadas ao solo que torna muito difícil o desalojamento do maciço, mesmo sobre grandes fluxos de água, além disso, suas raízes crescem rapidamente, o que contribui para que seja uma espécie tolerante a seca.

2.4.1. CARACTERÍSTICAS DO CAPIM VETIVER

2.4.1.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS

Segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), o capim vetiver possui um sistema radicular maciço e firmemente estruturado e distribuído com uma taxa de crescimento muito alta, como pode ser observado na Figura 6, chegando em alguns casos a crescerem de 3 a 4 metros em um ano. Uma consequência desse sistema radicular profundo é a alta tolerância a seca.



Figura 6 - Raízes de vetiver cultivadas no solo. Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008)

Além disso o capim vetiver possui caules eretos e duros, que podem auxiliar na contenção dos fluxos de água. Quando são plantadas próximas, forma uma cobertura densa que podem funcionar também como um filtro de sedimentos.

Conforme Truong, Tan Van e Pinnars (2008), os brotos novos desenvolvem-se da coroa subterrânea, tornando o vetiver resistente ao fogo, à geadas, ao tráfego e pressão de pastagem pesada, além de possuírem uma alta resistência a pragas, doenças e incêndios. A Figura 7 apresenta o desenvolvimento do vetiver após ter sua parte aérea queimada.



Figura 7 - Incêndio florestal (esquerda) e dois meses após o incêndio o vetiver volta a crescer (direita). Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008)

Quando os nós são enterrados pelos sedimentos capturados, novas raízes crescem e assim o vetiver continua a crescer, formando uma espécie de terraço.

O capim vetiver possui uma elevada resistência e um poder de recuperação impressionante quando exposto a variações climáticas extremas, secas prolongadas, inundações, submersões, temperaturas extremas variando de -15°C a 55°C , geadas, salinidade.

De acordo com Truong e Smeal (2003), o capim vetiver usa 6.86 litros de água por dia para 1 quilograma da biomassa de brotos sob condições ideais em estufas. Assim, uma biomassa de vetiver de 12 semanas de idade consome, no seu ciclo máximo de crescimento, cerca de 279000 L/ha.dia.

A tolerância do capim vetiver ao pH varia de 3,3 a 12,5, além de ter também um alto nível de tolerância a herbicidas e pesticidas.

Possui uma eficiência elevada ao absorver nutrientes, como N e P, metais pesados e água poluída, além disso é totalmente tolerante ao crescimento médio elevado de acidez, alcalinidade, sodicidade e magnésio, como também a Al, Mn e metais pesados como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se e Zn.

Tabela 4 - Níveis máximos de metais pesados no solo e na planta para o seu desenvolvimento

Metais Pesados	Níveis limiares no solo (mg/kg) (disponíveis)		Níveis limiares nas plantas (mg/Kg)	
	Vetiver	Outras plantas	Vetiver	Outras plantas
Arsênio	100-250	2	21-72	1-10
Cádmio	20-60	1.5	45-48	5-20
Cobre	50-100	Não disponível	13-15	15
Cromo	200-600	Não disponível	5-18	0.02-0.20
Chumbo	>1 500	Não disponível	>78	Não disponível
Mercurio	>6	Não disponível	>0.12	Não disponível
Níquel	100	7-10	347	10-30
Selênio	>74	2-14	>11	Não disponível
Zinco	>750	Não disponível	880	Não disponível

Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008)

De acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), o crescimento do vetiver não foi afetado quando abastecido adequadamente pelos fertilizantes de N e P, mesmo em condições extremamente ácidas (PH = 3,8) e num nível muito elevado de saturação de alumínio no solo (68%). Em alguns testes de campo verificou-se que o vetiver cresce de forma satisfatória em solos com pH = 3 e nível de alumínio entre 83 e 87%, enquanto que a maioria das plantas não se desenvolve em níveis inferiores a 30% de alumínio. Além disso, o capim vetiver tolera a elevados níveis de salinidade e manganês.

A Figura 8 mostra o desenvolvimento do capim vetiver em condições variadas com relação ao teor de alumínio e ao pH do solo.

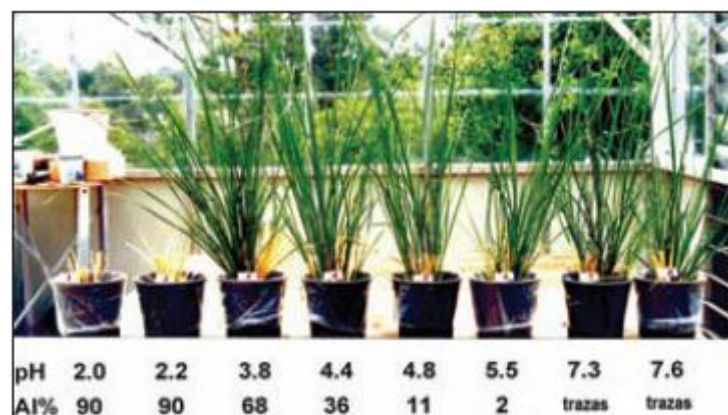


Figura 8 - Desenvolvimento do vetiver para diferentes níveis de pH com suas respectivas taxas de Alumínio.

Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008).

O vetiver apresenta uma boa tolerância a salinidade, a medida de salinidade é feita de acordo com a condutância elétrica do solo (ECse), onde a unidade utilizada é o decisiemens

(ds/m). A Figura 9 apresenta o desenvolvimento do capim vetiver para diferentes níveis de salinidade.

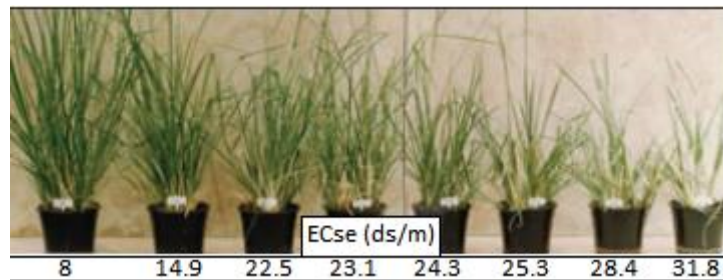


Figura 9 - Desenvolvimento do vetiver de acordo com a salinidade. Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008)

2.4.1.2. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS

De acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), uma característica particular do vetiver e que pode interferir de forma bastante significativa seu crescimento é a sua intolerância à sombra, além disso o vetiver cresce em ambiente aberto e livre de ervas daninhas, o restante da vegetação só deve ser cultivado depois do estabelecimento do capim vetiver. O vetiver reduz a erosão, estabiliza a erosão do solo devido a presença de nutrientes e a conservação da umidade que este proporciona e melhora o microambiente do solo para que outras plantas, semeadas ou voluntárias, possam se estabelecer mais tarde. Desta forma, por isso o vetiver pode ser conhecido como planta enfermeira (protetora) em áreas degradadas.

O vetiver é uma gramínea tropical, porém pode sobreviver em situações extremamente frias. Sobre climas gélidos, a parte superior do vetiver morre ou torna-se dormente (de cor roxa), porém seus pontos de crescimento no subsolo sobrevivem, ou seja, em climas gélidos sua parte superior estagna, porém, suas raízes continuam a se desenvolver. Na Figura 10 encontra-se um resumo das faixas de adaptabilidade do capim vetiver a diferentes temperaturas:

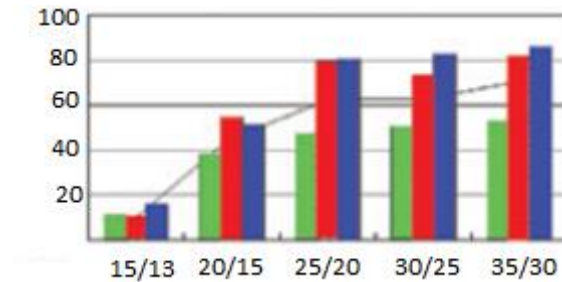


Figura 10 - Gráfico representando o desenvolvimento das raízes do capim vetiver de acordo com a temperatura (eixo das abscissas).Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars, 2008.

As colunas representam, respectivamente, o desenvolvimento das raízes capim vetiver no Vietnã, Ohito e em Taiwan. Observa-se que temperaturas mais quentes, em torno de 30 a 35°C são mais favoráveis para o desenvolvimento das mesmas.

2.4.2. PROPAGAÇÃO DO CAPIM VETIVER

Segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), o capim vetiver são cultivares estéreis, o que impede o estabelecimento de ervas daninhas de Vetiver. Devido a esta característica, o capim vetiver tem sua propagação vegetativa dado por mudas, por isso, para a implantação de sistemas de vetiver, com plantas de boa qualidade e em grandes quantidades, é necessário a existência de um berçário (viveiro).

Os viveiros do capim vetiver devem possuir algumas características específicas, como solo arenoso que permita fácil remoção da muda sem danificar sua coroa subterrânea, terreno levemente inclinado para evitar o encharcamento do solo, espaço totalmente livre de sombras, plantações em linhas, colheita com retirada de 20 a 25 cm abaixo do solo, irrigação por aspersão.

Existem alguns métodos de propagação do capim vetiver, conforme Truong, Tan Van e Pinnars (2008), entre eles, estão:

- Separação das mudas maduras das touceiras da planta mãe, que produzem mudas de raízes nuas para o plantio imediato ou propagação com polybags. A raiz nua deve possuir dois ou três brotos e uma parte da coroa.
- Utilização de várias partes de uma planta mãe de vetiver. Existem três partes do capim vetiver que podem ser utilizados para a sua propagação, são elas a raiz ou brotos, coroa

(parte da planta entre os brotos e as raízes) e os colmos (caules ocos), como está representado na Figura 11.

- Multiplicação de brotos ou micropropagação onde há a indução do desenvolvimento de brotos laterais e a partir desse ocorre a multiplicação das raízes nestes novos brotos, desenvolvido em estufas;
- Cultura de tecidos: nesta prática ocorre o desenvolvimento por uma parte muito pequena do tecido da planta (ponta da raiz, inflorescência da flor jovem, nós de tecidos dos brotos) em meios especiais, sob condições assépticas.

Existem vantagens que contribuem para o maior uso das técnicas de utilização de partes da planta: eficiência econômica e rapidez no preparo do material para o plantio, menores volumes resultam em menos custos de transporte, facilidade do plantio com a mão e grandes quantidades podem ser facilmente plantadas.

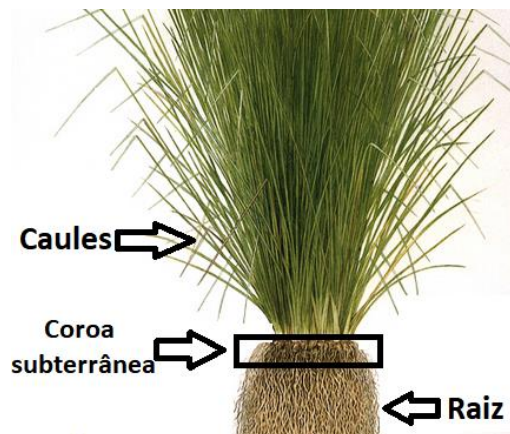


Figura 11 - Elementos do capim Vetiver. Fonte: <https://vetiverportugalblog.wordpress.com> (2019).

Geralmente se faz a utilização de polybags no preparo da muda para o plantio, conforme a Figura 12. As polybags são vasos pequenos ou ainda pequenos sacos plásticos, contendo no seu interior, adubo, que ajudará no desenvolvimento inicial da planta.



Figura 12 - Mudanças de capim vetiver prontas para o plantio. Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008).

2.4.3. O SISTEMA VETIVER NO CONTROLE DE EROSÕES

Os altos custos com obras de estabilização e proteção de superfícies inclinadas tem procurado cada vez mais alternativas mais econômicas e que apresentem bom desempenho e uma das alternativas que vem sendo utilizado é o sistema vetiver. A proteção das superfícies de taludes é uma forma eficaz, econômica e essencial medida preventiva, esse tipo de medida garante uma contínua estabilidade de taludes e sempre custam muito menos do que medidas corretivas.

Segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), o sistema vetiver pode reduzir desabamentos, deslizamentos de terra, instabilidade de rupturas nas estradas. Na Figura 13, observa-se a implantação de um sistema vetiver, com espaçamentos verticais de aproximadamente um metro.



Figura 13 - Sistema Vetiver em talude. Fonte: <https://mejoresfotos.com> (2019).

De acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), o sistema vetiver possui as seguintes características que sobressaem quando comparadas com outras espécies vegetais:

- Crescimento com uma taxa muito rápida, estabelece-se sob condições adversas e possui um sistema profundo, denso e extenso de raízes;
- Suas raízes são, por unidade de área, mais fortes e profundas do que as raízes das árvores e podem alcançar de dois a três metros no primeiro ano e, em muitas experiências, comprovou-se que esse desenvolvimento pode chegar a até 3,6 metros no primeiro ano de implantação, sendo bastante tolerante à seca;
- Suas raízes podem ser mais resistentes do que algumas espécies de madeiras, com resistência a tração chegando a até 1/6 da do aço leve, aproximadamente 75 Mpa e

pode-se verificar incremento na resistência à tração de aproximadamente 39% em uma profundidade de 0.5 metros.

- Servem também para reduzir e redirecionar a velocidade de fluxo de enxurradas, gerando um filtro bastante eficaz para o controle da erosão além de funcionar como barreiras retentoras de sedimentos;
- Tolerantes a diferentes níveis de acidez, salinidade, sodicidade e condições de sulfato, o que favorece o seu desenvolvimento nos mais diversos tipos de solos.

Suas raízes tem um alto poder de penetração, podendo penetrar em solos compactos com o hardpan, comuns blocos de argila dura em solos tropicais, camadas rochosas com pontos fracos e até mesmo, segundo Hengchaovanich (1998), asfalto pavimentado de concreto. Este mesmo autor observou que plantas de vetiver podem desenvolver-se em declives superiores a 56°.

2.4.3.1. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

As plantas vetiver são geralmente plantadas em fileiras e seus caules rígidos permitem que suas coberturas permaneçam eretas em fluxos de profundidades de 0.6 a 0.8 metros, formando uma barreira viva que ajuda na dispersão do escoamento superficial. Por este motivo, deve-se conhecer a área de estudo a fundo, conhecendo todas as declividades e o caminhamento natural do escoamento superficial, para que a plantação da fileira de vetiver se dê de tal forma que redirecione essas águas e possam levá-las a áreas mais estáveis e de boa drenagem.

