

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

KAREM KIYOMI NAKAJIMA

**PROPOSTA DE TÉCNICAS DE CONTROLE DA EROÇÃO ÀS
MARGENS DA PR-317 ENTRE FLORESTA E PEABIRÚ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

KAREM KIYOMI NAKAJIMA

**PROPOSTA DE TÉCNICAS DE CONTROLE DA EROÇÃO ÀS
MARGENS DA PR-317 ENTRE FLORESTA E PEABIRÚ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

PROPOSTA DE TÉCNICAS DE CONTROLE DA EROÇÃO ÀS MARGENS DA PR-317 ENTRE FLORESTA E PEABIRÚ

por

KAREM KIYOMI NAKAJIMA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 17h 20 min do dia 26 de novembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^ª. Dr^ª. Paula Cristina de Souza
(UTFPR)

Prof. Dr. Helton Rogerio Mazer
(UTFPR)

Prof. Dr. Eudes José Arantes
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), em oferecer a base necessária e essencial durante os anos de Graduação e permitir esta conquista, e a toda equipe do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC.

A todo corpo docente que foram capazes de transmitir conhecimentos e experiências ao longo desta caminhada que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

Em especial, ao meu Professor orientador Dr. Eudes José Arantes pela brilhante orientação em cada etapa e por aceitar este desafio me acolhendo em todos os momentos necessários com interesse e dedicação, transmitindo-me conhecimentos e novas ideias que foram essenciais e de fundamental importância ao desenvolvimento desse trabalho.

A todos da empresa Consórcio de Logística e Obras - LOGVIA, pelo suporte e acolhimento durante o período de estágio auxiliando-me no desenvolvimento deste projeto e experiência profissional. Em especial, aos engenheiros Antônio Clarete Valente e Luan Potocki, pela atenção e por demonstrar a importância da profissão com tamanha dedicação e profissionalismo, disponibilizando-me todo suporte necessário para esta pesquisa.

Com muito carinho, à toda minha família pelo amor, incentivo e apoio incondicional, não só neste, mas em todos os momentos da minha vida.

E a todos meus amigos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para minha formação acadêmica, pelo apoio e confiança em mim depositada.

RESUMO

NAKAJIMA, Karem K. **Proposta de técnicas de controle da erosão às margens da PR-317 entre Floresta e Peabirú**, 2015, 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

O processo da erosão ocorre de forma natural desencadeadas pelos agentes como vento, água e clima. Tal processo é causado pelo escoamento superficial do solo, possibilitando o surgimento de sulcos, ravinas e voçorocas em regiões com inclinações elevadas favorecendo o deslizamento de terra. A erosão também pode ser acelerada pelo uso e ocupação humana. O caso se repete onde há existência de obras na qual não há aplicação de medidas preventivas necessárias. Desta forma, este trabalho tem o intuito de propor técnicas de contenção da erosão através da Bioengenharia de solos na rodovia da PR-317 entre Floresta e Peabirú. Como estudo de caso para este trabalho foi realizado o dimensionamento da sarjeta do canteiro central de concreto a fim de obter dados sobre o suporte do volume de água e verificar se a lamina de água ultrapassa a altura recomendada em projeto. O extravasamento do canal de concreto da sarjeta poderá favorecer o surgimento de erosões nos bordos afetando o desempenho do tráfego. Desta forma, foi realizado um comparativo do dimensionamento da sarjeta do canteiro central de grama com a sarjeta de concreto verificando a capacidade da vazão da água decorrente do escoamento superficial. Os resultados obtidos no estudo de caso demonstram que a estimativa das características hidráulica no escoamento na sarjeta projetada em concreto apresentou altura d'água próxima ao limite do dimensionamento e velocidade máxima de $3,30 \text{ m.s}^{-1}$. Esta velocidade foi cinco vezes maior que a estimada para cobertura em grama, em que foi encontrada velocidade máxima de $0,65 \text{ m.s}^{-1}$, com altura máxima de 0,28 m.

Palavras chaves: Escoamento superficial, drenagem de rodovias, método racional, equação de Manning, vazão.

ABSTRACT

NAKAJIMA, Karem K. **Techniques proposed of control of erosion the adges of the PR 317 between Floresta and Peabirú**, 2015, 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

The erosion processes occur of natural form tease by the wind, water and climate agente. Such process is caused by the shallow flow of the groud, enabling appaearence of grooves, ravines and gullies in region with high favoring mudslide. The erosion also can be acceleratedby the out of human occupation. The case repeats where there are construction in which aren't preventive measures application necessary. This way, this job have the aim to propose technique of erosion contention through of the soils Bioengineering in the highway PR-317 between Floresta and Peabirú. How case study for this job was performed the median gutter sizing of concrete end of to get data about the support of the volume of water and check if the water blade exceeds the recommended in project. The concrete channel leakage of the sizing will be able to favor the appearance of erosions in the edges affecting the traffic performance. This way, was accomplished a comparison of the performed the median gutter sizing of grass with the concrete gutter checking the capacity oh the flow rateof water due (decorente) of the superficial flow. The results in the case study show that the estimate characteristic hydraulic flow in the gutter designed in concrete introduced water height close the limit of the sizing and maximum velocity of $3,30 \text{ m.s}^{-1}$. This velocity was five times higher than estimated to the limit to grass which was found maximum velocity of $0,65 \text{ m.s}^{-1}$ with maximum height of 0,28 m.

Keywords: Superficial flow, Drainage of highways, Rational method, Equation of Manning, Flow rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Erosão laminar	15
Figura 2: Erosão tipo voçoroca.....	16
Figura 3: Erosão em sulcos.....	17
Figura 4: Erosão tipo ravinas.....	17
Figura 5: Erosão eólica.....	18
Figura 6: Tipos de raízes	22
Figura 7: Elementos de drenagem superficial.	26
Figura 8: Croqui ilustrando as condições de fluxo em um talude de voçoroca.....	28
Figura 9: (a) (b)Implantação de Gabião como obra de controle.....	28
Figura 10: Esquematisação do mapeamento da região em estudo.	30
Figura 11: Software Plúvio 2.1- Chuvas intensas no Brasil-.....	37
Figura 12: Seção transversal da área de influência.....	38
Figura 13: Sarjetas de canteiro central de concreto	39
Figura 14: Sarjeta trapezoidal de concreto	41
Figura 15: Sarjeta trapezoidal de grama	42
Figura 16: Erosão laminar	43
Figura 17: (A) (B) Erosão em sulcos em taludes de corte.....	44
Figura 18: Erosão em sulcos no talude de corte	45
Figura 19: (A) (B) Erosão em sulcos na entrada da caixa de contenção	45
Figura 20: Erosão tipo voçoroca em área rural.....	46
Figura 21: (A) (B) Erosão tipo voçoroca em área rural.....	47
Figura 22: Mapa geral da localização dos pontos com erosão	47
Figura 23: Taludes com aplicação da hidro-semeadura	49
Figura 24: (A) (B) Reaterro da área prejudicada pelo processo de erosão.....	49
Figura 25: Dissipadores de energia em degraus	50
Figura 26: (A) (B) Aplicação de placas em leivas.....	51
Figura 27: Caixa de infiltração em série.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Efeitos hidrodinâmicos da vegetação na estabilidade dos taludes ..	Erro! Indicador não definido.	23
Quadro 2: Valores do coeficiente de rugosidade de Manning.....		36
Quadro 3: Coeficiente de escoamento	Erro! Indicador não definido.	
Quadro 4: Velocidades máximas admissíveis para a água		42
Quadro 5: Quadro geral dos casos com erosão.....		48
Quadro 5: Estudo do dimensionamento da sarjeta do canteiro central de concreto		53
Quadro 6: Dimensionamento da canaleta do canteiro central em grama		53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	JUSTIFICATIVA	13
4	REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1	EROSÃO DO SOLO	14
4.1.1	TIPOS DE EROSÃO	15
4.1.2	AGENTES CAUSADORES DE EROSÃO	18
4.2	USO DA VEGETAÇÃO PARA COMBATE À EROSÃO EM TALUDES.....	20
4.2.1	VEGETAÇÃO RECOMENDADA.....	21
4.2.2	REFORÇO MECÂNICO DAS RAÍZES	21
4.2.3	ESTABILIDADE DOS TALUDES	23
4.3	PREVENÇÃO DA EROSÃO OCACIONADA POR OBRAS DE ENGENHARIA	24
4.4	CONCEITOS BÁSICOS DA BIOENGENHARIA	24
4.5	DRENAGEM SUPERFICIAL	25
4.6	MÉTODOS DE CONTROLE	27
5	MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
5.2	IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS EROSIVOS	31
5.3	APLICAÇÃO DE MÉTODOS PREVENTIVOS	32
5.4	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	32
5.4.1	DETERMINAÇÃO DA ALTURA D'ÁGUA	34
5.4.2	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (c)	35
5.4.3	INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA	36

5.4.4 ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (A)	38
6. ESTUDO DE CASO	39
6.1 VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS DO CANTEIRO CENTRAL DE CONCRETO.....	39
6.2 DADOS DO PROJETO	40
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
7.1 LEVANTAMENTO DOS LOCAIS EROSIVOS	43
7.2 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA CONTRLE DA EROSÃO	48
7.3 CALCULO DO DIMENSIONAMENTO DA SARJETA DE CONCRETO E VERIFICAÇÃO DA ALTERNATIVA EM GRAMA	51
7.3.1 DIMENSIONAMENTO DA SARJETA DO CANTEIRO CENTRAL DE GRAMA COMO ALTERNATIVA DE SUPORTE DA VAZÃO	54
8 CONCLUSÃO.....	56
9 REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente avanço da construção civil, aumentou-se o grau de impacto ambiental modificando a estrutura inicial do solo. A prática da vegetação, juntamente com recursos da tecnologia, além de ser uma medida extremamente importante contra ações erosivas em áreas urbanas e rurais, é o fator primordial para a prevenção e contenção de erosão em encostas e taludes para preservação do meio ambiente.

Durante o crescimento e a evolução das obras na área da construção civil, iniciou-se um grande desafio em manter a vegetação nativa. É grande o número de impactos ambientais ocorridos durante o processo de construção que exigem movimentação de terra, desta forma, prejudicou-se intensivamente a qualidade de absorção da água das chuvas juntamente com a vegetação que auxiliam no reforço mecânico que geram suporte aos taludes íngremes. Este problema se deve ao avanço das construções às margens de rodovias e rios, remoção da vegetação existente e avanço às áreas rurais.

Este crescente desenvolvimento, tem provocado novos pontos de alagamento, que provêm da crescente impermeabilização do solo através do aumento significativo do volume pluvial e diminuição do amortecimento das quedas de água, aumentando o volume da vazão.

Para isto, há necessidade de aplicação de uma série de medidas, entre elas, aplicação do projeto de técnicas de drenagem que possibilitam o controle de erosão através de dissipadores de energia à jusante que facilita o escoamento mais rápido e eficaz.

Neste sentido, este trabalho visa apresentar algumas medidas preventivas para estabelecer melhorias na estabilidade dos taludes e propondo técnicas corretivas. Sistemas de drenagem e medidas de conservação do solo estão sendo utilizados utilizado por empresas responsáveis pela conservação da rodovia, com objetivo de obter bom desempenho e melhoria na qualidade da absorção da água.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar técnicas de controle de erosão visando reduzir o impacto ambiental através da vegetação adequada e o uso da Bioengenharia dos solos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Visando alcançar os objetivos gerais são propostos os seguintes objetivos específicos.

- Realizar levantamento fotográfico e identificar tipos de erosão às margens da rodovia da PR-317 entre Floresta e Peabiru;
- Identificar fatores causadores da erosão;
- Propor e identificar técnicas para o controle da erosão;
- Realizar um estudo de caso do dimensionamento da sarjeta do canteiro central de concreto e verificar a alternativa de sarjeta em grama.

3 JUSTIFICATIVA

Devido ao crescimento de obras de engenharia rodoviária, há uma mudança significativa na topografia do terreno, da vegetação e, conseqüentemente, redução da permeabilidade do solo, deste modo, faz-se necessário a busca de novas fontes de estudo, visando técnicas de contenção da erosão.

A construção civil, vista como a principal agente modificadora do meio ambiente, tem dever crucial de combater o impacto ambiental utilizando métodos corretivos após o término das obras e expandir técnicas de contenção para estabilização de taludes favorecendo o controle da erosão.

Também, almeja-se propor métodos de sistemas de drenagem de rodovias para aumentar a capacidade hidráulica direcionando a água ao ponto mais distante possível e a implantação de dissipadores de energia que reduzem os impactos das águas pluviais garantindo a funcionalidade do pavimento.

Como métodos preventivos, a bioengenharia tem sido aplicada com mais intensidade principalmente nas margens das rodovias em taludes e encostas, a fim de obter-se melhoria contínua nos processos de drenagem do escoamento superficial da água assegurando que não haja movimentação do solo.

Devido às ações antrópicas com o uso inadequado do solo, pretende-se conscientizar as empresas responsáveis pela manutenção e restauração do pavimento, a seguir as técnicas construtivas de acordo com as normas previstas em lei, para que haja correta utilização do solo e prevenções corretivas que evitem ou minimizem as alterações ambientais, devido às obras de engenharia.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 EROSÃO DO SOLO

A erosão é um processo que pode ocorrer tanto nas camadas superficiais como nas mais profundas. Caracteriza-se na desagregação, decomposição e transporte de partículas de solo ou rochas (GALETI, 1979).