Devido à alta profundidade e penetração das raízes no solo, o vetiver maduro é extremamente resistente a fluxos de alta velocidades. De acordo como Truong, Tan Van e Pinnars (2008), vetiver plantadas no Norte de Queensland (África) apresentaram uma resistência a fluxos superiores a 3.5 m/s no rio em condições de inundação e de 5m/s em inundações em drenagens de canais. Como trata-se de uma planta de zonas úmidas, o capim vetiver, de acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), pode apresentar uma sobrevivência de até dois meses quando submersa à água.

Segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), o sistema vetiver pode ser plantado como estruturas de retenção, auxiliando na redução da velocidade de fluxo, diminuindo a onda erosiva, o excesso de coberturas e o volume de água que escoar para a área protegida por

estruturas, além disso o sistema reduz as erosões regressivas, que ocorrem com o fluxo de água ou retornos da onda depois que se levantam sobre as estruturas de retenção da água.

Desta forma, percebe-se a extrema importância do uso do capim vetiver na sua utilização como proteção do solo contra a erodibilidade causada pelo escoamento superficial das águas pluviais.

2.4.3.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E CISALHAMENTO DAS RAÍZES DE VETIVER

Segundo Hengchaovanich e Nilaweera (1996), a resistência à tração das raízes de vetiver é inversamente proporcional ao diâmetro das suas raízes, ou seja, quanto maior o diâmetro da raiz do vetiver, menor será sua resistência à tração. A resistência à tração das raízes do vetiver varia de 40 a 180 Mpa de acordo com uma faixa de diâmetro que varia de 0.2 a 2.2 mm, como a maioria das raízes de vetiver possuem um diâmetro com cerca de 0.7 a 0.8 mm, a sua resistência à tração média será em torno de 75 Mpa.

Hengchaovanich e Nilaweera (1996) apud Truong, Tan Van e Pinnars (2008) constataram os seguintes resultados para análise de resistência ao cisalhamento para vetiver com 2 anos de idade:

Tabela 5 - Aumento da resistência ao cisalhamento do solo com o capim vetiver de acordo com a profundidade

Profundidade (m)	Aumento na resistência ao cisalhamento do solo (%)
0,25	90
0,5	39
1,0	12,5

Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008)

Além disso, Hengchaovanich e Nilaweera (1969) observaram que o vetiver possibilita um melhor aumento de resistência ao cisalhamento por unidade de concentração, com cerca de 6-10 KPa/kg de raiz por metro cúbico de solo, enquanto que uma árvore chega a 3,2-3,7 kPa/kg de raiz por metro cúbico de solo.

Quando há a penetração de uma superfície potencial de cisalhamento no perfil do solo, como mostra a Figura 14, a distorção da zona de cisalhamento desenvolve tensão na raiz e a componente desta tensão tangencia à zona de cisalhamento resiste ao cisalhamento, enquanto que sua componente normal aumenta a pressão do confinamento no plano de cisalhamento.

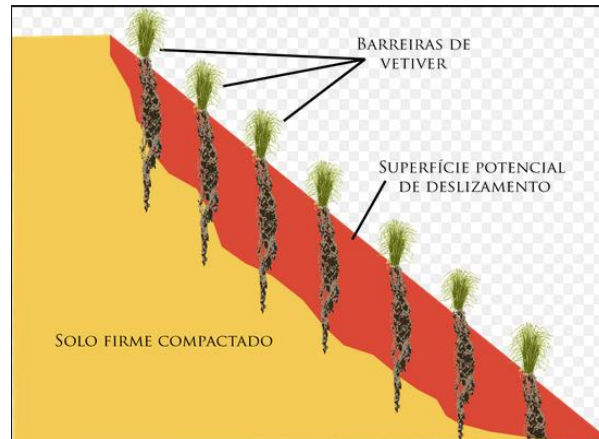


Figura 14 - Sistema Vetiver em plano de ruptura. Fonte: <http://www.verdetec.com> (2019).

2.4.3.3. PRESSÃO DE ÁGUA NOS POROS

De acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), uma das preocupações a respeito da proteção superficial de superfícies sujeitas à erosão com cobertura vegetal é a respeito da infiltração que pode ocorrer. Devido a formação de barreiras que impedem o escoamento rápido a infiltração das águas de escoamento no decorrer de uma área muito grande, a presença de uma barreira vegetal pode provocar uma maior lentidão no escoamento o que levará a uma maior taxa de infiltração em uma área menor, o que pode levar a saturação da mesma porém para o sistema vetiver, esta preocupação com a saturação do solo torna-se menor, devido aos seguintes fatores:

- A forma de plantio, em linhas de contorno ou padrões modificados de linhas permite que o extensivo sistema vetiver distribua a água em excesso de forma uniforme e gradual, ajudando a prevenir a acumulação localizada;
- O aumento na infiltração é compensado por uma maior taxa progressiva de absorção e esgotamento da água do solo pela grama, ou seja, a absorção pelas raízes das plantas de vetiver possibilitará uma maior infiltração e conseqüentemente um menor excesso de água na superfície e taxa de erosão. Por esse motivo deve-se ser cauteloso na escolha do intervalo vertical entre as linhas de vetiver, uma vez que, quanto menor esse intervalo, maior será a

absorção por metro quadrado de água e conseqüentemente maior a taxa de infiltração e menor a lâmina de escoamento superficial. Em locais com uma declividade mais elevada, sujeitos a uma maior instabilidade, e com elevados índices pluviométricos, além de se reduzir o intervalo vertical adota-se uma inclinação de aproximadamente 0.5 % para as linhas de plantação do vetiver e com isso desviar a taxa extra de água.

2.4.4. APLICAÇÕES E VANTAGENS DO SISTEMA VETIVER

Vetiver é muito útil no controle da erosão e estabilização, apresentando bastante eficácia na estabilização de encostas ao longo de rodovias e ferrovias, em estradas rurais montanhosas onde as comunidades não apresentam recursos financeiros elevados, em diques e estabilização de rachaduras causadas por temporais em barragens, em declividades acima de entrada e bueiros, interfaces entre cimento e estrutura de rocha e solos de superfícies erodíveis, como faixa de filtro de resíduos em espera para as entradas de bueiros, para a estabilização de erosão na cabeça dos bueiros, para eliminar a erosão causada pela ação das ondas, em plantações florestais, etc.

Uma das grandes vantagens do Sistema Vetiver é o seu baixo custo e longevidade com relação às obras convencionais da engenharia. De acordo com Xie (1997), na China, as economias obtidas com a utilização do Vetiver em encostas são da ordem de 85 a 90%, já na Austrália, as economias em relação aos métodos convencionais são de 64 a 72%. Truong, Tan Van e Pinnars (2008) afirmam que o custo máximo que um Sistema Vetiver pode chegar a 30%, em relação a obras tradicionais.

Além disso, o sistema vetiver, torna-se uma solução sustentável, uma vez que não agride o ambiente como outras formas de intervenções da engenharia, mantendo o controle da erosão, a estabilização do solo e as características físicas, químicas e paisagísticas do meio ambiente.

Quanto a manutenção do sistema vetiver, conforme Truong, Tan Van e Pinnars (2008), deve ser feita de forma cuidadosa e atenciosa nos primeiros dois anos, uma vez que a tecnologia verde melhora na medida em que a cobertura vegetal amadurece, representando baixos custos de manutenção a longo prazo e evitando os custos com manutenções caras e difíceis das soluções tradicionais. Outras vantagens do sistema vetiver é sua eficácia em solos pobres, altamente erodíveis e dispersíveis, a não exigência de uma mão de obra tão especializada leva

a baixos custos com a mesma e além disso, torna-se uma alternativa ecológica para estruturas rígidas tais como muros de concreto ou de gabião.

O Sistema Vetiver também apresenta algumas desvantagens, porém não são problemáticas tão grandes a ponto de ultrapassar os benefícios que o sistema traz. De acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), algumas dessas desvantagens são: a intolerância da cobertura vetiver às sombras; sua eficácia só será verificada após 2 a 3 meses, em clima quente, e 4 a 6 meses, em épocas mais frias, após seu estabelecimento; o sistema deve ter suas plantas estabelecida de forma bem conjunta, de tal modo que não seja verificado a presença de brechas; em lugares muito altos torna-se difícil o acesso para o próprio plantio e posterior irrigação; durante sua fase de estabelecimento, o sistema vetiver requer proteção contra o gado.

2.4.5. ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA VETIVER

2.4.5.1. PRECAUÇÕES

O sistema vetiver necessita de experientes especialistas para que seja implementado, apresente uma maior eficácia e melhores resultados, porém a participação e envolvimento da própria comunidade local com o projeto é bastante importante.

Os resultados obtidos com esse sistema não se limitam apenas ao estrutural, alcançado pelo seu sistema profundo de raízes, mas também ao desvio de fluxo e diminuição do efeito splash devido as suas folhas espessas e a reabilitação do solo e da água por meio de suas extraordinárias condições de tolerância. De acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), as experiências com vetiver no Vietnã foram todas bem sucedidas quando ele foi aplicado corretamente, assim, na maioria dos casos em que há falha no sistema vetiver deve-se a má aplicação e execução, em vez da planta em si ou da tecnologia recomendada. Desta forma, ainda segundo os autores Truong, Tan Van e Pinnars (2008), deve-se tomar algumas precauções:

a) Precauções técnicas: controle e execução do projeto por pessoas treinadas; durante os primeiros meses, enquanto estiver no período de estabelecimento, o local deve ser internamente estável contra possíveis falhas, pois o vetiver só atinge sua capacidade total quando maduro; é aplicável ao solo argiloso somente nas encostas com inclinações que nunca

deve exceder 45-50°; como há pouco crescimento embaixo de sombra, deve ser evitado seu plantio abaixo da mesma.

b) Precauções para a tomada de decisões, planejamento e organização: consideração das estações e tempo para estabelecimento do sistema; planejamento e orçamento devem antecipar a substituição de algumas mudas, que não se desenvolverem bem na fase inicial; tudo deve ser adquirido a nível local, como esterco, materiais para a plantação, contratos de manutenção, além de gerar oportunidades de emprego para a comunidade local, servindo como forma de incentivo para proteger as plantas e manter a qualidade e sustentabilidade da obra; deve haver participação da comunidade com a formulação de contratos com a mão de obra disponível no local.

2.4.5.2. ESPECIFICAÇÕES E MANUTENÇÃO DO PLANTIO

A verificação da época de plantio do sistema é de extrema importância para o sucesso e custos de projeto. Segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), experiências no Vietnã, mostraram o plantio em estações secas exigirá regadas longas e dispendiosas, no caso de condições de estabelecimento extremamente difíceis deve-se regar diariamente e duas vezes ao dia, como no caso de dunas de areia. Desta forma são feitas algumas observações para o sistema vetiver:

- As covas para o plantio devem possuir cerca de 15 a 20 cm de profundidade e largura e as plantas devem estar bem enraizadas cada um com 2 a 3 perfilhos e em caso de solos inférteis pode ser adicionado um pouco de terra misturada com estrumes de animais, cobrindo as raízes com 20 a 40 mm de solo firme e compacto.
- Com relação ao crescimento do vetiver podem ser utilizados alguns fertilizantes com nitrogênio e fósforo, como DAP ou NPK com aplicação de 100 g por metro linear. No dia do plantio a rega deve ser realizada e durante a fase de crescimento pode ser utilizado também um herbicida para reduzir o crescimento de ervas daninhas, deve-se tomar cuidado para não usar herbicidas a base de glisofato, pois o vetiver é muito sensível ao mesmo.
- Com relação à rega, em épocas de tempo seco deve-se regar todos os dias durante as duas primeiras semanas após o plantio e depois de dois em dois dias, caso não esteja em uma época seca, a rega deve ser realizada duas vezes por semana caso haja

necessidade. Depois do estabelecimento e quando as plantas já estão maduras não é preciso molhar muito as plantas.

- A parte da cobertura do vetiver deve ser submetido a poda regular após o período de 5 meses depois do plantio, sendo reduzidas a 15 a 20 cm acima do solo. Essa técnica leva ao crescimento de novas mudas a partir da base e reduz o volume de folhas secas no solo, prevenindo contra o incêndio, além dessas folhas de vetiver poderem ser destinadas a outros tipos de uso como pasto para o gado, para o artesanato e até mesmo telhados de sapé.

2.4.5.3. ESPECIFICAÇÕES DO PLANO

Segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), a implantação do sistema vetiver deve seguir algumas recomendações:

- O banco de declive não deve exceder 45° e a inclinação de terreno recomendada deve ser de 1,5:1, em caso de solos mais erodíveis e/ou zonas de elevada pluviosidade;
- As plantas vetiver devem ser plantadas em toda a encosta sobre linhas de contorno com um intervalo vertical de aproximadamente 1 a 2 metros. Espaçamentos de 1 metro devem ser usados em solos altamente erodíveis.
- A primeira linha deve ser plantada na borda superior da massa, sendo plantadas em todas as massas que são maiores do que 1,5 m.
- A linha inferior deve ser plantada no pé das encostas e os cortes ao longo da borda de escoamento de massa.
- Bancadas ou terraceamento devem ser utilizadas em taludes mais inclinados e/ou acima de 10 metros.

2.4.6. OUTRAS APLICAÇÕES DO SISTEMA VETIVER

Além da proteção de erosões, encostas, taludes e margens ribeirinhas, o sistema vetiver possui outras formas de favorecer a uma proteção ambiental, sendo utilizado na prevenção e tratamento da terra e da água contaminada.

Segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), o sistema vetiver leva a eliminação e redução do volume de águas residuais, melhora a qualidade das águas residuais e poluídas, controla a poluição da terra fora do local, promove a fitorremediação de solos contaminados, intercepta materiais erodidos e lixo na água da enxurrada, absorve metais pesados e outros poluentes e trata nutrientes e outros poluentes das águas residuais e lixiviados.

Ainda segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), as raízes do vetiver por serem profundas, densas e tolerantes aos diversos tipos de ambientes, inclusive à seca, permitem excelente infiltração de umidade de solo, funcionando com um bom sistema de drenagem profunda. Devido a finura de seu sistema de raízes, há no sistema vetiver um enorme volume de rizosfera de crescimento e multiplicação de bactérias e fungos, permitindo a absorção de contaminantes e processos de decomposição como nitrificação, levando assim a uma maior fertilidade do solo do local.

De acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), aplicações do sistema vetiver na Austrália, China, Tailândia e outros países tem se demonstrado bastante eficaz no tratamento das descargas de resíduos das águas domésticas e industriais, como mostrado na Figura 15. A primeira aplicação foi na Austrália, no ano de 1996, onde verificou-se que 100 plantas de vetiver em uma área de menos de 50m² secaram completamente a descarga de efluentes de um bloco de instalações sanitárias. Observou-se que os elevados níveis de nitrato (100 mg/L) e de fosfato (10 mg/l) foram reduzidos consideravelmente para 6 mg/L de nitrato e 1 mg/L de fosfato.

De acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), para a eliminação de lixiviados de aterros e efluentes industriais o sistema vetiver utiliza de uma irrigação realizada com o mesmo, ou seja, vetiver plantado no topo do monte de aterros e nos muros de contenção das barragens é irrigado pelos efluentes de esgotos e pelo próprio chorume do aterro sanitário, altamente contaminados com metais pesados, poluentes orgânicos e inorgânicos. O resultado com vetiver foi tão satisfatório que, em épocas secas, o aterro não gera chorume suficiente para irrigação.



Figura 15 - Vetiver sendo utilizado no tratamento de efluentes de um matadouro suíno na China. Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008).

3. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido no distrito de Mata Redonda, pertencente ao município de Alhandra, que apresenta um processo erosivo. Foi realizada a caracterização de todo o meio físico e ambiental em que a erosão estava inserida, para que, a partir daí fosse encontrada uma possível solução que pudesse contribuir para a recuperação da área degradada.

Considerando a utilização do capim Vetiver como uma opção que auxiliasse na estabilização dos taludes e na proteção da erosão, procurou-se a caracterização da erosão de tal forma que se avaliasse a compatibilização da instalação do sistema vetiver com as características do local.

O estudo foi constituído, primeiramente, pelo levantamento das características físicas, ambientais e sociais das áreas próximas da erosão e que, de alguma forma, sofriam impactos provenientes da mesma, através de visitas semanais ao local, durante o período de um mês. Posteriormente, foi realizada a caracterização do solo, através de ensaios em laboratório, e dos perfis da erosão, a partir daí avaliou-se a viabilidade da instalação do sistema vetiver na mesma.

3.1. LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, AMBIENTAIS E SOCIAIS

Entre os meses de janeiro e fevereiro de 2019 foram realizadas visitas semanais na área da erosão, totalizando 4 visitas. As visitas foram realizadas com o auxílio de moradores da região. Nessa etapa de visita ao local de estudo, foram observados todos os aspectos que exerciam algum tipo de influência sobre a erosão ou eram impactadas diretamente como, por exemplo, o uso e ocupação do solo no entorno da erosão e o assoreamento dos rios Sarapó e Gameleira, localizados a jusante da erosão.

Com o auxílio do aplicativo Google Earth foi feito um levantamento, em paralelo com as informações que iam sendo coletadas, e as visitas auxiliaram na análise dessas imagens de satélite.

Além disso, houve o levantamento topográfico da erosão por meio da utilização de drone, permitindo a análise de algumas seções, observando-se os aspectos de declividade e

profundidade dos taludes que compunham a mesma, bem como da própria erosão e da área de seu entorno.

Na última visita foi realizada a coleta do solo, no fim da erosão, que serviria para os ensaios de laboratório.

3.2. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Nesta etapa, foram realizados todos os ensaios necessários para a análise do solo, bem como a sua avaliação para o recebimento do sistema vetiver, através do solo coletado a jusante da erosão.

Foi realizado o ensaio químico, com o objetivo de avaliar a fertilidade do solo e de realizar o levantamento das características químicas para uma posterior comparação com as características favoráveis ao capim vetiver.

Além do ensaio químico, realizou-se o ensaio granulométrico, com o objetivo de realizar a classificação textural do solo em questão. O ensaio químico foi realizado no Laboratório de fertilidade do solo, pertencente ao Departamento de solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias (campus II da UFPB) e o ensaio granulométrico foi realizado no Laboratório de Geotecnia e Pavimentação, pertencente ao Departamento de Engenharia Civil e Ambientela (campus I da UFPB).

Outro ensaio realizado foi o de resistência ao cisalhamento direto, também realizado pelo Laboratório de Geotecnia e Pavimentação, para a avaliação da resistência ao cisalhamento do solo do local, com e sem o capim vetiver instalado. Três amostras foram submetidas ao ensaio, sendo uma amostra apenas com o solo e duas amostras com o capim vetiver.

As três amostras ficaram submetidas as mesmas condições de ambiente durante o período de quase dois meses, sendo moldadas no dia 25 de fevereiro de 2019 e sendo submetidas ao ensaio no dia 10 de abril de 2019. A partir dos resultados analisou-se a contribuição do capim vetiver, bem como a coesão e ângulo de atrito de cada amostra.

Como verificou-se a inviabilidade da coleta de um corpo de prova indeformado devido à instabilidade da erosão e assim da dificuldade de se moldar o mesmo, sendo o mais indicado, optou-se pela moldagem das amostras utilizando cano de PVC de 75 mm de diâmetro

e 50 cm de altura, de tal forma que fosse compatível com o diâmetro do corpo de prova a ser ensaiado. Como a amostra de solo coletada era indeformada e totalmente sem coesão, realizou-se uma compactação com energia normal no solo inserido nos tubos de PVC e posteriormente depositou-se a muda de vetiver, obtida pela extração de um perfilho de plantas vetiver que já eram utilizadas em Mata Redonda para estabilizar cercas dos sítios da região, em duas das três tubulações.

Durante o período de moldagem até o ensaio os tubos com capim vetiver foram submetidos a regas regulares. Visando manter a compatibilidade das amostras, o tubo que continha apenas solo também foi submetido à essas regas.

No dia da desmoldagem, verificou-se a altura da parte aérea das plantas, bem como a profundidade até onde as raízes cresceram, com o objetivo de se determinar a taxa de crescimento para ambos.

3.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos na etapa de ensaios, foi realizado uma análise dos efeitos que cada um traz para a erosão, desde o ensaio químico até o ensaio de cisalhamento direto, verificando-se se há ou não efeitos positivos na utilização do capim vetiver para o controle da erosão.

Além dos resultados obtidos com os ensaios, outras características da erosão foram analisadas, como as declividades e profundidades dos taludes e características climatológicas da região, de tal forma que se realizasse um estudo comparativo entre as condições necessárias para instalação do sistema vetiver e as condições existentes no local.

Nesta etapa, verificou-se a viabilidade da instalação do sistema vetiver para o controle da erosão, para que a partir desta fosse sugerido uma forma de intervenção para o controle e proteção.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A erosão em estudo localiza-se no distrito de Mata Redonda, pertencente ao município de Alhandra, no estado da Paraíba e está entre as coordenadas $7^{\circ}20'55.57''S$, $34^{\circ}56'35.75''O$ e $7^{\circ}20'45.06''S$, $34^{\circ}56'29.25''O$, obtidas a partir do Google Earth. A área do município de Alhandra chega a aproximadamente 183 km² e dista 36 km da capital João Pessoa, com acesso pelas rodovias BR 101 ou PB 057, como pode ser observado na Figura 16.



Figura 16 - Área de estudo: distrito de Mata Redonda, Alhandra-PB. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).

O processo erosivo encontra-se em uma zona de risco, uma vez que existem residências muito próximas da erosão. A área se estende por cerca de 400 metros, tendo início na zona urbana de Mata Redonda e se prolongando até a zona rural.

Observa-se na Figura 17 a quantidade de residências próximas a erosão, chegando a distâncias de até 7 metros da mesma. Já na zona rural, o risco apresentado a moradores torna-se menor, uma vez que as casas dos arredores da cratera encontram-se mais afastadas, como mostra a Figura 18.

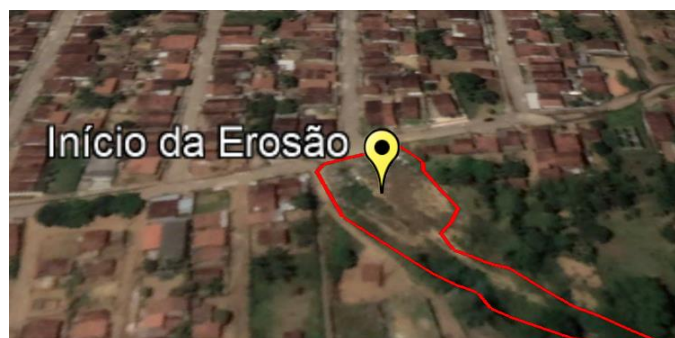


Figura 17 - Início da erosão. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019)



Figura 18 - Fim da erosão. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).

O ápice do crescimento da erosão, foi quando, depois de fortes chuvas, veio abaixo a praça que era localizada onde a erosão tem início. O desabamento ocorreu por volta de 2006 e além da praça, a erosão vem causando outros danos, como por exemplo o assoreamento do rio Sarapó.

Uma das causas do desabamento da praça foi o despejo irregular do esgoto no maciço de solo que suportava a praça, como pode ser observado na Figura 19, o que causou aumento da saturação do solo e conseqüentemente da poropressão, que, aliada a instabilidade que já estava no local, permitiu a condição perfeita para o desabamento.



Figura 19 - Boca de lobo que despejava esgoto abaixo da praça. Fonte: www2.pbagora.com.br (2016).

O maior problema da região é o escoamento superficial da água, uma vez que, a erosão encontra-se em uma zona central, em que a região ao redor da mesma encontra-se totalmente em declive, levando ao escoamento de toda a água que atinge Mata Redonda em direção da erosão.

Além dos problemas diretamente relacionados a instabilidade da área devido a erosão, existem os problemas de falta de conscientização da população a respeito da gravidade do

problema, falta de esgotamento básico e falta de coleta de lixo. Devido à falta de coleta de lixo em alguns locais, a população costuma depositar o lixo doméstico na área, além disso, a maior parte das residências que estão nos entornos não possuem esgotamento sanitário, sendo encaminhado para a erosão.

De acordo com Cavalcanti (2018), 81% das residências do entorno não possuem esgotamento sanitário e 66.7 % não são beneficiados pela coleta de lixo. Além disso, o lixo que é depositado na área erodida não costuma ser coletado posteriormente pela prefeitura.

4.1. CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO

De acordo com o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM), o município de Alhandra está inserido na unidade Geoambiental dos Tabuleiros Costeiros, esta acompanha o litoral de todo o nordeste, com altitude média de 50 a 100 metros, compreendendo platôs de origem sedimentar, com vales estreitos e encostas abruptas ou com encostas suaves e fundos com amplas várzeas.

O clima é do tipo tropical chuvoso com verão seco, o período chuvoso começa em fevereiro, consolidando-se em abril, e pode se estender até meados de setembro, de acordo com a Figura 20, com precipitações de maior expressão ocorrendo entre os meses de maio e junho. A precipitação média anual encontra-se em torno de 1900 mm, como mostra a Figura 21, com a distribuição anual da precipitação.

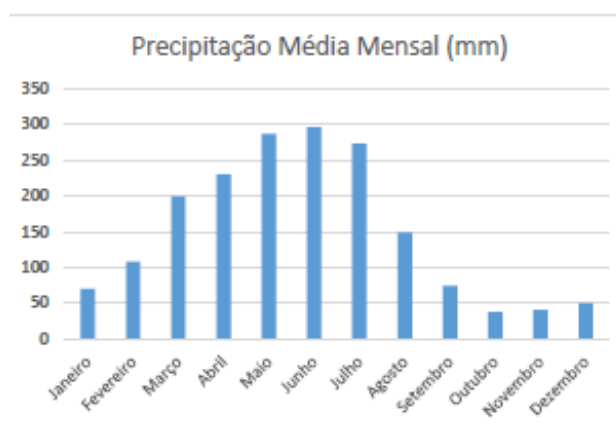


Figura 20 - Dados de precipitação máxima anual do município de Alhandra-PB. Fonte: Cavalcanti (2018) de acordo com dados da AESA-PB.

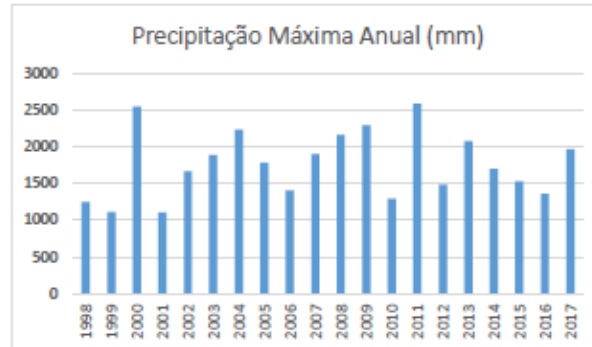


Figura 21 - Dados de precipitação máxima anual do município de Alhandra-PB. Fonte: Cavalcanti (2018) de acordo com dados da AESA-PB.

Segundo os dados da Aesa, o município de Alhandra encontra-se entre os 10 municípios mais chuvosos do estado. De acordo com o relatório de impacto ambiental desenvolvido pela Geoconsult (2011), o município de Alhandra está inserido nos domínios das bacias hidrográficas dos Rios Gramame e Abiaí. A temperatura do município de Alhandra tem média anual variando de 23.7°C a 28.2 °C, essa variação da temperatura ao longo do ano pode ser observada na Figura 22. A região conta ainda com ventos vindos do mar que sopram mais intensamente e que tornam a região mais confortável.

Devido à influência marinha e da alta taxa de evaporação da região, a umidade relativa do ar mantém-se elevado, com mínima de 60% para o mês de setembro e máxima de 87% para o mês de julho, mantendo-se uma umidade relativa média de 76.8%, conforme o relatório de impacto ambiental desenvolvido pela Geoconsult (2011). Além disso, os ventos predominantes da região sopram do sul e do sudeste, com velocidades médias entre 2.1 m/s e 3.6 m/s, com velocidade crescendo nos meses entre julho e novembro, atingindo o máximo em setembro e diminuindo gradativamente até o mês de março. Verifica-se velocidades máximas de 14.5 m/s e mínimas de 1 m/s.

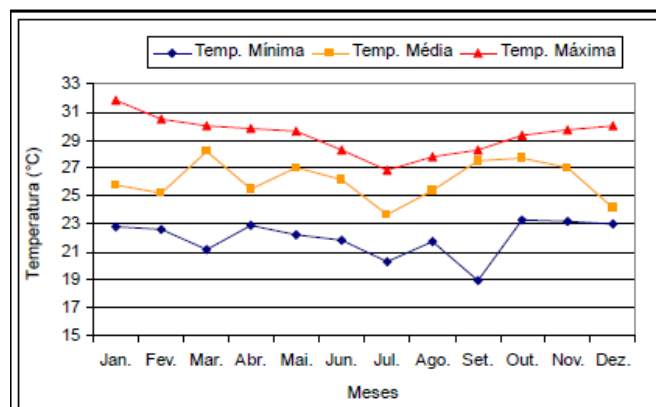


Figura 22 - Variações anuais da temperatura. Fonte: Geoconsult (2011).

Tabela 6 - Características do meio físico de Alhandra-PB

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Pluviosidade média anual	1.861.6 mm
Período mais chuvoso	Abril a Julho
Evaporação média anual	1313.5 mm
Temperatura média anual	26.1° C
Média das temperaturas mínimas	22.0 °C
Média das temperaturas máximas	29.3 °C
Umidade relativa média anual	76.8 %
Direção preferencial dos ventos	Sul
Velocidade média anual dos ventos	2.1 a 3.6 m/s

Fonte: Geoconsult (2011)

4.2. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O uso e a forma de ocupação do solo constituem um fator significativo para o controle da erosão, uma vez que, dependendo da forma que está sendo utilizado, pode haver agravamento e até levar a outros desmoronamentos na erosão.

Verifica-se primeiramente a presença de ruas calçadas e residências em maior número no entorno da erosão, porém, apenas no seu início, pois a mesma adentra em zona rural posteriormente. A presença de residências nas proximidades, observado na Figura 23, culmina em outros fatores que atacam diretamente a erosão e levam a uma maior instabilidade.



Figura 23 - Presença de residências no entorno da erosão. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).

A ocupação dos moradores no entorno da erosão está sendo cada vez mais invadida pela mesma. Desta forma, as residências que vão ficando cada vez mais próximas da erosão geram uma sobrecarga na crista do talude e como trata-se de um solo já susceptível a ruptura, o risco à vida é bastante alto.

A presença das residências aliada a falta de esgotamento sanitário, como é mostrado na Figura 24, e de coleta de lixo, leva a erosão a cumprir uma função de aterro de resíduos e estação de esgoto.

O esgoto aliado ao chorume do lixo leva a uma diminuição da fertilidade do solo e dificulta o estabelecimento de coberturas vegetais, até mesmo de formas naturais. O empobrecimento do solo leva-o a uma maior fragilidade, aumentando ainda mais a instabilidade da erosão.

O lixo é depositado no início da erosão, porém verifica-se que o mesmo é conduzido por meio do escoamento superficial até o fim da erosão, além disso, o lixo, mesmo depois de depositado na erosão, não é coletado pelos órgãos competentes, permanecendo por um longo período, como pode-se observar na Figura 25.

O arruamento no início da erosão leva a uma menor infiltração e maior vazão acumulada que corre principalmente para o interior da mesma, uma vez que essa se encontra em uma zona de convergência das declividades do entorno. O acúmulo de lixo, como é mostrado na Figura 26, além de gerar sobrecargas nos taludes, também funciona como uma barreira que retém o escoamento de água, o que pode levar a saturação do local, onde o lixo encontra-se depositado, podendo levar a uma ruptura.



Figura 24 - Falta de esgotamento sanitário nas residências do entorno. Fonte: Registro feito pelo autor (2019)



Figura 25 - Lixo despejado na erosão observado em outubro de 2018 (à esquerda) e em fevereiro de 2019 (à direita). Fonte: Cavalcanti (2018), à esquerda. Registrado pelo autor (2019), à direita.



Figura 26 - despejado na erosão aliada à proximidade das residências. Fonte: Registro feito pelo autor (2019)

A zona rural que é atingida pela erosão de Alhandra foi bastante afetada, uma vez que os rios existentes na área foram assoreados, mudando as características hídricas da região e conseqüentemente da agricultura.

De acordo com a visita feita na zona rural do entorno da erosão, verifica-se a presença de uma extensa plantação de bambus, além de mandioca, feijão, batata e maracujá. A região sofre grande influência das águas pluviais que recai na área urbana de Mata Redonda, pois todo o escoamento é direcionado para lá, o que acaba afetando o cultivo e proporcionando o surgimento de pequenas erosões nos entornos da erosão em estudo.

Na Figura 27, observa-se a formação de uma erosão do tipo ravina, provocada pela ação das águas pluviais devido a declividade acentuada do terreno e da quantidade de água que

provém do escoamento da zona urbana. Pode-se observar, de acordo com a Figura 28, que a área ao redor da erosão, está em uma área bastante inclinada, atenuando o escoamento superficial, o que pode favorecer ao crescimento da erosão cada vez mais, se não houver nenhum tipo de intervenção.



Figura 27 - Erosão do tipo ravina localizada nos entornos da erosão em estudo. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).



Figura 28 - Declividade acentuada na zona rural do entorno da erosão. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).

Mesmo na zona rural, há uma ação antrópica que favorece no aumento da erosão em estudo que é o enfraquecimento do solo por meio das queimadas feitas pelos agricultores. Algumas dessas queimadas foram observadas nas cristas dos taludes da erosão.

Em uma rua que segue paralelamente a erosão verifica-se a presença de pequenos canais em torno de 50 cm de altura por 20 cm de largura, como mostra a Figura 29, que servem para o encaminhamento dessas águas evitando novas erosões, porém não se verifica a presença de outros canais na região.



Figura 29 - Canal de drenagem em rua paralela à erosão. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).

4.3. ANÁLISE DO RELEVO E PERFIS DA EROSÃO

A área em estudo apresenta-se em uma região mais baixa do que toda a área dos seus arredores, o que permite o escoamento de grande parte das águas pluviais proveniente da zona mais central de Mata Redonda, como pode-se observar na Figura 30. Desta forma, além das precipitações que incidem diretamente sobre a erosão, está aliada o escoamento superficial das ruas e a falta de drenagem nas mesmas, contribuindo para o crescente desenvolvimento da erosão em estudo.

O mapeamento topográfico realizado pelo drone no local, aliado com as imagens de satélite do Google Earth permitiram uma análise das seções dos taludes da erosão, da declividade dos terrenos dos arredores da erosão e da declividade da própria erosão.



Figura 30 - Declividade da região do entorno da erosão. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).

Observa-se na Figura 30 a declividade dos arredores que culminam todas em direção a erosão, estando a mesma localizada em uma área mais baixa e com declividade mais acentuada do que as áreas do entorno, o que corroborou para o aparecimento e desenvolvimento da mesma. Com isso, obteve-se algumas declividades desses terrenos para averiguar se, realmente, o escoamento das águas pluviais corria, de grande parte da área, para a erosão.

Para cada alinhamento apresentado na Figura 31 obteve-se uma declividade, onde verificou-se que a área localizada na linha 7 foi aquela com maior declividade, onde o escoamento se daria de forma mais intensa e com uma velocidade maior. De fato, de acordo com as observações do local e das imagens de satélite, verifica-se que a área onde o alinhamento 7 termina é a que possuiu maior crescimento nos últimos anos e onde existe maiores dimensões da erosão (altura e largura).



Figura 31 - Análise das declividades das áreas do entorno. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).

Tabela 7 - Comprimentos e declividades do terreno

LINHA	COMPRIMENTO (m)	DECLIVIDADE (%)
1	166,56	5,40
2	162,32	1,23
3	160,58	4,35
4	152,54	2,62
5	176,15	5,11
6	140,4	4,27
7	168,12	7,14

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Para a erosão, observa-se uma declividade acentuada da mesma, maior do que os próprios terrenos que a cercam, o que contribui cada vez mais para o aumento da profundidade da mesma, o carreamento de sedimentos e de lixos, o assoreamento dos rios a jusante da erosão, além de erodir os pés dos taludes e provocar novos deslizamentos.



Figura 32 - Declividade da erosão. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).

A linha amarela, observada na Figura 32, foi utilizada como referência para a análise da declividade, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 8 - Declividade obtida para área da erosão

ÁREA DA EROSÃO			
COMPRIMENTO (m)	COTA MONTANTE (m)	COTA JUSANTE (m)	DECLIVIDADE (%)
383,4	81	28	13,82

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Devido à grande extensão da área erodida, foram escolhidas algumas seções para análise da declividade, selecionadas de acordo com áreas da erosão que apresentassem certa homogeneidade referentes aos desgastes. A Figura 33, traz as seções escolhidas.



Figura 33 - Seções selecionadas para análise da declividade. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).

Com o auxílio dos valores para as cotas e comprimentos obtidos pelo levantamento altimétrico realizado pelo drone, obteve-se as seguintes declividades:

Tabela 9 - Declividades obtidas para as seções selecionadas

SEÇÃO	COTA DO TOPO (m)	COTA DA BASE (m)	ALTURA DO TALUDE (m)	DISTÂNCIA HORIZONTAL DA CRISTA DO TALUDE AO FUNDO DA EROSÃO (m)	DECLIVIDADE (%)
1	79	74	5	5,11	97,85
2	69	64	5	12,02	41,60
3	60	39	21	24,43	85,96
4	33	26	7	11,6	60,34
5	35	26	9	9,22	97,61
6	58	39	19	22,26	85,35
7	72	64	8	9,3	86,02
8	80	74	6	6,1	98,36

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Observa-se elevadas declividades para os taludes ao longo da erosão, sendo os mais acentuados localizados na seção 5, 1 e 8, com uma angulação aproximada de 45°, o que

apresenta um elevado risco para novos desabamentos. Além disso observa-se que a área das seções 8 e 1 é totalmente residencial, elevando-se o risco à vida dos moradores.

A seção 5 apresenta-se localizada na região com maior declividade de terreno dos entornos da erosão, observada pela declividade do alinhamento 7, Figura 33, o que representa um risco ainda maior para essa seção.

Desta forma, observa-se uma grande necessidade de projetos de drenagem, de proteção e estabilização da erosão, uma vez que as grandes declividades do entorno e da própria erosão contribuem para intensidade do escoamento e as regiões com elevadas declividades possuem uma grande probabilidade de instabilidade, necessitando de intervenções para estabilizá-las.

4.4. ASSOREAMENTO DO RIO

Outro aspecto importante a ser analisado a respeito das consequências provenientes da erosão é o assoreamento dos rios que estavam localizados logo a jusante da erosão.

O assoreamento implica na diminuição da água utilizável dos corpos hídricos e na redução da quantidade de energia gerada pelo mesmo e uma das principais causas é a ação das águas pluviais que carregam sedimentos em suspensão e que, com o acúmulo em determinada área, pode provocar a diminuição da seção transversal do corpo hídrico.

Desta forma, com o desprendimento do maciço de solo da erosão aliado com o escoamento superficial de alto fluxo no interior da erosão e com a proximidade dos rios, verificou-se o assoreamento de dois rios na zona rural de Mata Redonda: o rio Sarapó e o rio Gameleira.

De acordo com moradores da área, o assoreamento dos rios foi um aspecto bastante desfavorável para os moradores, uma vez que eles utilizavam da água tanto para usos domésticos como também para agricultura, que é a forma de sustento da maioria das famílias do sítio Sarapó.

O rio Sarapó localiza-se imediatamente a jusante da erosão. Segundo os relatos dos moradores, o fluxo de água há uns 6 anos era bastante elevado e permitia até o próprio banho dos moradores no rio. Atualmente existe apenas um córrego no local, onde percebe-se a grande área ocupada pelo solo proveniente da erosão, como pode ser observado na Figura 34.



Figura 34 - Assoreamento do rio Sarapó. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).

Além do assoreamento a erosão ocasionou a contaminação da água devido ao lixo carreado através do escoamento superficial, tornando a água imprópria para o consumo dos moradores. Relata-se também que havia nas proximidades do rio uma plantação de banana que também foi soterrada pelo solo da erosão, conforme mostra a Figura 35.



Figura 35 - Área assoreada do Rio Sarapó. À esquerda, área assoreada pelo solo da erosão. À direita, córrego proveniente do assoreamento do rio. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).

Além do rio Sarapó, outro rio, bastante importante na região, que foi afetado pelo assoreamento, é o rio Gameleira, observado na Figura 36, situado a uma maior distância da erosão, cerca de 570 metros, sendo desta forma menos assoreado do que o rio Sarapó. Além disso o assoreamento do rio Sarapó tem consequência direta no comportamento do rio Gameleira, uma vez que o rio Sarapó desagua no mesmo, já o rio gameleira desagua no rio Abiaí, mostrado na Figura 37.



Figura 36 - Rio Gameleira. Fonte: Registro feito pelo autor, (2019).

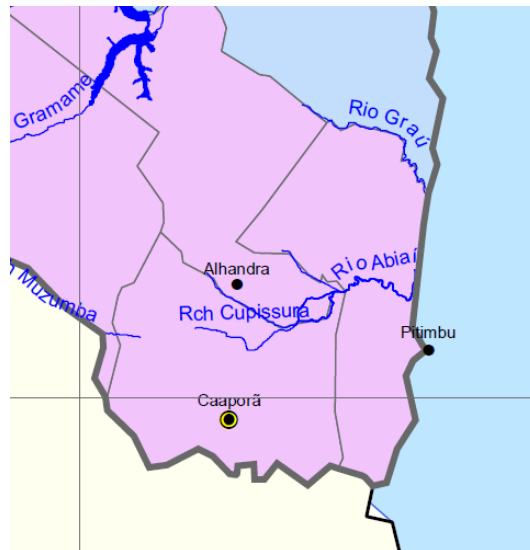


Figura 37 - Rio Abiaí, onde desagua o Rio Gameleira. Fonte: ANA (2019).

Observa-se na Figura 38, a demarcação do assoreamento, por ser um único tipo de solo, proveniente da erosão, que se estende desde a nascente do rio Sarapó até o rio Gameleira.



Figura 38 - Assoreamento do Rio Gameleira. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).

4.5.AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DA EROSÃO

Segundo relatos dos moradores da região o crescimento da erosão torna-se cada vez maior. Esse relato foi verificado por meio do Google Earth, onde encontrou-se imagens de satélite dos anos de 2005, 2008, 2015, 2016 e 2017, constatando-se que, de fato, o aumento da erosão é significativo a cada ano que passa e que uma proposta de intervenção para frear esse crescimento é extremamente necessária.

O crescimento rápido da erosão torna-se uma preocupação muito grande para os residentes próximos, uma vez que, em poucos anos suas residências poderão ser engolidas pela erosão, com risco à vida muito elevado.

Foi feita uma demarcação no entorno da erosão para o ano de 2017 que foi utilizado de parâmetro para uma comparação visual com a erosão em outros anos anteriores, conforme mostram as Figuras 39, 40, 41, 42 e 43.



Figura 39 - Erosão no ano de 2017. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).



Figura 40 - Erosão no ano de 2016. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019)



Figura 41 - Erosão no ano de 2015. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).



Figura 42 - Erosão no ano de 2008. Fonte: Google Earth. Modificado pelo autor (2019).



Figura 43 - Erosão no ano de 2005. Fonte: Google Earth, 2019.