O processo erosivo é uma ação natural do meio ambiente ou antropológica, gerada de forma gradativa, ocasionando mudanças no relevo e na vegetação. (SILVA, 2011). A erosão do solo é um processo praticamente impossível de ser controlado e facilmente acelerado pelo homem (SILVA, 2001 apud DREGNE, 1982).

Este fenômeno é apresentado por um processo de desgaste, transporte e deposição dos solos e das partículas de rochas, na maioria dos casos é a perda da camada superficial do solo causada pelo efeito das ações erosivas, tais como, a água, o vento e ações humanas. O sistema de desagregação das rochas é ocasionado pela ação natural pelo intemperismo (conjunto de processos químicos, físicos e biológicos que provocam o desgaste dos solos e rochas), e pelo transporte através do efeito da gravidade e superfície do terreno. Os sedimentos consistem nos depósitos das partículas erosivas.

A fertilidade do solo é reduzida através da degradação ocasionada pela erosão que o torna mais denso e fino, impossibilitando que as raízes se penetrem com mais facilidade impedindo o escoamento superficial da água (ARAÚJO et al., 2012).

Segundo este mesmo autor, as inconformidades do terreno são fatores gerados com maior intensidade sendo comum o surgimento da erosão. Por meio do escoamento superficial da água onde não há uma canalização adequada, os materiais do solo são removidos e desta forma ocasionam a formação de ravinas e voçorocas que no processo contínuo, também podem causar desmoronamento das margens de rios e movimentação de terra. A ação da força do vento pode criar grandes buracos e dunas.

Os dados climáticos, especialmente a intensidade das chuvas, as encostas, cobertura vegetal e sua natureza também são fatores no risco de erosão.

4.1.1 TIPOS DE EROSÃO

A canalização da água sobre a superfície do solo pode evoluir e gerar pequenas ravinas. Porém, elas podem aumentar em grandes canais e profundidades maiores, que ao atingirem o lençol freático e geram as voçorocas (ARAÚJO et al., 2012).

Nos rios, onde a velocidade de escoamento e a vazão da água ocorrem em grandes escalas, é comum o surgimento das erosões. As inundações contínuas somada com outros processos de degradação também prejudicam o curso de água (ARAÚJO et al., 2012).

Outros agentes responsáveis causadores da erosão pela água são classificados em: erosão laminar, voçorocas, sulcos e ravinas (GALETI, 1979).

Erosão laminar é provocada pelo carregamento do material superficial desgastando o solo (GALETI, 1979) conforme figura 1.



Figura 1: Erosão laminar
Fonte: GALAS, 2006 apud EMBRAPA, 2003.

As voçorocas ocorrem pela a somatória do conjunto de vários tipos de erosão, que atingem o lençol freático por meio da infiltração da água no solo, obstruídas por uma faixa de material impermeável, dando passagem ao escoamento da água sobre a superfície se agravando nas encostas. Este tipo de erosão ocasiona desbarrancamento e assoreamento, provocando grandes sulcos conforme figura 2.



Figura 2: Erosão tipo voçoroca
Fonte: BRASIL ESCOLA, 2015

Na erosão em sulcos, como pode ser visualizado pela figura 3, o material é transportado pelo escoamento e desgaste do solo formando “cortes” aumentando no decorrer do tempo (GALETI, 1979).



Figura 3: Erosão em sulcos
Fonte: BRASIL ESCOLA, 2015

As ravinas ocorrem quando a água se escoia pela declividade do terreno abrindo cavidades maiores ao longo do tempo, conforme figura 4 (GALETI, 1979).



Figura 4: Erosão tipo ravinas
Fonte: BRASIL ESCOLA, 2015.

Outro tipo de fator erosivo é a ação eólica, que desintegram as partículas do solo através da força do vento gerada sobre a superfície esculpindo as rochas (Figura 5).



Figura 5: Erosão eólica
Fonte: BRASIL ESCOLA, 2015

4.1.2 AGENTES CAUSADORES DE EROSÃO

Para Bertoni e Lombardi Neto (1995), o solo é um recurso primordial e essencial para a sobrevivência dos seres vivos, é nele que se sustenta a cobertura vegetal capaz de se tornar grande fonte de alimentação e energia. A formação do solo está embasada pelo processo de reações químicas, capaz de modificar a estrutura das rochas e dos minerais presentes na natureza, que promovem diretamente a modificação das rochas.

O equilíbrio natural depende do processo dinâmico entre a formação do solo e a erosão. Porém, quando há mudança brusca no solo por consequências do homem, há um desequilíbrio descontrolado, tornando-se mais lento o processo de regeneração da vegetação que pode desenvolver a perda das camadas do solo e modificar suas propriedades. 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 tipo do vegetação de cobertura(MARQUES, 1995).

Alguns processos erosivos são definidos por ação da água da chuva, que desintegram as partículas do solo e provocam o seu transporte. Os fatores da erosão hídrica causadores do

desprendimento das partículas do solo são os seguintes: impacto das gotas de chuva, agentes químicos, atuação das forças capilares ou de sucção e atuação de forças cisalhantes oriundas do fluxo e atuação das ondas (CARVALHO et al., 2001).

Para Bertoni e Lombardi Neto (1995), chuva é definida como um dos fatores climáticos mais importantes responsáveis pelo processo da erosão. A intensidade das chuvas é destacada como um fator principal do agente causador da erosão capaz de modificar o suporte do solo alterando sua estrutura.

Outro fator agravante que auxilia no processo erosivo, é a infiltração, capaz de movimentar as partículas de água no interior da superfície do solo. Deste modo, observa-se a grande importância da vegetação que, ao serem removidas, há uma queda considerável na taxa de infiltração possibilitando o processo da erosão. Já na superfície com cobertura vegetal existente, os solos possuem maior taxa de infiltração aumentando sua permeabilidade reduzindo casos de erosão (GARCIA, 2006).

A cobertura vegetal comporta-se como uma defesa natural contra a ação da erosão do terreno. Para Bertoni e Lombardi Neto (1995), a presença da cobertura vegetal permite a proteção direta contra o impacto das gotas das chuvas sobre o solo, a dispersão da água pela presença das raízes das plantas, a maior qualidade do solo pela maior retenção de matéria orgânica, o aumentando a taxa de infiltração da água e a diminuição do assoreamento através do atrito.

A matéria orgânica permite que as partículas do solo fiquem mais coesas, impedindo a desagregação do solo, capaz de reter a água em grandes proporções favorecendo a conservação do solo. (SALOMÃO e IWASA, 1995).

A ação antrópica aplicada na área rural também é vista como fator do processo erosivo. Sua ação se manifesta em diversas formas, como a queima, retirada de cultura que ressalta na diminuição da qualidade do solo pela retirada de matéria orgânica, utilização de máquinas e equipamentos que compactam o solo e levam à impermeabilidade (GARCIA, 2006).

É possível citar outros agentes causadores que colaboram com a erosão, como: ação inadequada na conservação do solo, construção de estradas mal planejadas, recursos hídricos sem estrutura necessária para sua proteção, baixa produtividade, facilidade de perda do solo, entre outros (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1995).

4.2 USO DA VEGETAÇÃO PARA COMBATE À EROSÃO EM TALUDES

O controle dos processos erosivos pela aplicação de vegetação é uma prática corriqueira na construção civil. A vegetação atua como reforço para conter o solo a fim de proteger as obras. Esta contenção pode ser natural ou artificial. Esta técnica aplicada é chamada de Bioengenharia dos solos (KRUEDENER, 1951 apud COELHO, 2005).

Nos taludes no qual não há proteção da vegetação, o solo fica exposto às ações do intemperismo, principalmente pela ação das chuvas que escoam ao longo dos taludes, carregando partículas do solo, possibilitando o surgimento dos sulcos, podendo evoluir às ravinas e às voçorocas. Toda essa movimentação de terra, nos dias em que há volume de chuvas intensas, compromete a instabilidade dos taludes (NEVES et al., 2006).

A vegetação aplicada à estabilidade de talude e encosta ganha importância quando sua presença é limitada, a partir daí, desencadeia o processo de erosão (COELHO, 2005). Assim como o crescimento desenfreado das cidades, uso incorreto do solo, a construção de estradas sem que haja um estudo prévio e controlado, contribuem para o processo de erosão (SALOMÃO e IWASA, 1995).

A proteção ou ação estabilizadora é beneficiada pelo tipo de vegetação adequada no processo de deterioração das encostas. Os benefícios da vegetação se iniciam desde o reforço das raízes à sua contenção mecânica, resultando na retirada da umidade das raízes do solo (ARAÚJO et al., 2012).

Na maioria das vezes, o uso da vegetação beneficia a estabilidade dos taludes e encostas, porém, pode afetar a segurança ocasionando impactos indesejáveis devido à escolha inadequada. A seleção correta deve ser aplicada de forma minuciosa, a fim de proporcionar proteção contra os agentes erosivos da superfície através das raízes mais profundas para prevenir futuras rupturas. Desta forma, a bioengenharia do solo tem papel importante a ser aplicada como estratégias a fim de minimizar seus impactos (ARAÚJO et al., 2012).

4.2.1 VEGETAÇÃO RECOMENDADA

Recuperar a vegetação é a forma mais indicada para preservação dos taludes e evitar o aparecimento de voçorocas, deslizamentos de encostas nas marginais de estradas e assoreamentos dos rios (SANTANA FILHO et al., 1997).

Para (ARAÚJO et al 2012), “sob condições normais, uma cobertura densa de gramíneas ou vegetação herbácea fornece a melhor proteção contra a erosão pluvial e eólica superficial”. A forma geral é mais usual utilizar uma mistura de sementes que fornece gramíneas que germinam com maior velocidade, de maneira a fornecer proteção mais rapidamente, ou, leguminosas de crescimento mais lento, porém capaz de fornecer proteção duradoura, que se compõe de vegetação de espécies nativas. A mistura mais eficaz depende das condições climáticas e características do solo.

4.2.2 REFORÇO MECÂNICO DAS RAÍZES

Estudos realizados por Ziemer e Swanston (1977), revelam que a retirada das raízes gera um aumento da frequência dos deslizamentos nos taludes. A influência do reforço das raízes no terreno, é destacada como objeto principal de estudo na estabilidade solos nas marginais de rios e estradas desde sua existência (PORTOCARRERO et al., 2006).

A ação mecânica como a sobrecarga, por exemplo, dependendo das condições do solo e é vista tanto como positivo como negativo. A redução da umidade possui duas características, ela tanto pode diminuir a poropressão nas encostas, como agravar o surgimento de rachaduras aumentando a taxa de infiltração. São listados os principais efeitos benéficos da vegetação (ARAÚJO et al., 2012):

- Reforço do sistema radicular;
- Redução da umidade do solo;
- Suporte e arqueamento;
- Sobrecarga.

O reforço e a declividade do solo, juntamente com as raízes da vegetação arbórea, também é o elemento importante que favorece a fixação das encostas (ARAÚJO et al., 2012).

Desta forma, a evapotranspiração realizada pela vegetação é capaz de minimizar a poropressão no interior dos solos em encostas favorecendo sua estabilidade (BRENNER, 1973).

É possível garantir a estabilidade dos solos propondo raízes que promovam força ao cisalhamento no solo. Na figura 6, são demonstradas as raízes pivotantes e fasciculadas. As pivotantes, possuem raízes com maior comprimento vertical do que as demais capaz de originar demais raízes a partir da principal. Já as raízes fasciculadas, possuem ramificações finas que se original em um único ponto.

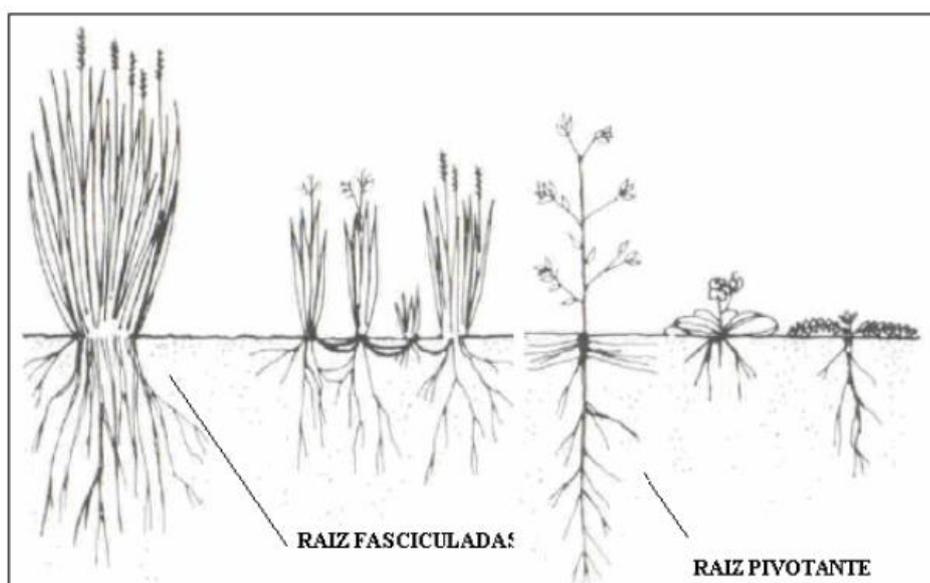


Figura 6: Tipos de raízes
Fonte: GALAS, 2006

O problema mais crítico visto por (ARAÚJO et al, 2012), é quando uma árvore se inclina diminuindo a instabilidade da seção transversal acarretando no deslizamento do solo.