Observa-se um aumento significativo entre os anos de 2005 a 2017. Entre os anos de 2005 e 2008 já se nota um aumento da erosão, principalmente no trecho médio da erosão, onde poder-se-ia atravessar de um lado para o outro em 2005, enquanto que em 2008 essa passagem foi totalmente erodida. Esse trecho onde localizava-se essa passagem foi um dos que mais cresceu nesses anos, tendo uma diminuição significativa de 30 metros de plataforma.

Atualmente, este trecho, mostrado na Figura 44, onde verificou-se um aumento significativo da erosão, é o que possui maiores alturas e declividades mais acentuadas.

Além disso, no ano de 2005, pode-se observar que no início da erosão ainda não havia a presença das marcas deixadas pelo desabamento da praça, logo, ainda não havia acontecido o desabamento da mesma, porém a erosão já estava bastante avançada e já ameaçava a zona urbana, tanto é que pouco tempo depois a pracinha veio a ruir.



Figura 44 - Área com maior crescimento entre 2005 e 2017 da erosão. Fonte: Registro feito pelo autor (2019)

5. ENSAIOS E RESULTADOS

5.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO

De acordo com as recomendações da NBR 6502 (ABNT, 1995), os grãos de um solo podem se agrupar nas seguintes faixas granulométricas:

- Pedregulho: grãos acima de 2,0 mm;
- Areia grossa: grãos compreendidos entre 2,0 e 0,42 mm;
- Areia fina: grãos compreendidos entre 0,42 e 0,075 mm;
- Silte: grãos compreendidos entre 0,075 e 0,002 mm;
- Argila: grãos abaixo de 0,002 mm.

A tabela 10 apresenta, a distribuição das partículas do solo de Mata Redonda de acordo com as recomendações da NBR 6502:

Tabela 10 - Distribuição das partículas da amostra de solo de Mata Redonda

Resumo da granulometria	
Pedregulho ($d > 2,0$ mm)	1,36 %
Areia grossa ($0,42$ mm $< d \leq 2$ mm)	55,43 %
Areia fina ($0,075$ mm $< d \leq 0,42$ mm)	19,19 %
Silte + Argila ($d \leq 0,075$ mm)	24,02 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Figura 45, mostra a curva granulométrica obtida para o solo de mata Redonda:

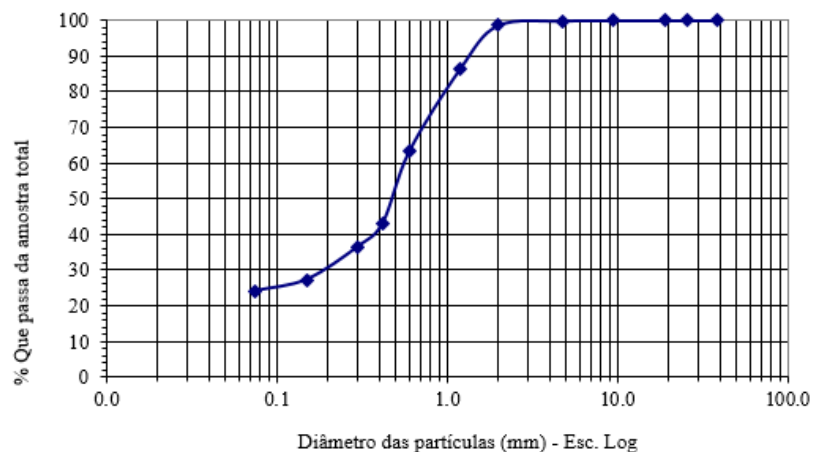


Figura 45 - Curva granulométrica referente ao solo de Mata Redonda. Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A curva granulométrica da Figura 45 é classificada como contínua. Logo, o solo de Mata Redonda apresenta-se bem graduado.

De acordo com a tabela 10 e a curva granulométrica, o solo de Mata Redonda caracteriza-se como um solo predominantemente arenoso com um bom teor de partículas finas de silte e argila, apresentando uma boa graduação.

Os parâmetros do solo, coesão e ângulo de atrito, estão diretamente ligados ao tipo de solo, uma vez que solos mais arenosos, como é o caso do solo em estudo, apresentam uma menor coesão e ângulo de atrito, conseqüentemente, apresentará uma menor resistência ao cisalhamento e ruptura do talude.

5.2. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Para a análise da resistência ao cisalhamento do solo, com e sem capim vetiver, foram moldadas 3 amostras. Devido a inviabilidade de se moldar um corpo indeformado de acordo com as indicações da norma, utilizou-se tubos de PVC de 75 mm de diâmetro e 50 cm de altura.

Os tubos de PVC foram preenchidos com o solo coletado da erosão e submetido a compactação com energia normal, uma vez que a amostra coletada estava deformada e sem nenhuma coesão, assim, com a compactação procurou-se se simular as condições naturais do solo da erosão.

Em duas, das três amostras, foi cultivado o capim vetiver e na terceira moldou-se apenas com o solo da erosão, conforme mostrado na Figura 46. A moldagem dos corpos de prova foi realizada o dia 25 de fevereiro de 2019 e o desmolde no dia 10 de abril de 2019, já para a realização do ensaio de cisalhamento, totalizando 46 dias, a amostra depois do desmolde pode ser observada na Figura 47.

As amostras foram submetidas as mesmas condições de temperatura, umidade, vento, sombreamento. As amostras com vetiver foram submetidas à regas em dias alternados nas primeiras semanas, com o intuito de melhor representar a situação real a amostra que continha apenas solo também foi submetida à rega, com a mesma quantidade de água das amostras com vetiver.



Figura 46 - Moldagem, no dia 25 /04/2019, das amostras de solo, sem e com capim vetiver. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).



Figura 47 - Desmolde, no dia 10 /04/2019, das amostras de solo, sem e com capim vetiver e retirada dos corpos de prova. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).

5.2.1. RESULTADOS DO ENSAIO

De cada amostra foram retirados 3 corpos de prova de aproximadamente 7 cm de altura para o ensaio, submetidos ao carregamento vertical de 10, 15 e 20 kgf, até a ruptura. A tensão cisalhante e a normal referentes a ruptura foram utilizadas para o traçado da reta no gráfico tensão normal x tensão cisalhante, a partir daí encontrou-se a coesão e o ângulo de atrito referente a cada amostra.

Tabela 11 - Resultados do ensaio para amostra 1 (com vetiver)

σ (kPa)	τ (kPa)
84,77	31,96
109,8	47,69
117,01	63,83

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 12 - Resultados do ensaio para amostra 2 (com vetiver)

σ (kPa)	τ (kPa)
86,38	31,92
79,63	47,94
101,73	63,83

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 13 - Resultados do ensaio para amostra 3 (sem vetiver)

σ (kPa)	τ (kPa)
84,77	31,96
109,8	47,69
117,01	63,83

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Com as tensões de cisalhamento e normal de ruptura obtidas pelo ensaio para cada amostra, obteve-se a reta tensão normal x tensão de cisalhamento para cada uma:

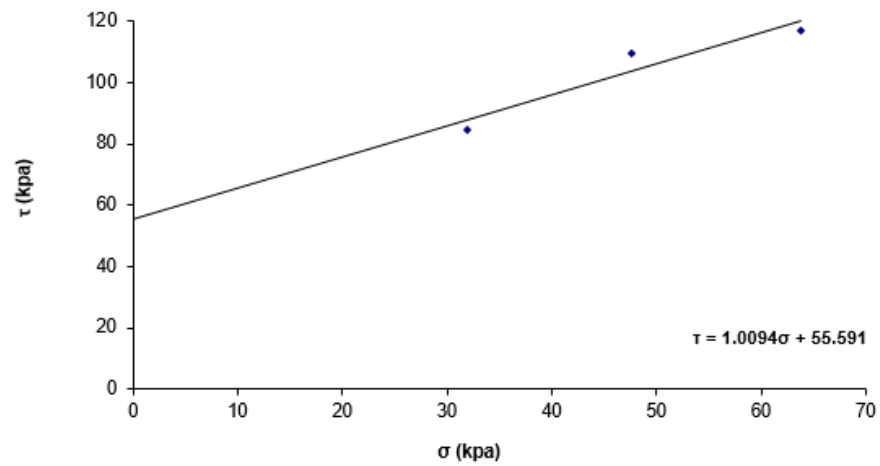


Figura 48 - Gráfico tensão normal (σ) x tensão cisalhante (τ) da amostra 1 (com vetiver).Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

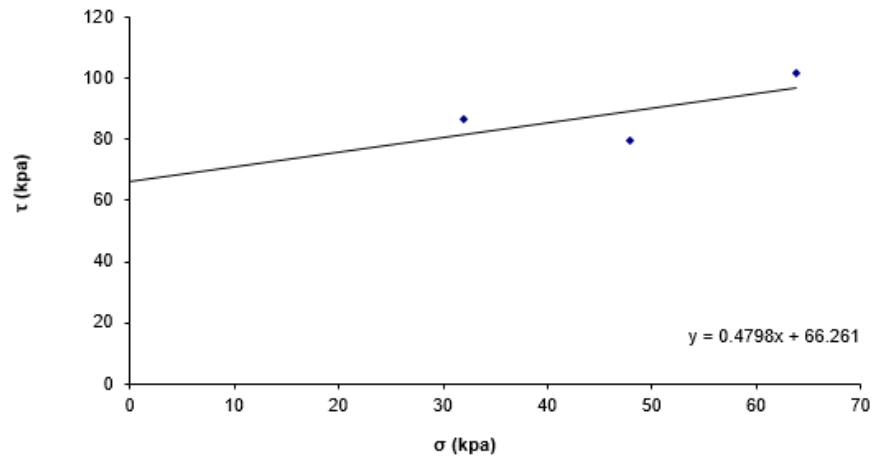


Figura 49 - Gráfico tensão normal (σ) x tensão cisalhante (τ) da amostra 2 (com vetiver). Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

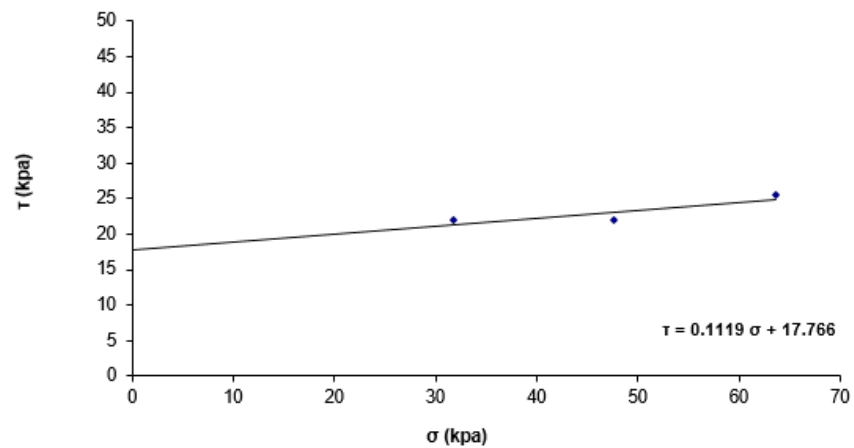


Figura 50 - Gráfico tensão normal (σ) x tensão cisalhante (τ) da amostra 3 (sem vetiver).Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A partir das retas das Figuras 48, 49 e 50, obteve-se os valores de coesão da amostra e do ângulo de atrito referente a mesma. A coesão do solo é o valor da tensão cisalhante para a qual a tensão normal é nula, enquanto que o ângulo de atrito é obtido pela inclinação da reta obtida para cada amostra. Desta forma, obteve-se os seguintes parâmetros para as amostras em estudo:

Tabela 14 - Resultados do ensaio para amostra 3 (sem vetiver)

AMOSTRA	Equação ($\tau = \varphi * \sigma + c$)	Coesão (c) (kPa)	Ângulo de atrito (φ) (°)
1 (com vetiver)	$\tau = 1.0094 * \sigma + 55.591$	55.59	45.27
2 (com vetiver)	$\tau = 0.4798 * \sigma + 66.261$	66.26	25.63
3 (sem vetiver)	$\tau = 0.1119 * \sigma + 17.766$	17.76	6.38

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

5.2.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos pode-se realizar a comparação entre os resultados para a resistência ao cisalhamento de solo com a presença de capim vetiver e sem capim vetiver.

Abaixo, encontra-se um quadro resumo dos parâmetros alcançados para cada amostra:

Tabela 15 - Parâmetros alcançados para cada amostra pelo ensaio de cisalhamento direto

Amostra	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
1 (com vetiver)	55.6	45.27
2 (com vetiver)	66.26	25.63
3 (sem vetiver)	17.76	6.38

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Observa-se que, mesmo submetidos às mesmas condições de clima, umidade, nutrientes, solo e sombreamento as amostras 1 e 2, com vetiver, apresentaram uma diferença considerável tanto para coesão como para o ângulo de atrito. Essa diferença pode ser atribuída

a vários fatores, como por exemplo, a melhor ramificação das raízes da amostra 1 no interior da tubulação.

Através do ensaio de cisalhamento observa-se o aumento dos parâmetros de resistência para as amostras com vetiver, apresentando uma diferença significativa para a amostra apenas com solo. O aumento da coesão e ângulo de atrito com o vetiver, representa, conseqüentemente, um aumento da resistência ao cisalhamento. Segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), para uma profundidade de 50 cm, o acréscimo na resistência ao cisalhamento com o capim vetiver pode chegar a 90%.

Um dos motivos para esse elevado acréscimo deve-se ao fato de que a amostra de solo, sem o capim vetiver, estava bastante saturada de água no dia do desmolde e conseqüentemente mais frágil para a retirada do corpo de prova para o ensaio, como mostra a Figura 51, o que justificaria os seus baixos valores de coesão e ângulo de atrito. Essa saturação se deu apenas na amostra de solo, pois, embora todas as amostras tenham sido expostas às mesmas condições de umidade, seja pela ação da água da chuva ou pelas regas, às quais foram submetidas, a presença do capim vetiver nas amostras 1 e 2 impediu com que houvesse essa saturação, como pode-se verificar na Figura 52, uma vez que a água presente no solo era rapidamente absorvida pelas raízes, ao contrário da amostra que continha apenas solo, pois a água que percolava na tubulação tinha a tendência de permanecer e assim, provocar a sua saturação.



Figura 51 - Amostra de solo, sem capim vetiver, saturada. Fonte: Registro feito pelo autor (2019)

Desta forma, além do acréscimo a resistência atribuída ao maciço de raízes do vetiver que penetra o solo, há também o acréscimo de resistência por ser um solo mais seco, reflexo da absorção de água pelas raízes. Portanto, o capim vetiver ajuda a manter o solo mais seco,

impedindo uma saturação e conseqüentemente uma maior instabilidade, assim, ele contribui através da resistência das suas raízes e da absorção de água por meio delas.



Figura 52 - Amostra de solo com capim vetiver. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).

5.3. TAXA DE CRESCIMENTO DA PARTE AÉREA DO VETIVER

Durante os 46 dias, observou-se o processo de crescimento da parte aérea do vetiver. No dia da desmoldagem realizou-se a medição da parte aérea da vegetação, que chegou a uma altura de 80 cm, como pode ser observado na Figura 53.

Todas as amostras ficaram submetidas às mesmas condições, inclusive às condições de incidência solar, por esse motivo a parte aérea da vegetação cresceu de forma igual, tanto na amostra 1 como na amostra 2.



Figura 53 - Desenvolvimento da parte aérea do vetiver. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).

Como na moldagem do corpo de prova as mudas de vetiver já possuíam uma parte aérea em torno de 15 a 20 cm, descontou-se esta parcela para o cálculo da taxa de crescimento da parte aérea.

Taxa de crescimento = (Altura alcançada no fim da moldagem (cm) – 20 cm)/46 dias

Tabela 16 - Taxa de crescimento da parte aérea do capim vetiver

Altura alcançada no fim da moldagem (cm)	Taxa de crescimento (cm/dia)	Taxa de crescimento (cm/mês)
80	1,30	39,13

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Observa-se que o crescimento da parte aérea do capim vetiver se dá de forma bastante rápida, porém essa taxa de crescimento tende a diminuir no decorrer do tempo, uma vez que a parte aérea do capim vetiver tem crescimento limitado entre 1,5 a 2 metros.

Além disso, devido a essa rapidez de crescimento no início de seu ciclo, o capim vetiver deve ser submetido a podas regulares após os 5 meses após o seu plantio, justamente no período em que sua parte aérea chega a uma altura padrão.

5.4. TAXA DE CRESCIMENTO DA RAÍZ DO VETIVER

No dia de desmolde das amostras que seriam submetidas aos ensaios de cisalhamento, observou-se até que profundidade as raízes teriam crescido. Os tubos com o capim vetiver possuíam cerca de 50 cm de profundidade e após a desmolde, verificou-se que a raiz do capim cresceu até o fundo da tubulação, como mostra a Figura 54. Além disso, houve uma pequena aglomeração das raízes no fundo da tubulação, constatando-se que não cresceram mais por falta de espaço.



Figura 54 - Desenvolvimento da raiz do capim vetiver. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).

Observa-se na imagem à direita, da Figura 54, que a raiz cresceu até o fundo da tubulação, que tinha 50 cm de altura.

Após os 46 dias, as raízes tinham uma extensão de 55 cm, sendo que, como a moldagem da amostra foi feito por meio de mudas, a raiz do capim já possuía uma extensão de 10 a 15 cm. Desta forma, calculou-se a taxa de crescimento, para a raiz do capim, no solo da erosão.

$$\text{Taxa de crescimento} = (\text{Extensão da raiz no fim da moldagem (cm)} - 15 \text{ cm}) / 46 \text{ dias}$$

Tabela 17 - Taxa de crescimento da raiz do capim vetiver

Extensão da raiz no fim da moldagem (cm)	55
TAXA DE CRESCIMENTO	
cm/dia	0.87
cm/mês	26.1
cm/ano	313.05
m/mês	0.26
m/ano	3.13

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A taxa de crescimento obtida para a raiz aproximou-se da taxa esperada, uma vez que, segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), as raízes de vetiver chegam a aproximadamente 3,6 metros em um ano, com um crescimento de 30 cm por mês. Desta forma, o crescimento obtido para o capim vetiver no solo da erosão foi satisfatório, pois chegou a 26 cm ao mês.

5.5. ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

Os resultados obtidos para a análise química do solo, foram os seguintes:

Tabela 18 - Resultados dos ensaios químicos do solo da erosão

pH	5,1
P (mg/dm³)	3,78
K⁺ (mg/dm³)	5,82
Al³⁺ (cmol_c/dm³)	0,2
Ca⁺² (cmol_c/dm³)	0,42
Mg⁺² (cmol_c/dm³)	2
MO (g/kg)	2,42

Fonte: Resultados obtidos após ensaios no Laboratório de fertilidade do solo do Departamento de solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias – UFPB/Campus II (2019)

5.5.1. ANÁLISE DO PH

A acidez do solo é medida através do pH, de acordo com o guia de análise de solos da Embrapa, pH próximo de 5,2 até 5,3 indica que o alumínio trocável está quase na sua totalidade insolubilizada e não causa mais danos as raízes, logo torna-se favorável ao desenvolvimento das plantas.

Desta forma, como o pH do solo em estudo é de 5,1, de acordo com Prezotti e Guarçoni (2013), apresenta-se com alumínio trocável quase na sua totalidade insolubilizada e sem causar danos às raízes, acidez média, classificação agrônômica na faixa baixa, devendo-se tomar alguns cuidados, dependendo da espécie que se deseja plantar no local. Além disso, o solo apresenta boa disponibilização de Zn, Cu, Fe, Mn, logo a espécie vegetal a ser escolhida para o plantio deve apresentar uma boa resistência aos teores elevados destes elementos, como é o caso do capim vetiver.

5.5.2. ANÁLISE DO ALUMÍNIO (Al³⁺)

A análise do teor de na forma iônica Al³⁺(acidez trocável) é de extrema importância, uma vez que constitui uma forma tóxica às plantas. De acordo com Prezotti e Guarçoni (2013), todos os solos possuem alumínio em diversas formas ou compostos, porém o seu teor é praticamente constante e o que varia são as formas como é encontrado no solo.

Em solos ácidos, a solubilidade do Al^{3+} é muito alta, causando danos às raízes das plantas, porém com a elevação do pH ocorre a redução da solubilidade do alumínio, até pH 5,5, no caso do solo em estudo (pH=5,1) há essa redução de solubilidade, não havendo presença na forma tóxica, com predominância do alumínio na forma $\text{Al}(\text{OH})_3$, que é um precipitado inerte. Desta forma, como não há presença na forma tóxica do alumínio, o solo é favorável para o desenvolvimento do capim vetiver.

5.5.3. MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MO)

De acordo com Prezotti e Guarçoni (2013), a matéria orgânica do solo é formada pelos resíduos da parte aérea e radicular das plantas, de micro-organismos e exsudados de raízes. É constituído por C, H, O, N, S e P.

A indicação do teor de matéria orgânica é importante para determinação do seu potencial produtivo e é obtido através da multiplicação do teor de carbono pelo fator 1,72.

Solos com maiores teores de MO apresentam maior capacidade de fornecimento de nutrientes às plantas, além de grande resistência à variação de pH, as plantas ainda apresentam bom desenvolvimento na presença de alumínio.

As plantas com menores teores de MO exigem pequenas quantidade de calcário para a correção da acidez e retém pouca quantidade de nutrientes. A Figura 55 traz a classificação do solo de acordo com a concentração da matéria orgânica.

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Matéria orgânica (MO)	Colorimétrico	dag/kg	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0

Figura 55 - Classes de interpretação para MO. Fonte: Prezotti e Guarçoni (2013).

Desta forma, como o solo em estudo possui um teor de MO de 2,42, apresenta um desempenho relativamente bom, com uma boa disponibilidade de nutrientes e consequentemente favorável a plantação do vetiver.

5.5.4. FÓSFORO, POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO DISPONÍVEL

O teor de fósforo para o solo em estudo é de 3,78 mg/dm³. De acordo com Prezotti e Guarçoni (2013), solos com teores abaixo de 5 mg/dm³, possivelmente, possuirão culturas com baixa produtividade devido à baixa disponibilidade deste elemento.

A maior proporção do potássio encontra-se nas estruturas dos minerais, que por ação do intemperismo no decorrer do tempo se desprendem e tornam-se disponíveis na forma de cátions trocáveis, que são os que permanecem mais livres para as plantas.

A menor ou maior capacidade de solo em repor o potássio em solução depende da quantidade do mesmo das estruturas minerais. Desta forma, cada cultura possui um comportamento específico com relação a concentração de potássio disponível e capacidade de reposição dos minerais.

Método	Cultura	Classificação		
		Baixo	Médio	Alto
		mg/dm ³		
Mehlich-1	Perene / Anual	< 60	60 - 150	> 150
	Hortaliça	< 80	80 - 200	> 200

Figura 56 - Classes de interpretação para K. Fonte: Prezotti e Guarçoni (2013).

O solo em estudo possui um teor de K de 5.82 mg/dm³, o que representa um teor bastante baixo, de acordo com a classificação apresentada na Figura 56.

Os teores para Ca e Mg indicam a quantidade de cálcio e magnésio do solo na forma trocável (Ca²⁺ e Mg²⁺) que podem ser absorvidos pelas plantas. Estes teores influenciam diretamente na acidez do solo, uma vez que solos ácidos apresentam baixos teores, enquanto que solos com uma boa fertilidade apresentam valores mais elevados.

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Cálcio (Ca)	KCl 1 mol/L	cmol/dm ³	< 1,5	1,5 - 4,0	> 4,0
Magnésio (Mg)	KCl 1 mol/L	cmol/dm ³	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0

Figura 57 - Classes de interpretação para Ca e Mg. Fonte: Prezotti e Guarçoni (2013).

Para o solo em estudo, os teores de Ca e Mg foram de 0,42 e 2 cmol/dm³, respectivamente, sendo baixo para o cálcio e alto para o magnésio, conforme a classificação

apresentada na Figura 57. Segundo Prezotti e Guarçoni (2013), esses valores devem ser altos, para um bom desempenho das plantas.

5.5.5. SALINIDADE

De acordo com Dias (2016), a salinidade influencia na absorção de água do solo pelas plantas, pois em solos salinos, os sais solúveis na solução do solo aumentam as forças de retenção de água devido ao efeito osmótico, assim há a redução na absorção de água pela planta e conseqüentemente de nutrientes. Ou seja, mesma em solo úmido, se houver níveis de salinidade elevados, a planta não conseguirá absorver a água. Em caso de solos com altas concentração de sais, a planta pode até mesmo perder água para o solo, pois o movimento se dá da solução mais concentrada para menos concentrada.

Para expressar o nível de salinidade do solo é utilizado a condutividade elétrica do mesmo, pois quanto maior a presença de sais no solo, maior será a condutividade elétrica. Os resultados e a classificação do solo de Mata Redonda com relação a salinidade foram os seguintes:

Tabela 19 - Resultados obtidos com o ensaio de salinidade

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (dS/m)	CLASSIFICAÇÃO QUANTO À SALINIDADE
0.13	NORMAL

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Desta forma, observa-se que o solo apresenta uma salinidade relativamente boa, com classificação normal, com isso a vegetação que for implantada neste solo não apresentará problemas com a absorção de água e de nutrientes, uma vez que possui baixa condutividade elétrica, ou seja, baixa concentração de sais.

6. UTILIZAÇÃO DO CAPIM VETIVER NO CONTROLE DA EROSÃO

6.1. VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA VETIVER EM MATA REDONDA

Com relação a adaptação à temperatura do distrito de Mata Redonda, é de se esperar que haja um bom desenvolvimento do capim vetiver, uma vez que a faixa de temperatura na qual ele se desenvolve é ampla, indo de -15°C a 55°C , conforme Truong, Tan Van e Pinnars (2008).

De acordo com a Figura 10, observa-se que uma boa adaptabilidade e conseqüentemente desenvolvimento do capim vetiver se dá em uma faixa de temperatura de 20 a 35°C , como as temperaturas do distrito de Mata Redonda possuem uma variação média anual de $23,7^{\circ}\text{C}$ a $28,2^{\circ}\text{C}$, pode-se esperar um bom crescimento para o capim, desde que outras condições necessárias sejam satisfeitas.

Como o capim vetiver é bastante resistente à seca torna-se tolerante à baixa precipitação média anual e de acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), as aplicações do vetiver mostraram que este possuiu uma boa adaptação a uma faixa de precipitação média anual de 450 a 4000 mm. A precipitação média anual do distrito de Mata Redonda gira em torno de 1900 mm, o que representa uma boa precipitação para o desenvolvimento do capim vetiver, já que é um valor não tão próximo do limite inferior e nem do superior, o que corrobora para o desenvolvimento do capim na região.

Outro fator que deve ser observado é em relação às secas. O distrito de Mata Redonda apresenta dois períodos distintos, um de seca e outro chuvoso. As precipitações no período chuvoso são bastante elevadas, o que gera certo medo à comunidade, pois às elevadas precipitações levam à saturação do solo e conseqüentemente à instabilidade. Através de observações feitas na Austrália, de acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), com relação a utilização do vetiver, verificou-se que este resistiu a até um período de 15 meses de seca, desta forma, sendo um período de seca para Mata Redonda de 6 a 7 meses, essa característica da região não compromete a implantação do sistema vetiver.

Com relação a topografia da erosão, observa-se declividades acentuadas chegando à quase 50° de declive. Segundo Hengchaovanich (1998), observou-se que as plantas vetiver

podem crescer verticalmente em declives superiores a 150 % (56°). Desta forma, o desenvolvimento do capim vetiver nos taludes da erosão é favorável, porém caso procure-se uma maior segurança para o talude e para o desenvolvimento do capim, pode-se optar por um retaludamento para uma diminuição dessa declividade.

Outro aspecto bastante importante é o declive da região onde encontra-se a erosão, onde toda a água da área urbana de Mata Redonda culmina para a erosão. Segundo Truong, Tan Van e Pinnars (2008), o capim vetiver pode resistir a fluxos de 3,5 a 5 m/s, com uma lâmina d'água de até 0,8 metros de profundidade, desta forma, devido à sua elevada resistência, o escoamento de toda a água que vai para a erosão não seria um problema para o capim.

Com relação a alta taxa de escoamento de águas pluviais que correm para erosão, constatou-se, através do ensaio de cisalhamento e da obtenção da taxa de crescimento da parte aérea, que o vetiver é uma excelente solução, pois ao mesmo tempo que permite uma maior estabilidade ao talude pela presença de suas raízes maciças e profundas, irá funcionar como barreira para o escoamento superficial, diminuindo sua velocidade e com isso diminuindo a quantidade de solo carregado. Contudo, um ponto que poderia ser questionável é em relação a infiltração da água no solo, uma vez que, qualquer barreira que impeça o escoamento, levará a um escoamento mais lento e conseqüentemente se elevará a taxa de infiltração no solo, podendo ocasionar uma saturação, entretanto as raízes de vetiver exigem uma certa quantidade de água para a absorção (usa 6,86 litros de água por dia para 1 quilograma da biomassa), assim, a medida que diminui a velocidade de escoamento, o capim também impede a saturação do solo pela infiltração do escoamento barrado, o que pode ser observado no desmolde das amostras para o ensaio de cisalhamento, onde a amostra de solo sem vetiver, sob as mesmas condições ambientais, apresentou-se mais saturada.