A seleção apropriada das plantas pode reduzir o efeito da sobrecarga e do vento através da poda constante. O plantio de árvores rasteiras aumenta a biomassa e diminui o problema associado à sobrecarga e o vento (ARAÚJO et al, 2012).

4.2.3 ESTABILIDADE DOS TALUDES

Através de estudos realizados, são visíveis os benefícios utilizados acerca da vegetação, aplicados em diversos recursos como a mineração, rodovias, barragens, ferrovias, às margens de corpos d'água, na qual há existência de cortes ou aterros caracterizando perfis inclinados (COELHO, 2005). Nos trabalhos de Greenway (1997) e Coppin Richards (1990), são demonstrados os efeitos fundamentais do uso da vegetação sobre os taludes, demonstrados na tabela 2 por Coelho (2005).

Neste quadro 1, são demonstrados os pontos positivos e negativos, através dos sinais de mais e de menos, de acordo com a atuação de cada camada do solo (GALAS, 2006).

Natureza do efeito	Influência	Mecanismo hidrogeológico	Superficial	Subsuperficial	Profunda
Equilíbrio de forças da massa do solo	Reforçamento radicular	Raízes reforçam o solo, aumentando sua resistência ao cisalhamento	+	+	
	Atirantamento radicular	Raízes de árvores podem ancorar em estratos firmes, proporcionando suporte a estratos superiores de menor coesão		+	+
	Ancoramento radicular			+	+
	Sobrecarga	O peso de árvores sobrecarrega o talude, aumentando os componentes da força normal e descensional		-	
	Tombamentos	A vegetação exposta ao vento transmite forças dinâmicas para o talude		-	
	Recobrimento superficial	A folhagem e a biomassa decaída protegem o solo e fornecem substâncias agregantes	+	+	
	Retenção	Partículas minerais do solo são soldadas pelas raízes superficiais	+		
Alterações do regime hídrico do solo	Interceptação	A parte aérea intercepta e evapora a precipitação, reduzindo a quantidade de água infiltrada	+	+	
	Infiltração	Raízes e ramos aumentam a rugosidade superficial e a permeabilidade do solo, aumentando a infiltração	"+/-"	"+/-"	"+/-"
	Evapotranspiração	A sucção radicular retira umidade, reduzindo a poropressão de água no solo. Em situações extremas, pode gerar trincamentos, gerando altos índices de infiltração	"+/-"	"+/-"	"+/-"
Microclima solo-atmosfera	Proteção	Diminuição da força atrativa de ventos	+		
	Isolamento térmico do solo	Proteção contra trincamentos por calor ou frio	+	+	

Quadro 1: Efeitos hidromecânicos da vegetação na estabilidade dos taludes

Fonte: COELHO, 2005

4.3 PREVENÇÃO DA EROSÃO OCACIONADA POR OBRAS DE ENGENHARIA

Na execução de obras de engenharia, é necessária à adoção de medidas que evitem o surgimento da erosão, tais obras como aeroportos, hidrovias e rodovias (CARVALHO et al., 2001).

Segundo o mesmo autor:

“Seria possível aqui apresentar um rol de problemas erosivos ocasionados pela implantação de obras de engenharia começando paradoxalmente por aquelas que buscam a melhoria das condições ambientais e das condições sanitárias, tais como tratamento de esgoto e de água potável. No entanto, quanto ao surgimento de voçorocas talvez as obras de engenharia que causam maiores danos, são as construções rodoviárias. Nestas obras, as voçorocas geralmente surgem a partir dos locais explorados como jazida, nos pontos de lançamento das águas provenientes dos sistemas de drenagem e em locais onde o fluxo torna-se excessivamente concentrado devido à própria implantação da rodovia.

É necessária a adoção de medidas preventivas e corretivas nas obras da engenharia que possam reduzir os custos da manutenção e minimizar os impactos erosivos e assim manter a preservação do meio ambiente.

A fim de conter o processo erosivo, é necessário definir a implantação de práticas de prevenção propostas previamente um planejamento urbanístico, a fim de que contemple de forma eficiente o sistema de drenagem como também, a correta instalação de obras para os processos erosivos. A lei do uso dos solos orienta de forma correta a ocupação e o manuseamento de máquinas e equipamentos a fim de evitar o desencadeamento da erosão.

4.4 CONCEITOS BÁSICOS DA BIOENGENHARIA

O projeto prévio do local é importante para avaliar as condições da região, abrangendo os dados históricos e sua evolução, conhecendo-se a cultura e sua forma de manejo. É possível obter um projeto bem sucedido através do conhecimento do local e a forma como a ação antropológica ou natural modifica a paisagem atual. A Bioengenharia atuante em áreas florestais necessita de todo conhecimento histórico geológico do local, condições climáticas, tipos de espécies da vegetação, fatores da erosão e forma de reposição das espécies vegetativas (ARAUJO et al., 2012).

Adquirindo ideias sobre a topografia local, é necessário obter o levantamento dos locais suscetíveis à erosão. Um local começa a se recuperar de ações erosivas logo após a interferência de ações do homem, ou até mesmo de forma natural do ambiente. Mesmo que uma árvore sofra com os processos erosivos depositadas em encostas, inicia-se um processo de reposição das camadas prejudicadas com vegetações herbáceas fornecendo a cobertura necessária e reestabelece microrganismos necessários para o solo. O objetivo principal da Bioengenharia é examinar e registrar esta ação com o intuito de estimular a melhoria do local impactado (ARAUJO et al., 2012).

4.5 DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial do pavimento de uma rodovia tem como objetivo canalizar a água em local adequado que ofereça segurança aos usuários.

Para manter a eficiência da drenagem da rodovia, há necessidade de utilizar determinados dispositivos, tais como:

- Valetas de proteção de corte;
- Valetas de proteção de aterros;
- Descidas d'água;
- Saídas de água;
- Sarjetas de corte;
- Sarjetas de aterro;
- Caixas coletoras;
- Valetas do canteiro central.

Os dissipadores de energia são projetados em forma de valetas de proteção de corte e de valetas de proteção de aterro. A primeira tem papel de impedir a água de atingir o talude, servindo de proteção do aterro paralelas às cristas, revestidas de concreto ou biomanta. Já as valetas de proteção de aterro têm por finalidade impedir que a água atinja a base do talude de aterro, como mostra o esquema da figura 7 (MORALES, 2003).

Os canais são as descidas d'água, podendo eles ser abertos ou fechados em forma de degraus, geralmente fabricadas em concreto. Essas têm função de captar a água das valetas e conduzi-las para bacia de amortecimento. As saídas d'água tem a função de conduzir a água através das sarjetas de aterro a conduzi-la nas descidas d'água (MORALES, 2003).

Para Contijo (1990), “há dois tipos de sarjetas, as de pé de corte e as de crista de aterro. As sarjetas de corte coletam a água do talude de corte ou plataforma, para conduzir para a valeta de proteção de corte ou para caixas coletoras”. As águas advindas da precipitação da chuva são conduzidas pelas sarjetas de crista de aterro, a fim de protegê-la contra a erosão na borda do talude de aterro, como mostra o esquema da figura 7.

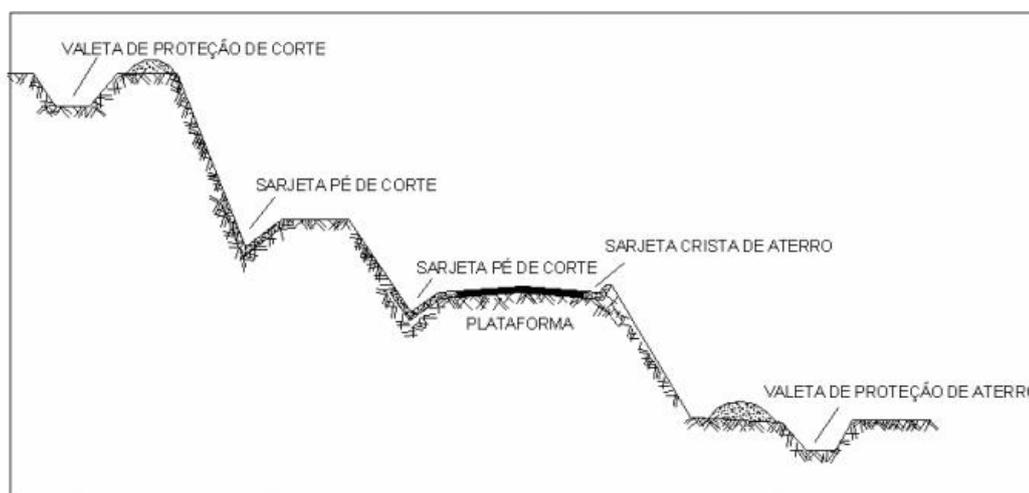


Figura 7: Elementos de drenagem superficial.
Fonte: MORALES, 2003.

As caixas coletoras têm como objetivo coletar a água das sarjetas, das águas advindas a montantes de bueiros e das descidas d'água de corte conduzindo-as para locais apropriados. Desta forma, permite a manutenção necessária a fim de manter sua funcionalidade e possíveis mudanças (DNIT, 2006).

A valeta do canteiro central é utilizada quando há existência de pista dupla para drenar a água. Tem como objetivo captar a água e direcioná-las às caixas coletoras de bueiro de greide (DNIT, 2006).

4.6 MÉTODOS DE CONTROLE

O surgimento da erosão em taludes e encostas resulta da falta de adesão de medidas preventivas e corretivas. É importante ressaltar que o controle da erosão é um dos princípios básicos do que simplesmente prevenir (CARVALHO et al., 2001).

O controle da erosão, como voçorocas, vem sendo um estudo de grande relevância na área geotécnica. O conjunto de ideias e pensamentos multidisciplinares apresenta ser um dos caminhos mais apropriado para a prevenção e controle correto. Para a recomposição do solo degradado, é necessária a avaliação de um agrônomo ou engenheiro florestal que possibilite o recobrimento de uma vegetação adequada capaz de recuperar as espécies adequadas, fornecendo ao solo, os nutrientes necessários para sua recomposição, como também, buscar impacto visual agradável. Outro aspecto ligado ao estudo da geotecnia é o fator de demanda de água que cada espécie oferece e suas condições de fluxo nos taludes.

Na figura 8, representa a ilustração do croqui, representando o problema do surgimento de voçoroca que determina o rebaixamento do lençol freático, na qual muda as condições de fluxo, aumentando nos períodos de seca, comprometendo o crescimento da revegetação (CARVALHO et al., 2001).

Na geotecnia, as principais obras que controlam e recuperam as áreas atingidas por voçorocas são (CARVALHO et al., 2001).

- Condicionamento do fluxo da água através inserção de sistemas de drenagem;
- Retaludamento das obras;
- Recobrimento da vegetação;
- Obras de contenção de taludes;
- Reaterro;
- Barramento de encostas de taludes.

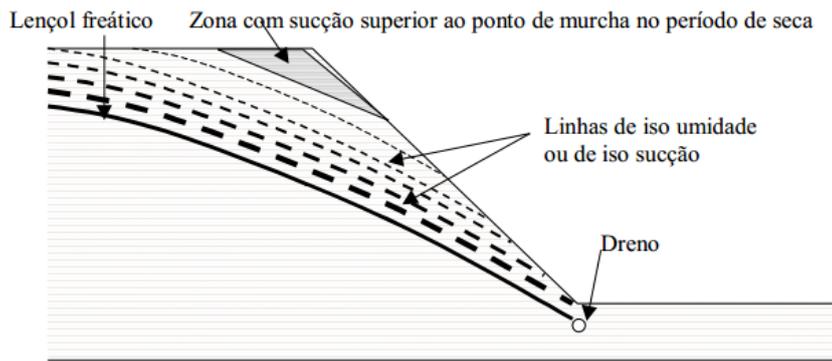


Figura 8: Croqui ilustrando as condições de fluxo em um talude de voçoroca.
Fonte: Carvalho at al., 2001.

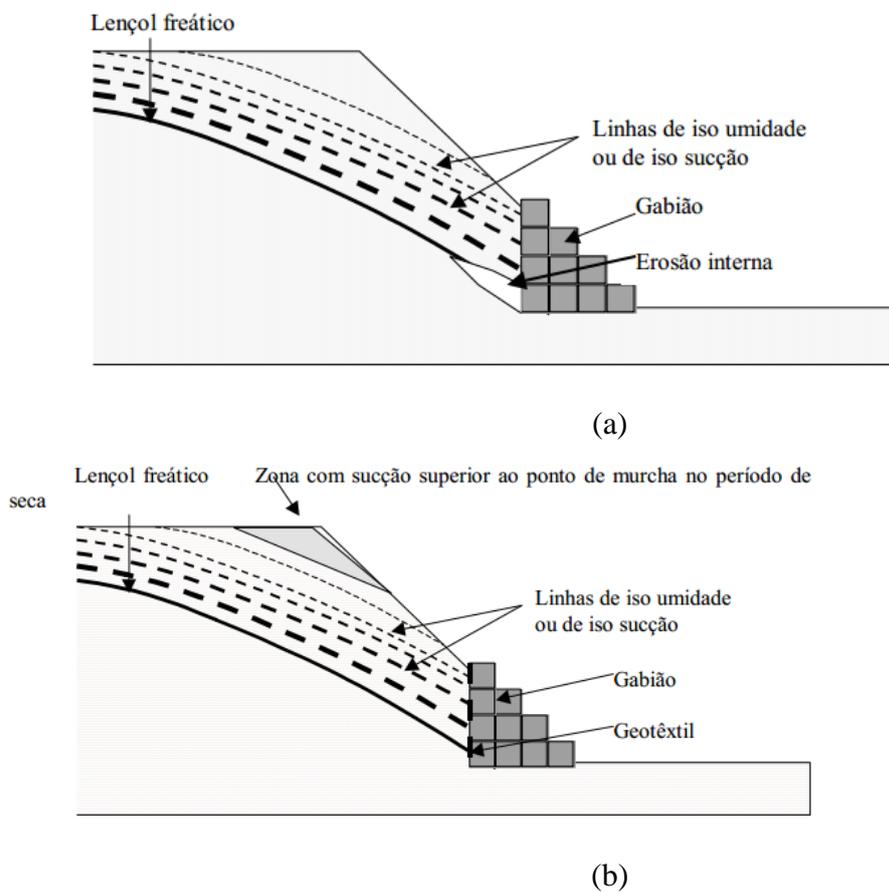


Figura 9: (a) (b) Implantação de Gabião como obra de controle
Fonte: CARVALHO at al., 2001.