Uma ameaça ao desenvolvimento do sistema vetiver encontra-se na presença de animais que podem fazer o consumo do capim, como por exemplo, vacas leiteiras, gado, cavalos, coelhos e ovelhas. Através das visitas ao local não foi observado a presença destes animais nas proximidades da erosão, mesmo na área rural, além disso a profundidade da erosão dificulta o acesso a estes animais. Desta forma, não há a presença de animais que prejudicassem o desenvolvimento do capim vetiver.

Uma das características que precisa ser observada e que é bastante decisiva para o estabelecimento do sistema vetiver é a presença de sombras, uma vez que, o capim vetiver é

totalmente intolerante à sombra. Verificou-se que na região de erosão, onde o sistema vetiver seria implantado não há a presença de sombras, logo seu desenvolvimento não será prejudicado.

Através da análise química do solo foram obtidos parâmetros importantes, com bastante influência no desenvolvimento do capim vetiver. Primeiramente, com relação ao pH do solo, que foi de 5,1, o vetiver apresentaria crescimento satisfatório, pois a faixa de pH para qual ele apresenta um bom resultado é de 3,3 a 12,5.

De acordo com a Figura 9, observa-se que o capim vetiver possui um limiar de salinidade de 8 ds/m, ou seja, para valores acima deste seu desenvolvimento fica comprometido. Para a análise realizada em Mata Redonda a salinidade encontrada do solo foi de 0,13 ds/m, ou seja, não passou do limite para o qual a planta apresenta um bom desenvolvimento.

De acordo com Truong, Tan Van e Pinnars (2008), o vetiver cultivado na Austrália teve um ótimo desempenho para salinidade, de 0,475 ds/m, porém sua produtividade reduziu-se à metade quando submetido a uma salinidade de 0,175 ds/m. Desta forma, como a análise feita para Mata Redonda foi de 0,13 ds/m deve-se ter um maior cuidado, já que a salinidade encontra-se um pouco abaixo, porém é de se esperar que esse valor se eleve e fique dentro da faixa com a irrigação do capim, uma vez que a presença de cloreto de sódio na água, principalmente por ser uma região litorânea, tende a salinizar o solo.

Com relação ao nível de alumínio, os ensaios químicos mostraram a presença de 0,2 cmol/dm³ de alumínio, o que dá um teor de aproximadamente 6% de alumínio para o solo da erosão. Truong, Tan Van e Pinnars (2008) apresenta o desenvolvimento do capim vetiver de acordo com a variação do nível de alumínio presente no solo e o pH. Observa-se, na Figura 58, que o pH de 5.1 encontrado para o solo de Mata Redonda, encontra-se entre o intervalo 4.8 e 5.5 e que o teor de alumínio se encontra entre o intervalo 2% e 11 %. Com isso, verifica-se um crescimento relativamente bom, uma vez que, para o solo em estudo, o vetiver apresentará um desenvolvimento similar ao quinto e sexto vaso da esquerda para direita.

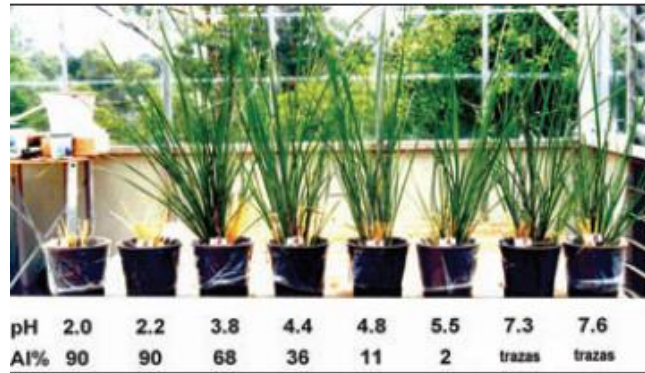


Figura 58 - Desenvolvimento do capim Vetiver com a variação de pH e Al. Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008).

Com relação aos teores de fósforo e potássio, o capim vetiver apresentou um bom desenvolvimento nos sistemas vetiver na Austrália, conforme Truong, Tan Van e Pinnars (2008), com teores de 0.17% para o fósforo e 2.2% para o potássio. Os resultados obtidos para o solo de Mata Redonda mostraram resultados de 5.82 mg/dm³ (0.015 cmol_c/dm³) para o potássio e 3.78 mg/dm³ (0.012 comol_c/dm³) para o fósforo, totalizando teores de 0.42% e 0.33%, respectivamente. Observa-se que o valor para o potássio ficou abaixo do esperado para um desenvolvimento parecido com o que se deu na Austrália, porém como o vetiver é uma planta bastante resistente e que consegue se desenvolver nas condições mais adversas, esses teores irão limitar um desenvolvimento mais significativo, uma vez que são elementos que estão diretamente ligados ao crescimento da planta, mas não impedirão um bom crescimento da mesma.

Através das visitas na região, verificou-se a presença de algumas espécies de vetiver plantadas na zona rural, como mostra a Figura 59, utilizadas como solução para manter os cercados dos terrenos firmes, na região em declive, ou seja, os moradores de Mata Redonda já utilizavam o capim vetiver, mesmo sem saber de sua potencialidade. Logo, percebe-se que há a viabilidade da plantação do capim vetiver na região, uma vez que se constatou um bom crescimento da mesma.



Figura 59 - Capim Vetiver plantado junto ao cercado em zona rural de Mata Redonda. Fonte: Registro feito pelo autor (2019).

6.2. A APLICAÇÃO DO CAPIM VETIVER EM MATA REDONDA

Através de todo o estudo realizado, desde a caracterização da área até os ensaios, procurou-se verificar a viabilidade e eficácia da implantação do sistema vetiver na erosão de Mata Redonda.

No processo erosivo estão envolvidos duas grandes problemáticas: a falta de drenagem nos arredores da erosão e a grande altura e inclinação dos taludes da erosão. A aplicação do sistema vetiver é vasta e pode ser utilizado como solução para as duas problemáticas.

Para uma melhor eficiência do capim vetiver e devido às grandes dimensões da erosão pode-se levar em conta a aplicação do capim vetiver com outros materiais, como os geossintéticos, que potencializem os efeitos de melhoria e proteção da erosão.

Com relação a drenagem, deve-se estabelecer tanto uma drenagem nas áreas no entorno da erosão, impedindo que as águas corram para seu interior, bem como obras de drenagem no interior da erosão, com o objetivo de conduzir melhor a água, controlando a velocidade do escoamento e diminuindo o volume de solo que é carregado e que provoca o assoreamento dos rios Sarapó e Gameleira.

Para drenagem no interior da erosão, pode-se aplicar uma solução proposta pela Deflor Bioengenharia (2019), onde as barreiras de vetiver são formadas em um intervalo de aproximadamente 5 metros uma da outra, em um canal drenante de 2 metros de largura, conforme a Figura 61. O vetiver encontra-se plantado sobre geocélulas, onde o intervalo entre uma barreira e outra apresenta-se a geocélula preenchida com concreto.

Na Figura 60, encontra-se o local de onde começaria a coleta do escoamento da água no interior da área erodida em estudo e na figura 61, uma solução que poderia ser utilizada para a drenagem dessas águas.



Figura 60 - Interior da erosão (início). Fonte: Registro feito pelo autor (2019).



Figura 61 - Solução para drenagem no interior da erosão. Fonte: Deflor Bioengenharia (2019).

Para o escoamento superficial da água que vem da zona urbana de Mata Redonda para erosão, pode-se executar pequenos canais que possam conduzir as águas para outros locais, impedindo que a água escoe para o interior da erosão.

Os canais podem ter dimensões iguais ao do canal que foi observado nas adjacências da erosão, de acordo com a Figura 29, com aproximadamente 50 cm de altura e 20 cm de largura

e devem ser distribuídos por toda a região dos entornos da erosão. Esses canais podem ser construídos de concreto, porém pode-se adotar soluções mais econômicas e favoráveis ao ambiente, como a utilização da tela Sintemax produzida pela Deflor Bioengenharia, como mostra a Figura 62, ou ainda por geomembranas impermeáveis. O capim vetiver pode ser utilizado para condução dessas águas até essas canaletas, ou seja, suas barreiras podem ser montadas de tal forma que direcione as águas até as canaletas e se for o caso da instalação da tela sintemax, por ter certa permeabilidade, seria interessante a presença de capim vetiver que auxiliasse na absorção da água que infiltrasse no solo.

Por ser uma região rural a água que seria interceptada e conduzida pelas canaletas pode ser destinada a um local que permita a reutilização da mesma para irrigação, como por exemplo, pequenas barragens ao longo do declive das regiões adjacentes da erosão, de acordo com a Figura 63.



Figura 62 - Instalação de tela sintemax. Fonte: Deflor Bioengenharia (2019).



Figura 63 - Pequenas barragens para água interceptada pelas canaletas. Fonte: Deflor Bioengenharia (2019).

Para a problemática do esgoto a céu aberto, pode-se investir em canaletas para a condução do esgoto para fossas, onde podem ser plantadas vetiver que ajudem na filtração desse esgoto e impeçam a contaminação do solo e do lençol freático.

Por fim, o vetiver pode ser utilizado para a estabilização das faces dos taludes da erosão. Devido às grandes inclinações dos taludes, para se obter uma melhor eficácia para implantação do sistema vetiver e maior segurança para a estabilidade dos taludes é ideal que se realize um retaludamento na erosão, com a suavização das faces e diminuição de suas inclinações.

Pode-se pensar também na instalação de pequenos terraços de aproximadamente 20 centímetros e intervalos verticais de 2 metros, conforme a Figura 64, que permitam a instalação do sistema vetiver com a presença de pequenos drenos, aliados a barreira de vetiver, com uma inclinação de aproximadamente 0.5%, como mostra a figura 65, o escoamento pode ser destinado ao canal principal no interior da erosão.



Figura 64 - Sistema vetiver implantado em taludes. Fonte: Vetiver Br. (2019).

Uma alternativa para atribuir ainda mais segurança para o sistema vetiver e para proteção do talude é a aplicação de biomanta em conjunto com a hidrossemeadura, entre as linhas do vetiver.

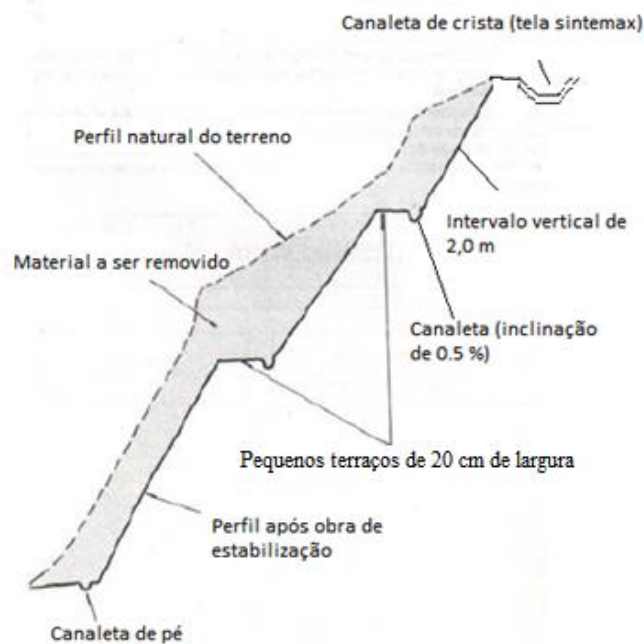


Figura 65 - Seção transversal do talude. Fonte: Marangon (2006). Modificado pelo autor.

Além de toda a proteção que as obras de controle da erosão com a utilização de vetiver trazem, existem os benefícios à população e os baixos custos de instalação.

As obras da bioengenharia com a utilização do sistema vetiver chegam a no máximo 30% do valor das obras tradicionais da engenharia, além disso, a espécie vetiver já é cultivado e utilizado na própria região, ou seja, os gastos tendem a diminuir, uma vez que se estimule a produção do capim naquela região.

A implantação do sistema vetiver possibilita o envolvimento da população o processo de instalação, estimulando um processo educativo sobre a importância da conservação dos recursos naturais. Uma vez envolvida, a manutenção do sistema vetiver pode ficar a cargo da própria população e a mesma pode tirar da plantação do capim vetiver vantagens, uma vez que ele pode ser utilizado no artesanato, de acordo com a Figura 66, na construção de telhados de sapé, na fabricação de tijolos, na confecção de cordas e cabos e na extração de óleo para fins medicinais e cosméticos.



Figura 66 - Artesanato com utilização de vetiver. Fonte: Truong, Tan Van e Pinnars (2008).

Desta forma, percebe-se que a implantação do sistema vetiver para recuperação, além de ser viável, traz inúmeros benefícios para a população que reside nas proximidades, fornecendo tanto segurança para ali morarem, como alternativas para atividades lucrativas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estudo realizado para a erosão de Mata Redonda no município de Alhandra, todas as observações feitas através das visitas realizadas ao local, que permitiram o contato com os moradores e caracterização da área, levaram a constatação de que, devido ao elevado risco à vida das pessoas e os danos ambientais, é de extrema necessidade alguma intervenção na área que vise a proteção e recuperação da área degradada.

Com as visitas à área, constatou-se que se trata de uma área precária, com isso as propostas de recuperação da área devem ter uma certa viabilidade econômica. Portanto procurou-se descrever uma proposta de solução que tivesse essa viabilidade, chegando-se a utilização do sistema vetiver como uma possível solução para o problema, podendo estar associados com outros materiais.

Através de ensaios realizados para o solo da erosão, verificou-se se realmente havia condições suficientes para que se desse o desenvolvimento do sistema vetiver.

O ensaio granulométrico constatou que o solo da erosão era composto predominantemente por areia, constatando-se sua fragilidade, com coesão bastante baixa, atribuindo uma maior tendência à ruptura dos taludes da erosão.

Com a realização dos ensaios químicos, verificou-se se as condições do solo da erosão eram compatíveis com as condições exigidas pelo capim vetiver. Além dos ensaios químicos a observação da existência de capim vetiver na região da erosão, permitiu constatar que o crescimento se daria como esperado.