Estas obras apresentadas, em geral, necessitam de estudo exclusivo. Em certos casos, a construção de muros de gabião, através da estabilização de taludes, pode ter sua funcionalidade temporária, podendo gerar erosão interna (figura 3a) ou esqueletização do

maciço, ocasionando a instabilidade do talude e determinando a erosão. Para isso, é necessária a interposição da manta geotêxtil, servindo como filtro.

Alguns procedimentos importantes para o controle da erosão podem ser estabelecidos através da implantação de vários fatores, como:

- Executar banquetas de drenagem e descidas d'água a partir de 1,5m;
- Executar dissipadores de energia nos pontos onde há lançamento de descidas d'água;
- Executar bacias de contenção após os dissipadores de energia e nos talwegues;
- Executar a implantação de capim umidícula nas bordas das bacias de contenção ao invés de capim braquiária;
- Executar a implantação das curvas de nível seguindo a declividade do terreno;
- Implantação da proteção vegetal preservando áreas expostas propícias à erosão como taludes, encostas, sarjetas, descidas d'água etc, dando-lhes resistência à erosão.
- Implantação de gabiões onde há riscos de movimentação de terra;

As técnicas de controle de erosão sugeridas com a utilização da bioengenharia por meio da cobertura vegetal podem-se destacar as seguintes:

- Leivas ou placas: processo manual de aplicação da facilidade de obtenção de grama apropriada. Deverão apresentar tamanho uniforme plantada lado a lado sem espaço entre uma placa e outra;
- Mudas: processo de aplicação manual onde apresenta terrenos planos;
- Hidrosseadura: por sua vez, deverá obter um preparo previsto de uma mistura contendo adubo, mulch, adesivo e sementes. O misto de sementes deverá ser composto de espécies entre gramíneas e leguminosas;
- Mudas: as mudas deverão apresentar bom aspecto e garantir a fixação da raiz.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

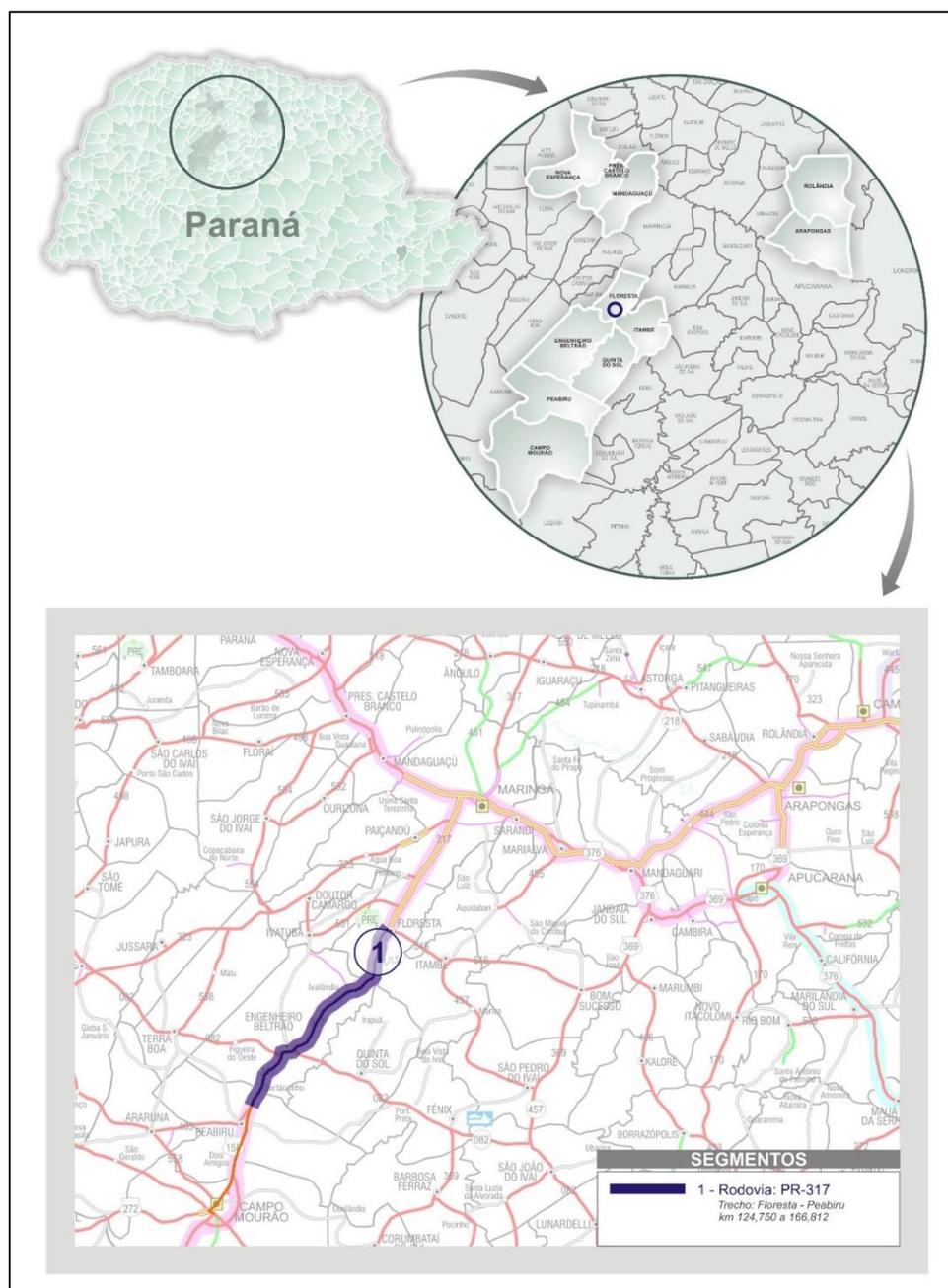


Figura 10: Esquematização do mapeamento da região em estudo.
Fonte: Empresa (A)

Os estudos do controle da erosão foram realizados considerando as características do solo da PR-317 nas regiões entre Floresta e Peabirú, situadas no Estado do Paraná (Figura 10).

O projeto em estudo localiza-se no Terceiro Planalto do Estado do Paraná, na transição entre o Planalto de Apucarana e o Planalto de Campo Mourão (CARDOSO, 2013).

Ao longo de todo o trecho, o solo predominante é o latossolo vermelho, de textura argilosa, profundo, muito fértil, capaz de suportar grande atividade agrícola. Os solos desta região foram desenvolvidos a partir da meteorização de rochas do derrame do basalto. O solo quando em estado natural, não apresentam grandes perigos quando relacionados a erosão, no entanto, quando há atividade de obras intensas, os locais se tornam mais suscetíveis ao fenômeno erosivo, sendo necessário realizar uma cobertura vegetal adequada e implantação de dispositivos de drenagem após os serviços de terraplenagem (EMPRESA (A)).

A região em estudo situa-se entre as isotermas anuais de 19°C à 20°C e está localizada no paralelo 24°S sendo que, este paralelo desempenha papel delimitador climático no Estado. Nas latitudes inferiores encontram-se as maiores temperaturas, enquanto temperaturas mais amenas situam-se além dessa latitude. Esta “separação” climática proporciona na região a maior variação térmica do Estado (PARANÁ, 1987).

É possível a ocorrência de pequenas aluviões devido à proximidade como Rio Ivaí dispostos em planícies ao longo das drenagens e em pequenas depressões alveolares fechadas. O solo possui constituição variada com materiais homogêneos areno-argilosa, com intercalações de bancos arenosos (EMPRESA (A)).

5.2 IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS EROSIVOS

O método da pesquisa foi fundamentado em um estudo de caso realizado nas áreas da PR – 317 onde será realizado o levantamento de dados com visitas em campo e registrar áreas suscetíveis à erosão, caracterizando sua forma e tipo de agente causador e apresentar métodos de contenção da erosão.

Foi realizada uma quantificação quanto aos pontos identificados e cada tipo de agentes causadores como: declividades, concentração de escoamento superficial, compactação do solo, existência de ravinas, voçorocas e deslizamento de terras.

5.3 APLICAÇÃO DE MÉTODOS PREVENTIVOS

Um dos fatores a ser considerado para conter a erosão é estabelecer critérios para o uso, considerando capacidade do solo em áreas rurais e aplicar técnicas para recuperar áreas afetadas de forma a conter a erosão em áreas urbanas. A aplicação de métodos adequados de movimentação de terra reduzindo os efeitos de erosão está presente na legislação referente ao uso e ocupação do solo (COELHO, 2001).

A funcionalidade do pavimento pode ser afetada pelo desequilíbrio dos cursos d'água que escoam sobre os taludes e encostas, provocando elevados índices de erosão. Um dos métodos de prevenção é conduzir a água por meio de condutores de dissipação de energia a fim de reduzir a velocidade de escoamento e encaminhá-la para o ponto mais distante possível (COELHO, 2005).

Para garantir a estabilização de taludes, a construção de muro de gabiões é uma alternativa para conter o solo e impedir que haja movimentação de terra. Porém, para que haja funcionalidade completa, é necessário que seja aplicada a manta geotêxtil, possibilitando a infiltração da água e garantir que ela escoe com facilidade.

Outra alternativa, a fim de garantir sua estabilização, é a utilização da vegetação adequada, na qual oferece o reforço das raízes e proteção mecânica, beneficiando a estabilidade dos taludes e encostas (ARAÚJO et al., 2012).

5.4 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

O manual do DNIT (2006) apresenta o dimensionamento hidráulico da sarjeta do canteiro central para determinar a seção transversal e atender as especificações de projeto.

É determinado o comprimento crítico, ou a distância máxima, comparando a descarga do afluente e a capacidade de vazão da sarjeta, a fim de impedir a ultrapassagem da água.

Para o dimensionamento da sarjeta é utilizado alguns elementos cruciais, como:

- a geometria da rodovia;
- área de abrangência da chuva;
- coeficiente de escoamento superficial do revestimento;
- características hidrológicas para o dimensionamento de descarga do

projeto.

Para o cálculo da descarga do projeto, encontra-se o comprimento por metro linear da rodovia por meio do método racional (DNIT, 2006).

Obtém-se através da equação (1)

$$Q = \frac{c \cdot i \cdot A}{36 \cdot 10^4}$$

Onde:

Q = descarga por metro linear da rodovia (m³/s/m);

c = coeficiente médio de escoamento superficial (adimensional);

i = Intensidade de precipitação cm/h);

A = área de contribuição por metro linear da sarjeta (m²/m).

Em condições normais, os canais possuem movimento uniforme permitindo que a velocidade média da água permaneça constante ao longo do canal.

Para o cálculo da velocidade média da água, utiliza-se a fórmula de Manning expressa da seguinte forma (PORTO, 2004).

Equação (2)

$$v = \frac{Rh^{2/3} \sqrt{I_0}}{n}$$

Sendo:

Rh: raio hidráulico (A/P);

I₀: declividade do fundo do canal, m.m⁻¹;

n: coeficiente de rugosidade de Manning.

O coeficiente C, segundo Porto (2004), através da fórmula de Manning pode ser expressa pela seguinte forma:

Equação (3)

$$C = \frac{Rh^{1/6}}{n}$$

Em que n é expressa pelo coeficiente de rugosidade da superfície representada pelo quadro 2.

5.4.1 DETERMINAÇÃO DA ALTURA D'ÁGUA

As dificuldades em projetar corretamente a drenagem de rodovias estão em determinar as cotas do nível da água para uma determinada seção do canal. Desta forma, a cota é importante para evitar o afogamento das galerias que ligam ao canal.

Com o auxílio de planilha eletrônica, foi possível determinar a altura normal d'água, y_0 , por meio da equação de Manning de modo a demonstrar a relação, y_0/b , em função de demais variáveis.

A fórmula de Manning para uma seção trapezoidal segundo Porto (2004) é dada por:

Equação (4)

$$\frac{nQ}{\sqrt{I_0}} = (m + Z)y_0^2 \left[\frac{(m + Z)y_0}{m + 2\sqrt{1 + Z^2}} \right]^{2/3}$$

Que desenvolvida de forma adimensional fica:

Equação (5)

$$K_2 = \frac{nQ}{b^{8/3}\sqrt{I_0}} = \left(\frac{I_0}{b}\right)^{5/3} \frac{\left(1 + \left(\frac{y_0}{b}\right)\right) Z^{5/3}}{\left(1 + 2\left(\frac{y_0}{b}\right)\sqrt{1 + Z}\right)^{2/3}}$$

Onde:

y_0 =altura da seção da sarjeta;

Z=inclinação do talude;

b=largura da seção da sarjeta.

Através dos valores de, y_0/b , é possível montar uma tabela para cada inclinação do talude Z, com valores correspondentes de K_2 obtido em Porto (2004).

Natureza das Paredes	Condições			
	Muito Boas	Boas	Regulares	Más
Tubos de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Idem, com revestimento de alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Tubos de bronze ou de vidro	0,09	0,01	0,011	0,013
Condutos de barro vitrificado, de esgotos	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de barro, de drenagem	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento, Condutos de esgoto, de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Superfícies de cimento alisado	0,01	0,011	0,012	0,013
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Condutos de aduelas de madeira	0,01	0,011	0,012	0,013
Calhas de prancha de madeira aplainada	0,01	0,012*	0,013	0,014
Idem, não aplainada	0,011	0,013*	0,014	0,015
Idem, com pranchões	0,012	0,015*	0,016	-
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Alvenaria de pedra argamassa	0,017	0,02	0,025	0,03
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Idem, corrugadas	0,023	0,025	0,028	0,03
Canais de terra, retilíneos e uniformes	0,017	0,02	0,023	0,025
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes	0,025	0,03	0,033*	0,035
Canais abertos em rocha, irregulares ou de paredes de pedra irregulares e mal arrumadas	0,035	0,04	0,045	-
Canais dragados	0,025	0,028	0,03	0,033
Canais curvilíneos e lamosos	0,023	0,025*	0,028	0,03
Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes	0,025	0,03	0,035*	0,04
Canais com fundo de terra e taludes empedrados	0,028	0,03	0,033	0,035
*Valores aconselhados para projeto				

Quadro 2: Valores do coeficiente de rugosidade de Manning

Fonte: Porto, 2004.

5.4.2 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (c)

Para o coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de *runoff*, possui valores tabelados de acordo com o tipo de revestimento utilizado (DNIT, 2006)

No quadro 3 são apresentados valores típicos de coeficientes de escoamento superficial.

Características da Superfície	Coefficiente de escoamento
Revestimento de concreto de cimento portland	0,70 - 0,90
Revestimento betuminoso	0,80 - 0,95
Revestimento primário	0,40 - 0,60
Solos sem revetimento com baixa permeabilidade	0,40 - 0,65
Solos sem revestimento com permeabilidade moderada	0,10 - 0,30
Taludes gramados	0,50 - 0,70
Prados e capinas	0,10 - 0,40
Áreas florestais	0,10 - 0,25
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15 - 0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10 - 0,30

Quadro 3: Coeficiente de escoamento
Fonte: Porto, 2004

Admitindo que a área de contribuição seja formada por superfícies de diferentes coeficientes de escoamento, adota-se a média ponderada.

Onde:

Equação (6)

$$C_{med} = \frac{C1.L1 + C2.L2 + C3.L3 + Cn.Ln}{LT}$$

5.4.3 INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA

A determinação pluviométrica das chuvas tem fundamental importância para a solução de problemas decorrentes da engenharia e fatores ambientais, sendo essencial para o dimensionamento dos sistemas de drenagem de rodovias e áreas urbanas. Para obter os valores da intensidade de precipitação, é utilizado tempo de duração de 5 minutos e tempo de recorrência de 10 anos.

Na equação a seguir, é possível determinar a intensidade pluviométrica da região de acordo com a equação a seguir (ARAUJO et al., 1998).

Equação (7)

$$i = \frac{k \cdot T^a}{(t + b)^c}$$

Em que:

i =intensidade pluviométrica (mm/h);

T =período de retorno (anos);

t =duração da precipitação (min);

K , a , b , c =parâmetros à localidade.

Os parâmetros relativos às localidades foram obtidos por meio do Software Plúvio 2.1 conforme na figura 11. O desenvolvimento do programa foi realizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia da Universidade de Viçosa em Minas Gerais para possibilitar a intensidade de chuvas em diferentes regiões do Brasil.

Desta forma, se obtém as constantes relativas da cidade de Engenheiro Beltrão, que serão utilizadas para o cálculo da equação da intensidade pluviométrica.

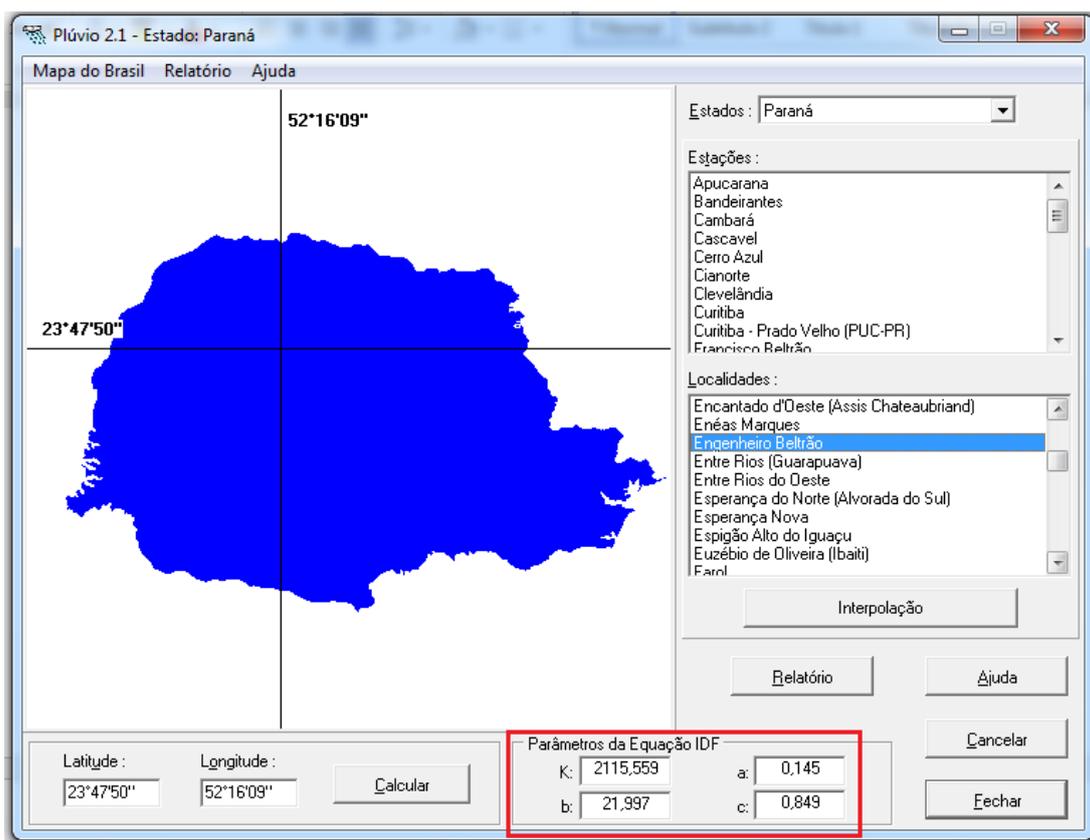


Figura 11: Software Plúvio 2.1- Chuvas intensas no Brasil-
Fonte: GRUPO DE PESQUISA DOS RECURSOS HIDRICOS

Com base no programa, foi possível determinar as constantes relativas da cidade de Engenheiro Beltrão, região que se localiza nas proximidades na qual foi realizado estudo de caso, permitindo a resolução da equação (9).

5.4.4 ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (A)

Para a determinação da vazão ao longo da sarjeta, é necessário determinar a área de contribuição do canal, para permitir a condução da água para determinado ponto de instalação de cada dispositivo de drenagem.

A bacia de contribuição da sarjeta é composta da seção da plataforma contribuinte entre as duas pistas internas que desaguam na sarjeta do canteiro central, e a distância horizontal entre dois bueiros.

Na figura 12 é representada a seção transversal da rodovia esquematizando a largura da plataforma da pista que influenciará diretamente o volume de água que será coletada pela sarjeta.

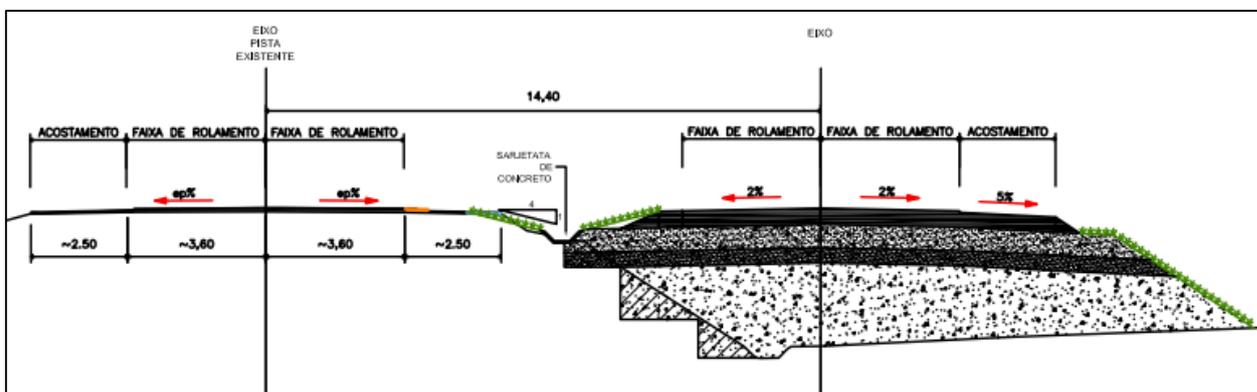


Figura 12: Seção transversal da área de influência
Fonte: Empresa (A)

6. ESTUDO DE CASO

6.1 VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS DO CANTEIRO CENTRAL DE CONCRETO.



Figura 13: Sarjetas de canteiro central de concreto
Fonte: elaboração própria tirada em 21/09/2015

Segundo o DNIT (2006), em vias aonde há volume considerável de chuvas, a sarjeta tem como função conduzir a água da chuva que se precipita sobre a superfície da rodovia em locais de captação de bocas de lobo.

A capacidade hidráulica da boca de lobo depende da altura da lamina de água conduzida pela sarjeta e sua vazão. Em trechos que possuem declividade uniforme, a sarjeta funcionará como conduto livre de acordo com as características de escoamento. Tais características dependem da seção transversal, declividade e rugosidade da sarjeta e a superfície do pavimento.

São diversas as variáveis que influenciam no bom desempenho do sistema de captação da água de vias urbanas e rodovias. Neste caso, foi realizado a verificação do dimensionamento das sarjetas do canteiro central de concreto da rodovia PR-317 entre as estacas 781+000 à 1042+000 a fim de verificar o suporte da vazão de água durante

um período de retorno de 10 anos. Na figura 13 é apresentada a canaleta do canteiro central de concreto que serão abordadas neste tema.

Para a verificação do dimensionamento das sarjetas, a técnica utilizada foi pela coleta de dados em campo determinando a distância real entre bueiros na posição anterior e posterior ao talvegue e pela largura da pista de rolamento determinando a área de contribuição da sarjeta.

Ao longo de todo o trecho foi dimensionada sarjetas de concreto de seção trapezoidal como melhor alternativa de suporte da vazão e por apresentar inclinação de greide variável.

No item resultados e discussões é apresentado o demonstrativo de cálculo do dimensionamento da sarjeta de concreto determinando a altura da lamina de água e verificar a capacidade da vazão da sarjeta.

Para fins comparativos entre a sarjeta de concreto e de grama, para verificar a capacidade de suporte da água de escoamento, foi realizada uma simulação de dimensionamento da sarjeta de cobertura vegetal.

6.2 DADOS DO PROJETO

As seções transversais das sarjetas do canteiro central podem ser dimensionadas para diferentes geometrias como: retangular, circular, meia cana, triangular e trapezoidal

Segundo o DNIT (2006), deverá ser definido a velocidade limite de erosão através do material empregado do revestimento da sarjeta. Para melhor efeito hidráulico, é recomendável que as declividades longitudinais das sarjetas sejam iguais às declividades do greide. Em casos de baixa declividade do greide, é recomendável o dimensionamento das sarjetas em solo com revestimento vegetal.

O manual do DNIT (2006), especifica as velocidades máximas admissíveis para a água de acordo com as características da superfície do canal, apresentado no quadro 4.

Cobertura Superficial	Velocidade máxima permitida
Gramma comum firmemente implantada	1,50 - 1,80
Tufos de grama com solo exposto	0,60 - 1,20
Argila	0,80 - 1,30
Argila coloidal	1,30 - 1,80
Lodo	0,35 - 0,85
Areia fina	0,30 - 0,40
Areia média	0,35 - 0,45
Cascalho fino	0,50 - 0,80
Silte	0,70 - 1,20
Alvenaria de tijolos	2,50
Concreto de cimento portland	4,50
Aglomerados consistentes	2,00
Revestimento betuminoso	3,00 - 4,00

Quadro 4: Velocidades máximas admissíveis para a água
Fonte: DNIT, 2006

Nas figuras 14 e 15, é representado o modelo tipo da sarjeta de concreto e sarjeta com revestimento vegetal.