Com o ensaio de cisalhamento direto permitiu uma comparação da resistência ao cisalhamento para o solo da erosão, com vetiver e sem vetiver concluiu-se que houve um acréscimo na resistência ao cisalhamento do solo atribuído a presença das raízes e a absorção da água por elas. Deste modo, constatou-se que o capim vetiver pode contribuir com um acréscimo na resistência ao solo da erosão.

Além do problema da erosão, existem outros problemas envolvidos, como a falta de drenagem da região, o que contribui para o aumento da área erodida, e o assoreamento dos rios Sarapó e Gameleira, consequência do carreamento dos resíduos da erosão pelo escoamento superficial. Desta forma, para a solução de uma recuperação da erosão ser eficiente deve-se procurar um direcionamento para as águas pluviais, evitando danos a qualquer sistema de

recuperação que venha a ser implantado e, buscando a diminuição dos danos causados pela erosão, deve-se procurar a recuperação das áreas assoreadas dos rios.

As propostas de recuperação, envolvendo o capim vetiver em conjunto com outros materiais, descritas, tiveram como objetivo conservar ao máximo as características da região e procurar soluções que trouxessem formas de benefício para a população, despertando o interesse da mesma sobre as obras de recuperação. Desta forma, percebeu-se a importância do envolvimento da população, que se mostra preocupada com a atual situação, logo a realização de projetos de conscientização também pode ajudar neste processo, uma vez que os métodos descritos para a recuperação são de fácil aplicação, o que permite a utilização dos mesmos pela população em outros pontos onde estão começando a se formar novas erosões.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir deste trabalho sugere-se algumas linhas de estudos que podem dar continuidade ao mesmo:

- Realizar análises do fator de segurança para algumas seções da erosão, comparando-se o fator de segurança para o solo sem vetiver e para o solo com vetiver;
- Fazer uma análise dos custos de implantação do sistema vetiver no local, realizando comparações com as tradicionais obras de engenharia;
- Realizar um estudo a longo prazo e com mais amostras de solo com vetiver e solo sem vetiver, para observar a variação da resistência com o tempo;
- Realizar um trabalho voltado para educar a população a respeito dos impactos ambientais da erosão e da importância de sua participação na conservação da mesma.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo – Análise Granulométrica**. NBR 7181, dezembro, 1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo – Rochas e solos**. NBR 6502, outubro, 1995.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Geossintéticos: Termos e definições**. NBR ISSO 10318, julho, 2013.

AESA – PB. **Microrregiões do Estado da Paraíba**. Disponível em: <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/mapas.html>. Acesso em: 10 de Abril de 2019.

ARAÚJO, GUSTAVO; ALMEIDA, JOSIMAR; GUERRA, JOSÉ. **Gestão Ambiental de Áreas degradadas**. 2º ed. Rio de Janeiro. Editora Bertrand Brasil, 2007.

BAPTISTA, G.M.M; **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Universa, 2003.

BARBOSA, MICHELINE; **Estudo da aplicação do vetiver na melhoria dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solo em taludes**. 148f. Tese de Doutorado – Programa em pós-graduação em geotecnia da UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto, 2012.

BIDDLE, P.G. **Patterns of soil drying and moisture deficit in the vicinity of trees in clay soils**. Geotechnique, v. 33, n. 1, p. 107-126, 1982.

CAVALCANTI, AMANDA. **Estudo de erosão do tipo ravina no litoral sul da Paraíba**. 65f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, 2018.

COELHO, A.T. PEREIRA, A.R. **Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**. Boletim Técnico, ano 01, n° 002, Belo Horizonte. Editora FAPI Ltda, 2006.

COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. **Use of vegetation in civil engineering**. Sevenoaks, Kent: Butterworths, 1990. 305 p.

CRUDEN, D.M., VARNES, D.J. **Landslides: type and process**. Washington: Transportation Research Board, National Research Council – Special Report, 247. Cap. 3, p. 36-75, 1996.

DE BAETS, S.; PESEN, J.; REUBENS, B.; WEMANS, K.; DE BAERDEMAEKER, J.; MUYS, B. **Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength**. Plant Soil, Belgium, n. 305, p. 207-226, 2008.

DEFLOR: **Drenagem revestida com geocélula**. 2019. Disponível em: <http://deflor.com.br/solucoes/solucoes-drenagem/drenagem-revestida-com-geocelula-e-vetiver/>. Acesso em 11 de março de 2019.

DEFLOR.: **Principais vantagens dos geotexteis antierosivos**. 2019. Disponível em: <http://www.deflor.com.br/português/produtos.html>. Acesso em 27 de fevereiro de 2019.

DIAS, SILVA. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Byte Systems, 2016.

DIPROTEC: **Geossintéticos – Soluções**. Disponível em <http://www.diprotecgeo.com.br>. Acesso em 27 de fevereiro de 2019.

DUNCAN, J. M. & WRIGHT, G.S., 2005; **Soil Strength and Slope Stability**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

ERB, R. T. **The effect of roots on the shearing strength of soil.** 94 f. Tese (Degree of Master of Science). Departamento de Engenharia Civil. The Ohio State University, 1985

FIORI, A.P. & CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes.** Curitiba: Editora da UFPR, 550 p., 2001.

FLORINETH, F. AND C. GERSTGRASER. **Studienblatter zur Vorlesung Ingenieurbiologie (Study sheets on soil Bioengineering Lectures).** Departament of soil Bioengeneerin and Landscape Construction, University of Agricultural Sciences, Vienna, 1999.

FOSTER, G. R.; MC COOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C.; **Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units.** Journal Soil Water Conservation, v. 36, p. 355-359, 1981.

FREDLUND, D.G.; RAHARDJO, J. **Soil mechanics for unsaturated soils.** New York: John Wiley & Sons, 1993.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO (GEORIO). **Manual Técnico de Encostas: Análise e Investigação.** 2 ed. Rio de Janeiro, 2000.

GALETI, PAULO ANESTAR. **Conservação do solo: reflorestamento e clima.** 2 ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979.

GEOCONSULT: **Resultados do diagnóstico ambiental para o município de Alhandra – PB.** Consultoria Geologia e Meio Ambiente: Relatório de Impacto Ambiental, 2011.

GRAY D. H.; SOTIR, R.B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization – A partical guide for erosion control.** Wiley: New York, 1996. 377p.

GREENWAY, D.R.. **Vegetation and slope stability. Slope Stability.** John Wiley & Sons, 1997.

GUIDICINI, Guido;NIEBLE, Carlos Manuel; **Estabilidade de taludes naturais e de escavação.** São Paulo: Editora Edgar Blucher, 1983.

HENGCHAOVANICH, D. **Vetiver grass for slope stabilization and erosion control**. Tech. Bull, Pacific Rim Vetiver Network, Thailand, n. 2,1998. 28 p.

HENGCHAOVANICH, D.; NILAWERA, N. **An assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilization**. Primeira Conferência Internacional sobre Vetiver, 1., 1996. Bangkok: The vetiver network, 1996. P. 87-94.

HOLSWORTH, L. **Numerical analysis of vegetation effects on slope stability**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. 72 f. University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, 2014.

JESUS, A.S. **Investigação Multidisciplinar de processos erosivos Lineares: Estudo de caso da cidade de Anápolis – GO**. 340 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

M. MARANGON. **Tópicos em geotecnia e obras de terra**. Geotecnia de contenções. UFJF, 2006, A.M.S.

MACHADO, Sandro Lemos, MACHADO, Miriam de Fátima. **Mecânica dos solos II: Conceitos introdutórios**. Salvador, 1997.

MARQUES, A. C. M. **Aplicações em controle de erosão superficial**. In: Vertematti, J. C. Manual Brasileiro de Geossintéticos. 1 Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

MARQUES, J. F. **Efeitos da erosão do solo na geração de energia elétrica. Uma abordagem da economia ambiental**. Tese de Doutorado em Economia – Departamento de Economia e Administração, USP, 1995.

MCCULLAH, J. **Erosion draw**. Redding, CA: Salix Applied Earthcare, 1994. 123 p.

MEJORES FOTOS. **Sistema Vetiver**. Disponível em: <https://mejoresfotos.com>. Acesso em 10 de março de 2019.

MITCHELL, J.K; **Fundamentals of soil behavior**. New York: John Wiley, 1976. 422p.

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

MORTARI, D.; **Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 1994.

MOTA, S. **Planejamento Urbano e Preservação Ambiental**. Fortaleza: UFC, 1991.

MULLINS, C.E.; MACLEOD, D.A.; NORTHCOTE, K.H.; TISDALL, J.M. & YOUNG, I.M. **Hardsetting soils: behavior, occurrence and management**. Adv. Soil Sci., 1990.

NORRIS, J. E.; GREENWOOD, J. R. **Assessing the role of vegetation on soil slopes in urban áreas**. CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT, 10th, Nottingham, 6-10 Setembro 2006.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 2. Ed. Belo Horizonte: Ed. FAPI, 2008. 239p.

PEREIRA, A. R. **Determinação de perda de solo**. In: Simpósio de erosão, 1999, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Sociedade Mineira de Engenheiros (SME), 1999. P. 27.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2000. 247p.

PINTO, CARLOS DE SOUSA. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 2° ed. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

PORTOCARRERO, H. et al. **Aspectos hidrológicos e mecânicos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas naturais**. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2006.

PREZOTTI, C.; GUARÇONI, M. **Guia de Interpretação de Análise de Solo e Foliar**. 1° ed. Vitória – ES: Incaper, 2013.

SALOMÃO, F. X.; IWASA, O.Y.; **Erosão e a ocupação rural e urbana**. Bitar, O.Y. (Org). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. ABGE/IPT, São Paulo, SP, p. 31-57, 1995.

SALOMÃO, F. X.; **Controle e prevenção dos processos erosivos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, P. 229-268, 2010.

SILVA, M. J. F. **Análise de Estabilidade de Taludes pelo método de Equilíbrio Limite Geral**. Mestrado Integrado em engenharia civil - Departamento de engenharia civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

SMEAL, C., HACKETT, M., TRUONG, P. **Sistema Vetiver para tratamentos de efluentes industriais em Quesland, Austrália**. Terceira Conferência de Internacional de Vetiver na China, 2003.

TABALIPA, LYZANDRO; FIORI, ALBERTO; **Influência da vegetação na estabilidade de taludes na bacia do rio Ligeiro (PR)**. Departamento de Construção Civil, UTFPR. Pato Branco, 2008.

TECNOLOGIA SOCIAL: **Barraginhas de captação de águas superficiais de chuvas**. Disponível em: <http://tecnologiasocial.fbb.org.br/barraginhas-de-captacao-de-aguas-superficiais-de-chuvas.htm>. Acesso em 20 de março de 2019.

TRUONG, PAUL; VAN, TRAN TAN; PINNERS, ELISE. **Sistema de aplicação Vetiver: Manual de referência técnica**. 2º Edição: Rede Internacional de Vetiver, 2008.

USDA Soil Conservation Service. **Predicting rainfall erosion losses: aguide to conservation planning**. USDA Agricultural handbook n. 537, Washington DC, 1978.

VENTI, DONATELLA; BAZZURRO, FEDERICO; PALMERI, FABIO; UFFREDUZZI, TONINO; VENANZONI, ROBERTO; GIBELI, GIOIA. **Manuelae Tecnico di Ingegneria Naturalística dela Provincia di Terni**. Servizio Assetto Del Terriotorio – Ufficio Urbanistica, 2003.

VERDETEC. **Plano de ruptura do sistema vetiver**. Disponível em:<http://www.verdetec.com>. Acesso em 13 de março de 2019.

VETIVER BR: **Plantio Vetiver de um poço de petróleo**. Disponível em: <http://vetiverbr.blogspot.com/2015/10/aplicacao-de-vetiver-em-encostas-em-um.html>. Acesso em 26 de março de 2019.

VETIVER PORTUGAL: **Características da planta**. Disponível em: <https://vetiverportugalblog.wordpress.com>. Acesso em 10 de março de 2019.

WALKER, D.; **How to select, establish and use plants for erosion control**. IECA – Philadelphia, Pennsylvania, USA: International Erosion Association, 2004. 75p.

XIE, F.X.; **Vetiver para a estabilização da rodovia no Condado (Comarca) de Jian Yang: Demonstração e Extensão**. Seminário Internacional de Vetiver, Fuzhou, 1997.

ZIEMER, R. R. **The role of vegetation in the stability of forested slopes**. Proceed. XVII World Congress of the International Union of Forest Research Org. (IUFRO). Japão, 1981.

ANEXO I**RESULTADOS PARA O ENSAIO QUÍMICO**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Setor de Ciência do Solo
Campus II – Areia – PB Cep.: 58397-000
Tel.: (0xx83)3362-1700 Fax.: (0xx83)3362-2259



LAUDO DA ANÁLISE DE SOLO

Identificação da Amostra Nº 38.469

Nome do Responsável: Francisco Emerson Jr.

Nome da Propriedade:

Município: Mata Redonda

Estado: PB Tel.:

Identificação da amostra pelo produtor: Fertilidade e Física

Resultados da Análise de Solo**Química e Fertilidade**

pH	P	S - SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	M. O.
H ₂ O (1:2,5)		mg/dm ³			cmol _c /dm ³						g/kg
5,1	3,78	-	5,82	0,01	0,91	0,20	0,42	2,00	2,45	3,35	2,42

P, K, Na: Extrator Mehlich 1

H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 M, pH 7,0

Al, Ca, Mg: Extrator KCl 1 M

SB: Soma de Bases Trocáveis.

CTC: Capacidade de Troca Catiônica

M.O.: Matéria Orgânica – Walkley-Black

ANEXO II**RESULTADOS PARA O ENSAIO QUÍMICO**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Setor de Ciência do Solo
Campus II – Areia – PB Cep.: 58397-000
Tel.: (0xx83)3362-1700 Fax.: (0xx83)3362-2259



RESULTADO DA ANÁLISE DO SOLO (Salinidade)

Nº da Amostra: **38469**

Nome do Proprietário: Francisco Emerson Junior

Nome da Propriedade:

Município: Mata Redonda

Estado: PB Telefone:

Identificação da amostra pelo produtor: Salinidade

Resultados da Análise

Amostra	pH	C.E. <small>ds m⁻¹ a 25°C</small>	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	RAS <small>mmol L⁻¹</small>	PST <small>%</small>	Classificação
38469	6,17	0,13	1,05	3,75	8,75	0,51	0,08	0,00	12,50	5,00	0,20	0,00	Normal

C.E.: Condutividade Elétrica a 25° C

RAS: Relação de Adsorção de Sódio

PST: Percentagem de Sódio Trocável

ANEXO III

CURVA DE NÍVEL DA RAVINA DE MATA REDONDA