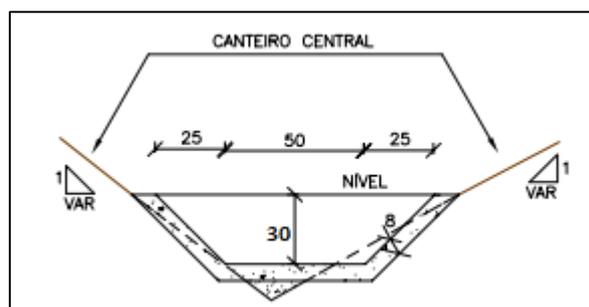


Figura 14: Sarjeta trapezoidal de concreto
Fonte: DNIT (2006)-Álbum de projetos

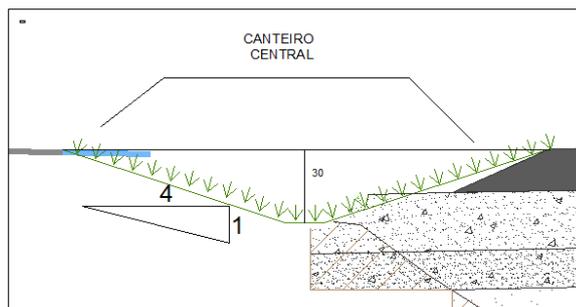


Figura 15: Sarjeta trapezoidal de grama
Fonte: Empresa (A)

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 LEVANTAMENTO DOS LOCAIS EROSIVOS

Ao longo do trecho, foram realizados levantamentos fotográficos de áreas degradadas pelo processo de erosão e, posteriormente, realizado sugestões de técnicas de contenção.

Nas imagens a seguir, serão apresentados alguns pontos críticos de erosão encontrados ao longo do trecho em estudo.

Na figura 16 é apresentada uma erosão tipo laminar, localizada no Km 162+000. Este tipo de erosão foi provocado por um conjunto de fatores: pelo volume intenso de chuvas nessa área, pelo falta de sarjeta no bordo da rodovia que pudesse direcionar a água ao bueiro e assim reduzir o efeito da erosão e invadir a área rural. Outro fator agravante foi a má execução de curvas de nível nestas áreas, capaz de conter a água e diminuir a velocidade de escoamento impedindo o carregamento do material do solo.



Figura 16: Erosão laminar
Fonte: Elaboração própria

Nas figuras 17(A) e 17(B), entre os Km 155+00 e 156+000, próximo ao viaduto que da acesso ao município de Terra Boa, foi identificada a erosão em sulcos nos taludes. Para a construção do viaduto foi realizado um reaterro em sobre o pavimento existente favorecendo o processo erosivo. Esses sulcos foram observados durante o processo construtivo. Como controle, foi utilizado processo de hidrosemeadura que serão apresentadas nas figuras 22(A) e 22 (B).



Figura 17: (A) (B) Erosão em sulcos em taludes de corte
Fonte: Elaboração própria

Nas figuras 18, no Km 148+000 é representado outro exemplo de erosão em sulcos, ocorridos durante o processo construtivo anterior ao controle de erosão. Fato gerado pelo uso do solo ao implantar a pista nova, permitindo que a água da chuva escoe as superfícies do talude formando sulcos. Como técnica de controle, foi utilizada aplicação da hidrosemeadura, por apresentar melhor alternativa de contenção devido a inclinação alta do talude e pelo sistema obter misto de sementes que permite melhor fixação das raízes assegurando a estabilidade dos taludes.



Figura 18: Erosão em sulcos no talude de corte
Fonte: Elaboração própria

Nas figuras 19(A) e 19(B), foram encontrados mais um caso de erosão em sulcos. Essa erosão foi desencadeada pelos tubos coletores das sarjetas do bordo do pavimento e direcionados a entrada da bacia de contenção sem nenhum tipo de dispositivo que permita que escoem em direção à caixa de contenção nas margens da rodovia, situados no Km 161+000. Não foi utilizado nenhum tipo de técnica para este caso, porém, poderá ser executado um canal que conecte os tubos até a entrada da caixa e reaterrando a área prejudicada, dando melhor aspecto visual e interfere que a erosão se agrave.

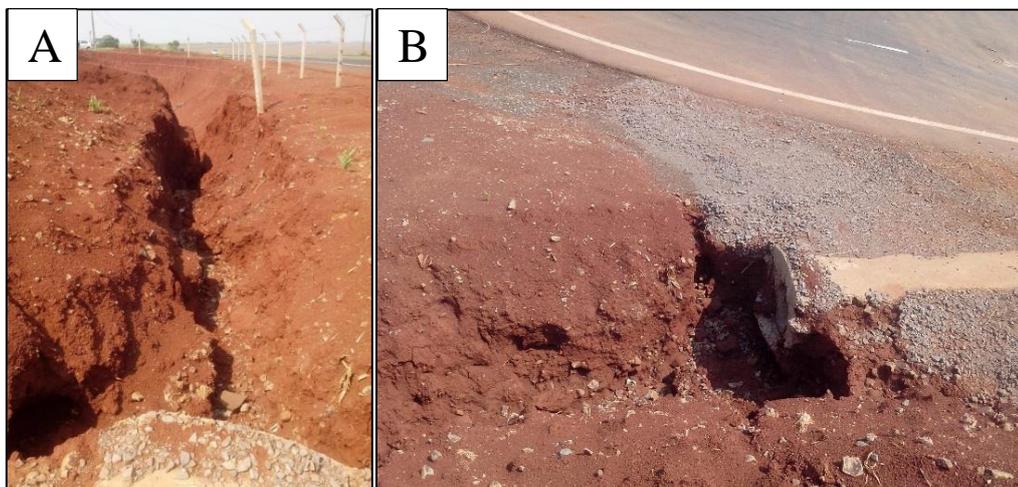


Figura 19: (A) (B) Erosão em sulcos na entrada da caixa de contenção
Fonte: Elaboração própria

Outro tipo de erosão encontrado foi tipo voçoroca, (figura 20 (A) (B)). Este tipo de erosão foi o caso mais agravante encontrado ao longo do trecho, pois atinge o leçol freático tornando o solo impermeável; localizado nas proximidades do Km 154+000 na área rural.

Esta erosão foi provocada pelo grande volume de água que são coletados pela rodovia e escoados na área rural provocando o carregamento de grande volume de material do solo ao longo de vários anos. A técnica utilizada pela concessionária que administra a rodovia, foi a execução de um emissário, que coleta todo o volume de água dessa região e direciona, por meios de canais coletores (sarjetas), até dissipadores de energia em degraus. Os dissipadores possuem bolcas de lobo a sua jusante que direcionam a água por meio de canais fechados até o rio. Na figura 23 é representada o tipo de técnica utilizada para o controle.

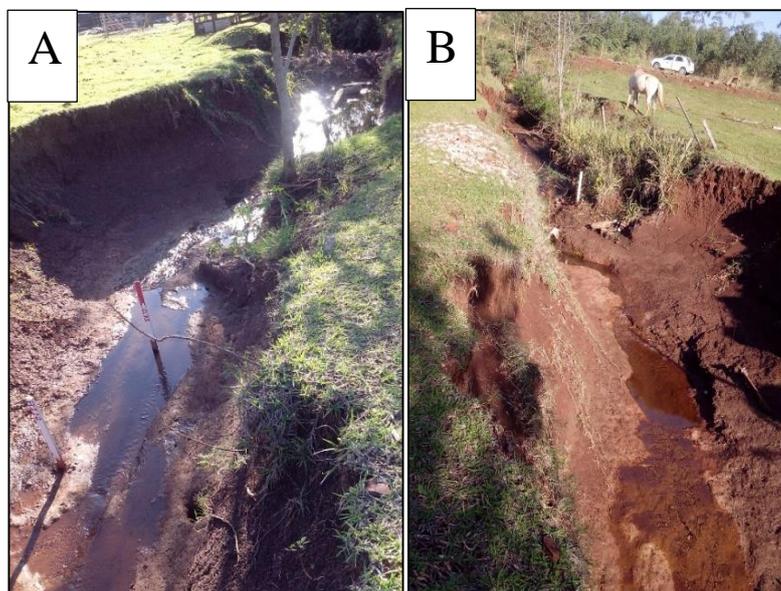


Figura 20: Erosão tipo voçoroca em área rural
Fonte: Elaboração própria

Nas figuras 21(A) e 21(B) representam casos do tipo de voçorocas. Esta erosão foi localizada no Km 162+000 com extensão de aproximadamente 600 m, ocasionada pela falta de sistemas de drenagem adequado, como por exemplo, sistemas coletores da água das chuvas que permitem o direcionamento adequado aos dispositivos de caixas de contenção e bueiros. A falta de curvas de nível do solo contribuiu na intensificação no processo da erosão. Como técnica de contenção foi realizada a execução de todo sistema de drenagem da rodovia prevista em projeto, com a implantação de bacias de contenção, sarjetas nos bordos e a construção de curvas de nível capaz de reduzir a velocidade da água e conter o volume de chuvas.



Figura 21: (A) (B) Erosão tipo voçoroca em área rural
Fonte: Elaboração própria

Ao longo do trecho, foram encontrados 5 pontos com erosão e identificado as causas que possibilitou o desenvolvimento desses fatores. Na figura abaixo, é ilustrado o mapa geral da localização dos pontos com erosão ao longo do trecho.

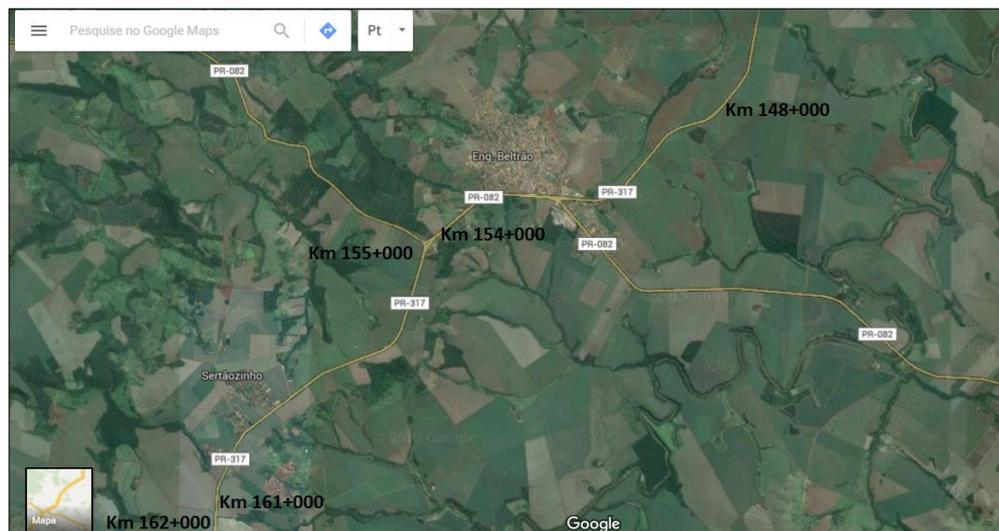


Figura 22: Mapa geral da localização dos pontos com erosão
Fonte: Elaboração própria

No quadro 5, é representado o posicionamento dos locais erosivos os respectivos tipos de erosão e os tipos de técnicas aplicadas.

Tipo de erosão	Km	Causas	Técnica aplicada
Erosão laminar	162+000	bordos do pavimento, curvas de nível mal executadas.	-
Erosão em sulcos	155+500	Ausência de sistemas de drenagem, processo desencadeado durante a etapa construtiva da obra	Hidrossemeadura
Erosão em sulcos	148+000	Ausência de sistemas de drenagem, processo desencadeado durante a etapa construtiva da obra	Hidrossemeadura
Erosão em sulcos	161+000	Saída do canal fora da entrada da bacia de contenção	-
Erosão tipo viçoroca	154+000	Ausência de sistemas de drenagem, dissipadores de energia	Construção de emissário, incluindo canais coletores e dissipadores de energia
Erosão tipo viçoroca	162+000	Ausência de curvas de nível e sistemas de drenagem	Implantação de sistemas de drenagem e bacias de contenção, curvas de nível

Quadro 5: Quadro geral dos casos com erosão
Fonte: Elaboração própria

7.2 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA CONTRLE DA EROSIÃO

Nas imagens a seguir, serão apresentadas algumas técnicas empregadas nos problemas encontrados referente ao objetivo principal deste trabalho.

Nas figuras 23(A) e 22(B) são representados os taludes após a aplicação da hidrossemeadura dos problemas encontrados nas figuras 16(A) e 16(B). Desta forma, a cobertura vegetal garante a estabilidade do talude possibilitando fixação do solo diminuindo a velocidade da água, sem que haja o carregamento de partículas do solo.

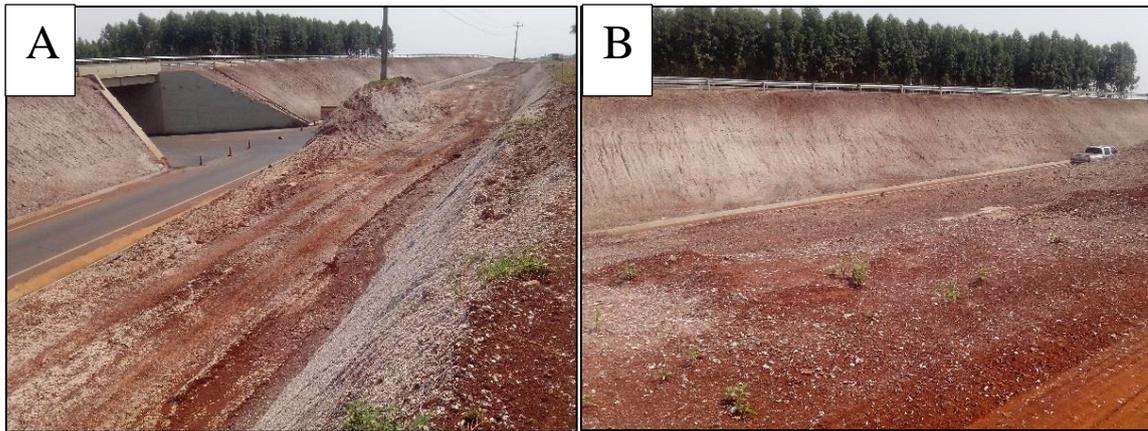


Figura 23: Taludes com aplicação da hidro-semeadura
Fonte: Elaboração própria

O controle realizado para eliminar as voçorocas encontradas no Km 154+000 pode ser visualizado nas figuras 24(A) e 23(B). Como técnica, foi realizada a execução de um emissário que direciona toda a água coletada no pavimento ao curso do rio. Para isso, foram utilizados dissipadores de energia em degraus (figuras 23 (A) e 23(B)), direcionando a água através de tubos relocados nas voçorocas aterrando o local.

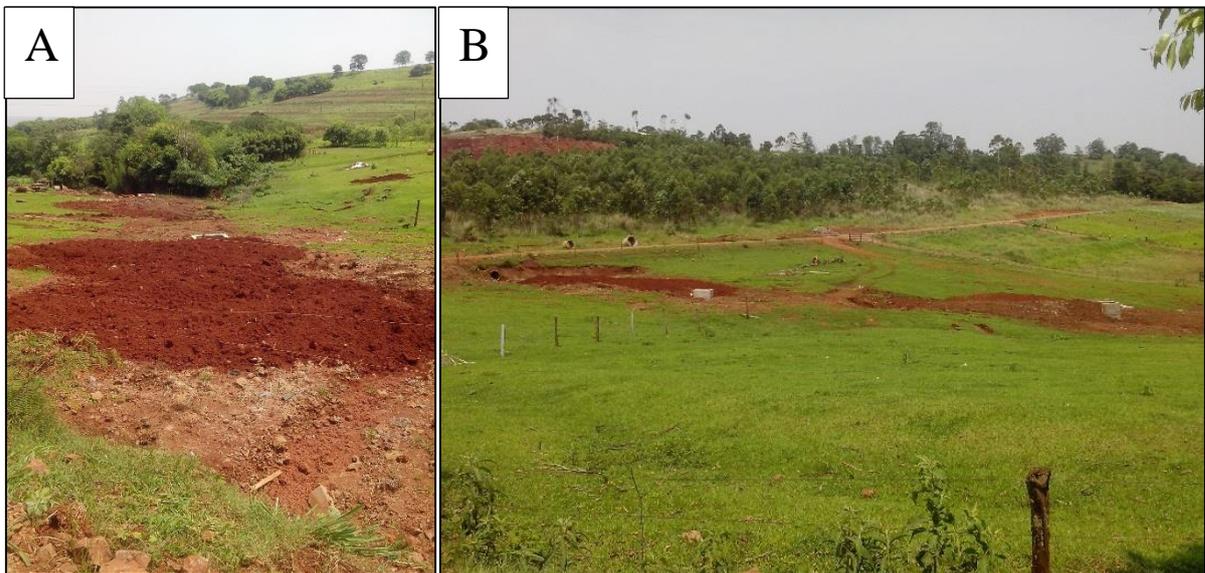


Figura 24: (A) (B) Reaterro da área prejudicada pelo processo de erosão
Fonte: Elaboração própria

Nas figuras 25(A) e 24(B) é representado o dissipador de energia com descida d'água em degrau executada para solucionar o problema encontrado na erosão. O dissipador de

energia em canal aberto, possui como função captar a água da sarjeta e conduzi-las para bacia de amortecimento e diminuir a velocidade da queda d'água evitando o carregamento de partículas do solo.

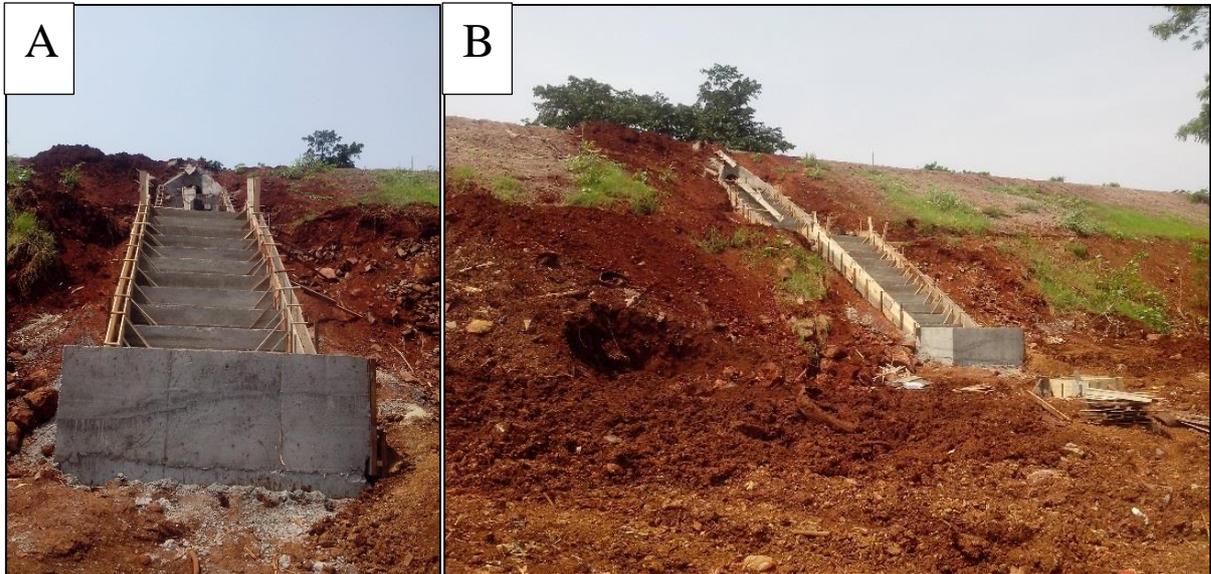


Figura 25: Dissipadores de energia em degraus
Fonte: Elaboração própria

Ao longo do trecho no Km 159+000 foi utilizado a implantação de leivas em placas. Esta aplicação é indicada em casos onde os taludes apresentam inclinações menores e alturas baixas. Em todo o trecho foram utilizadas placas em gramas nos bordos das sarjetas do canteiro central e bordos da pista de rolamento, que reduz a velocidade da água das chuvas pelas características do coeficiente de escoamento da superfície até a área de drenagem da sarjeta e ainda pela infiltração da água no trecho da sarjeta. Nas figuras 26(A) e 25(B) são demonstradas as leivas logo após a aplicação.



Figura 26: (A) (B) Aplicação de placas em leivas
Fonte: Elaboração própria

No Km 149+000, nas figuras 27(A) e 26(B) foi executada a caixa de infiltração em série, que funcionam como dissipadores de energia que coletam a água das sarjetas a montante e transposição de talvegues reservando-a evitando que a água se extravase ao pavimento

É importante calcular a área de drenagem do pavimento para verificar se as bacias de contenção são capazes de suportar a vazão e infiltrar a água impedindo que ela se extravase.

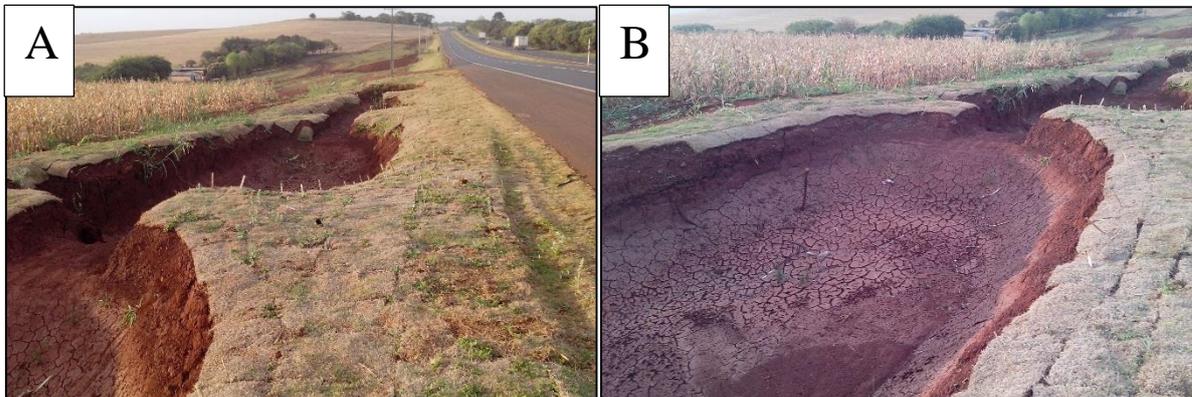


Figura 27: Caixa de infiltração em série
Fonte: Elaboração própria

7.3 CALCULO DO DIMENSIONAMENTO DA SARJETA DE CONCRETO E VERIFICAÇÃO DA ALTERNATIVA EM GRAMA

No quadro 6 é apresentado o estudo de caso com o dimensionamento da sarjeta do canteiro central, entre as estacas 781+000 e 1042+000, utilizando dados de campo e critérios da norma do DNIT (2006).

Para os bueiros em estudo, foi realizado levantamento da posição a montante anterior e posterior ao talvegue, sendo possível encontrar a distância real entre as duas posições.

A largura da plataforma entre os dois eixos da rodovia duplicada é de 14,40 m para todos os casos (figura 11). Desta forma, com a distância das posições do bueiro, foi obtido a área de contribuição da sarjeta.

As declividades dos trechos e declividades mínimas foram obtidas através do projeto executivo disponibilizado pela Empresa (A)

A intensidade da precipitação pluviométrica foi obtida através dos dados disponibilizados pelo Software Pluvio 2.1 da região de Engenheiro Beltrão, pela fórmula da equação da Intensidade Pluviométrica.

Para o coeficiente de *runoff*, pela largura da pista apresentar superfícies com revestimentos diferentes, foi realizado o cálculo do coeficiente médio, C_{med} , pela média ponderada.

Bueiro	Estaca Bueiro	Posição	Topo			Talvegue			Distância (m)	Largura da Pista (m)	Área (m ²)	Declividade (%)	Declividade mínima (%)
			Estaca			Estaca							
1	781+18,00	Anterior	760	+	0,322	781	+	5,146	424,82	14,4	6.117,47	5,68	0,5
		Posterior	807	+	16,286	781	+	5,146	531,14		7.648,42	6,04	0,5
2	833+17,00	Anterior	807	+	16,286	834	+	8,418	532,13	14,4	7.662,70	5,77	0,5
		Posterior	865	+	1,894	834	+	8,418	613,48		8.834,05	3,89	0,5
3	878+17,00	Anterior	865	+	1,894	880	+	11,206	309,31	14,4	4.454,09	2,5	0,5
		Posterior	905	+	6,648	880	+	11,206	495,44		7.134,36	1,47	0,5
4	934+000	Anterior	905	+	6,648	934	+	0,001	573,35	14,4	8.256,28	3,7	0,5
		Posterior	957	+	2,277	939	+	5,608	356,67		5.136,03	3,66	0,5
5	971+18,00	Anterior	957	+	2,77	971	+	2,052	279,28	14,4	4.021,66	3	0,5
		Posterior	984	+	1,778	971	+	2,052	259,73		3.740,05	2,67	0,5
6	997+2,00	Anterior	984	+	1,778	997	+	2	260,22	14,4	3.747,20	1,76	0,5
		Posterior	1035	+	17,904	1009	+	18,607	519,30		7.477,88	4	0,5
Bueiro	Intensidade (mm/h)	Runoff	Vazão projeto (m ³ /s)	n (Manning)	Z	b (m)	K2	yo/b	yo (m)	h	Área (m ²)	Vmed (m/s)	
1	180	0,8	0,2449	0,016	1	0,3	1,3739	1,0171	0,3051	0,3	0,1846	1,3264	
	180	0,8	0,3062	0,016	1	0,3	1,7177	0,9830	0,2949	0,3	0,1754	1,7452	
2	180	0,8	0,3068	0,016	1	0,3	1,7209	0,9813	0,2944	0,3	0,1750	1,7530	
	180	0,8	0,3536	0,016	1	0,3	1,9840	0,7010	0,2103	0,3	0,1073	3,2952	
3	180	0,8	0,1783	0,016	1	0,3	1,0003	0,8779	0,2634	0,3	0,1484	1,2017	
	180	0,8	0,2856	0,016	1	0,3	1,6023	1,0244	0,3073	0,3	0,1866	1,5303	
4	180	0,8	0,3305	0,016	1	0,3	1,8543	0,8769	0,2631	0,3	0,1481	2,2313	
	180	0,8	0,2056	0,016	1	0,3	1,1535	0,9451	0,2835	0,3	0,1655	1,2426	
5	180	0,8	0,1610	0,016	1	0,3	0,9032	0,8317	0,2495	0,3	0,1371	1,1741	
	180	0,8	0,1497	0,016	1	0,3	0,8400	0,8007	0,2402	0,3	0,1298	1,1538	
6	180	0,8	0,1500	0,016	1	0,3	0,8416	0,8015	0,2404	0,3	0,1299	1,1544	
7	180	0,8	0,2994	0,016	1	0,3	1,6794	1,0010	0,3003	0,3	0,1803	1,6605	

Quadro 6: Estudo do dimensionamento da canaleta do canteiro central de concreto

Fonte: Elaboração própria

A vazão máxima obtida pelo cálculo do dimensionamento, foi encontrado na posição posterior do bueiro 2, com valor de $0,3536\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, e vazão mínima da posição posterior do bueiro 5 de $0,1497\text{m}^3.\text{s}^{-1}$.

O para o coeficiente de Manning, foi adotado o valor de 0,016, para superfícies regulares de canais com revestimento de concreto.

O valor de y_0 encontrado acima de 0,30 m, que é a altura máxima permitida, foi localizado no bueiro 3, com altura máxima de 0,3073m. Esta altura indica a possibilidade do afogamento das galerias e o acúmulo das águas às margens da rodovia. A altura mínima encontrada na estimativa ocorreu no bueiro 2, resultando no valor de 0,2103m.

Para as velocidades médias encontradas, o valor máximo e mínimo encontrado foi respectivamente, de $3,2952\text{m}.\text{s}^{-1}$ para o bueiro 2 e $1,1538\text{m}.\text{s}^{-1}$ para o bueiro 5. Desta forma as velocidades estão abaixo das velocidades máximas admissíveis pelo manual do DNIT (2006), apresentada pelo quadro 4, com valor máximo de $4,5\text{m}.\text{s}^{-1}$

7.3.1 DIMENSIONAMENTO DA SARJETA DO CANTEIRO CENTRAL DE GRAMA COMO ALTERNATIVA DE SUPORTE DA VAZÃO

Para este mesmo caso, foi realizado o dimensionamento utilizando grama como alternativa para solucionar o problema caso a sarjeta com revestimento de concreto não fosse capaz de suportar as vazões e ultrapassar a altura máxima permitida.

Segue no quadro abaixo, o cálculo do dimensionamento da canaleta do canteiro central em grama.

Bueiro	Estaca Bueiro	Posição	Topo			Talvegue			Distância (m)	Largura da Pista (m)	Área (m ²)	Declividade (%)	Declividade mínima (%)
			Estaca			Estaca							
1	781+18,00	Anterior	760	+	0,322	781	+	5,146	424,82	14,4	6.117,47	5,68	0,50
		Posterior	807	+	16,286	781	+	5,146	531,14		7.648,42	6,04	0,50
2	833+17,00	Anterior	807	+	16,286	834	+	8,418	532,13	14,4	7.662,70	5,77	0,50
		Posterior	865	+	1,894	834	+	8,418	613,48		8.834,05	3,89	0,50
3	878+17,00	Anterior	865	+	1,894	880	+	11,206	309,31	14,4	4.454,09	2,5	0,50
		Posterior	905	+	6,648	880	+	11,206	495,44		7.134,36	1,47	0,50
4	934+000	Anterior	905	+	6,648	934	+	0,001	573,35	14,4	8.256,28	3,7	0,50
		Posterior	957	+	2,277	939	+	5,608	356,67		5.136,03	3,66	0,50
5	971+18,00	Anterior	957	+	2,77	971	+	2,052	279,28	14,4	4.021,66	3	0,50
		Posterior	984	+	1,778	971	+	2,052	259,73		3.740,05	2,67	0,50
6	997+2,00	Anterior	984	+	1,778	997	+	2	260,22	14,4	3.747,20	1,76	0,50
7	1010+4,00	Posterior	1035	+	17,904	1009	+	18,607	519,30	14,4	7.477,88	4	0,50

Intensidade (mm/h)	Runoff	Vazão projeto (m ³ /s)	n (Manning)	Z	b (m)	K2	yo/b	yo (m)	h	Área (m ²)	Vmed (m/s)
180	0,60	0,1837	0,03	4	0,30	1,9321	0,7918	0,2376	0,30	0,2970	0,6184
180	0,60	0,2296	0,03	4	0,30	2,4156	0,8750	0,2625	0,30	0,3544	0,6480
180	0,60	0,2301	0,03	4	0,30	2,4201	0,8757	0,2627	0,30	0,3549	0,6482
180	0,60	0,2652	0,03	4	0,30	2,7900	0,9353	0,2806	0,30	0,3991	0,6646
180	0,60	0,1337	0,03	4	0,30	1,4067	0,6965	0,2090	0,30	0,2373	0,5634
180	0,60	0,2142	0,03	4	0,30	2,2532	0,8473	0,2542	0,30	0,3347	0,6400
180	0,60	0,2479	0,03	4	0,30	2,6076	0,9068	0,2721	0,30	0,3777	0,6564
180	0,60	0,1542	0,03	4	0,30	1,6221	0,7371	0,2211	0,30	0,2619	0,5888
180	0,60	0,1207	0,03	4	0,30	1,2701	0,6687	0,2006	0,30	0,2212	0,5459
180	0,60	0,1123	0,03	4	0,30	1,1812	0,6494	0,1948	0,30	0,2102	0,5341
180	0,60	0,1125	0,03	4	0,30	1,1835	0,6499	0,1950	0,30	0,2105	0,5344
180	0,60	0,2245	0,03	4	0,30	2,3617	0,8658	0,2598	0,30	0,3478	0,6455

Quadro 7: Dimensionamento da canaleta do canteiro central em grama

Fonte: Elaboração própria

Pelo mesmo método utilizado para dimensionamento de sarjetas de concreto, o dimensionamento da sarjeta em grama foi realizado da seguinte forma:

Para obter a distância que influencia na área de contribuição da sarjeta, foi realizado o levantamento das cotas anterior e posterior ao talvegue.

A área de contribuição da sarjeta foi possível determinar através da largura da plataforma entre os dois eixos da rodovia duplicada, como largura de 14,40m para todos os casos (figura 11).

Para a intensidade da precipitação pluviométrica foi possível determinar através do Software Pluvio 2.1 da região de Engenheiro Beltrão pela fórmula da equação da Intensidade Pluviométrica.

Para o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*), pela largura da pista apresentar superfícies com revestimentos diferentes foi realizado o cálculo do coeficiente médio, C_{med} , pela média ponderada.

O para o coeficiente de Manning foi adotado o valor de 0,03, para superfícies em boas condições de canais com leitos pedregosos e vegetação em taludes.

Através do cálculo do dimensionamento nota-se que o bueiro 2 na posição posterior ao talvegue possui a vazão máxima encontrada com valor de $0,2652 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e a vazão mínima encontrado no bueiro 5 de $0,1123 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, também na posição posterior ao talvegue.

Para a sarjeta em grama a maior altura encontrado na estimativa foi de 0,2806 m no bueiro 2, sendo menor que o obtido para a sarjeta de concreto, admitindo que não haverá afogamento das galerias, o que impede o acúmulo de água nas margens da rodovia. Este fator foi gerado pela maior dissipação da energia no escoamento na canaleta em grama e pela infiltração maior no trecho.

A altura mínima foi localizada no bueiro 5 na posição posterior, com valor de 0,1948 m.

Para as velocidades médias encontradas, o valor máximo e mínimo foram, respectivamente, de $0,6646 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ para o bueiro 2 e $0,5341 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ para o bueiro 5.

Através do quadro 4 pode-se observar que com a implantação da sarjeta em grama não haverá afogamento nas galerias por possuir velocidades abaixo da velocidade máxima permitido pela água no manual do DNIT (2006) para o período de retorno em estudo, não afetando a superfície do material empregado.

8 CONCLUSÃO

Através do levantamento fotográfico foi possível identificar os locais erosivos e seus principais fatores contribuintes. A falta de implantação de sistemas de drenagem capazes de coletar e direcionar em dispositivos adequados, foram um dos fatores encontrados que contribuíram para desenvolvimento de novos pontos erosivos. Outro caso a ser citado, é a ausência de cobertura vegetal nos taludes deixando o solo exposto sem proteção contra intempéries tornando-o mais suscetível à erosão.

Para solucionar os casos de erosão encontrados ou evitar surgimento novos locais erosivos, em alguns trechos foram implantadas algumas técnicas como, hidro-semeadura, leivamentos, dissipadores de energia em degraus, descidas d'água, caixas de contenção, cobertura vegetal em placas (gramas).

O estudo de caso das sarjetas do canteiro central de concreto entre as estacas 781+000 a 1042+000 admitiu-se que a maioria das sarjetas executadas estão conformes com o projeto, e apenas o bueiro 3 possui altura acima da máxima permitida, possibilitando futuros afogamentos nos canais.

No comparativo entre o dimensionamento das sarjetas de concreto e grama, pode-se observar que no dimensionamento da sarjeta em grama, a altura máxima da água encontrada possui valor abaixo da altura máxima permitida em projeto, comprovando que em nenhum dos bueiros haverá o transbordamento da água. A velocidade e a vazão máximas encontradas estão de acordo e dentro da máxima permitida.

A sarjeta de concreto, através do dimensionamento, o valor da altura máxima permitida ultrapassa o valor máximo permitido possibilitando o afogamento das galerias. Porém, sua vazão e velocidade máximas encontradas não ultrapassam o limite de projeto.

O presente trabalho foi desenvolvido com objetivo de verificar as condições de projeto do trecho da rodovia em estudo elaborando proposta de técnicas para contenção de erosão e verificação dimensionamento da sarjeta do canteiro central e verificação da alternativa em grama, sendo que em muitos casos as técnicas propostas foram às mesmas utilizadas pela concessionária responsável pela rodovia.

9 REFERÊNCIAS

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. A. (1995). **Conservação do solo**. 3ed. São Paulo, 1995. 355p.

BRASIL ESCOLA. **Tipos de erosão**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/geografia/tipos-erosao.htm>>. Acesso em: 26 jun 2015.

BRENNER, R. p. **A Hydrologic Model Study of a Forested and a Cutover Slope**. In: BulletinHidrologicSciences, 1973

CARDOSO, Priscila M. **Análise das características físicas e ambientais da bacia do córrego tucanos em Londrina-PR**. 2013, 87 f.Trabalho de conclusão de curso – Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Londrina, 2013. Disponível em: <http://www.uel.br/cce/geo/tcc/153_analisedascaracteristicasfisicaseambientaisdabaciadocorregotucanosemlondrinapr_2013.pdf> Acesso em: 07 jun 2015.

CARVALHO, José C.; Lima, MARISAIDES C.; MORTARI Diógenes. Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 2001, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiás: 2001. Disponível em: <http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simposio_erosao/articles/P0406.pdf> Acesso em: 27 mai 2015.

COELHO, Arnaldo Teixeira. **Efeitos da vegetação na estabilidade do solo e de taludes**.In: XIII Curso sobre erosão e controle de sedimentos, 2005, Belo Horizonte.

Departamento Nacional De Infra-Estrutura De Transportes. **DNIT**. Álbum de projetos – Tipo de dispositivos de Drenagem. 2006.

Departamento Nacional De Infra-Estrutura De Transportes. **DNIT**. Drenagem – Dissipadores de energia. 2006.

DREGNE, H. E. **Historical perspective of accelerated erosion and effect on world civilization**. In: SCHMIDT, B.L.; ALLMARAS, R.R.; MANNERING, J.V.; PAPENDICK, R.I. (eds.). Determinants of soil loss tolerance. Madison: ASA/SSSA, 1982. 320p.

EMBRAPA. **Processos de gênese e evolução de voçorocas**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CO_NTAG01_59_210200792814.html> Acesso em: 25 jun 2015.

GALAS, Naruna D. **Uso de vegetação para contenção em combate à erosão em taludes**. 2006. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, 2006. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-55.pdf>>. Acesso em: 05 jun 2015.

GALETI, Paulo Anestar. **Conservação do solo: reflorestamento e clima**. 2. ed. Campinas: Instituto campineiro de Ensino Agrícola, 1979.

GARCIA, Isabela C. B. **Valor econômico da erosão do solo agrícola no estado de São Paulo: um estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Mogi-Pardo**. 2006. 131 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 2006. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000371764>>. Acesso em: 05 jun 2015.

GONTIJO, Paulo Romeu de Assunção et al. **Manual de drenagem de rodovias**. Rio de Janeiro. DNER, 1990.

GREENWAY, D. R. Vegetation and slope stability. In : ANDERSON, M. G.: RICHARDS, K. S (Ed.), **Slope Stability: geotechnical engineering and geomorphology**. Chichester: J. Wiley, 1987.

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

MORALES, Paulo Roberto D. **Manual prático de drenagem**. Rio de Janeiro: IME, Fundação Ricardo Franco, 2003. 160p.

NEVES, P. F.; SOUSA, M. R. e; OLIVEIRA, J. **Influência da cobertura vegetal na resistência ao escoamento de taludes**. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006. Disponível em :<<http://cegeo.ist.utl.pt/html/publicacoes.shtml>>Acesso em: 05 jun 06.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba: Governo do Estado, 1987.

PORTOCARRERO, Hugo.; ANDRADE, Aluísio G de.; CAMPOS, Tácio M. P. de; FERNANDES, Nelson F. **Aspectos hidrológicos e mecânicos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86973/1/Doc-88-2006-Aspectos-hidrologicos.pdf>>. Acesso em: 07 jun 2015.

PORTO, Rodrigo de melo., **Hidráulica Básica** - 3 edição São Carlos - EESC - USP, 2004

SALOMÃO, Fernando Ximenes T.; IWASA, Oswaldo Y. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente.**São Paulo: ABGE E IPT, 1995.

SANTANA FILHO, S.; CARDOSO, I. M.; PEREIRA Neto, J. T. Utilização de composto orgânico na recuperação de áreas degradadas, in: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Sobrade/ufv, 1997.

SILVA, Gilka R. V. **Erosão em entressulcos em area cultivada com cana-de-açúcar e a relação com a quantidade de palha em superfície.** 2011. 81f. Dissertação – Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000792907>>Acesso em: 02 jun 2015.

ZIEMER, R. R.; SWANSTON, D. N. **Root strenght changes after login in southeast.** Washington, DC: Foret Service, 1997.