

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

**USO DE BARREIRAS FÍSICAS EM VOÇOROCA E SEUS
EFEITOS NA RETENÇÃO DE SEDIMENTOS: UM ESTUDO
DE CASO.**

RENATO ALVES PEREIRA JUNIOR

UBERLÂNDIA/MG

2013

RENATO ALVES PEREIRA JUNIOR

**USO DE BARREIRAS FÍSICAS EM VOÇOROCA E SEUS
EFEITOS NA RETENÇÃO DE SEDIMENTOS: UM ESTUDO
DE CASO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia
da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito parcial à obtenção do título de
mestre em Geografia.

**Área de Concentração: Geografia e Gestão
do Território**

**Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos
Rodrigues**

Uberlândia/MG

INSTITUTO DE GEOGRAFIA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

P436u
2013 Pereira Júnior, Renato Alves, 1978-
 Uso de barreiras físicas em voçoroca e seus efeitos na retenção de
sedimentos : um estudo de caso / Renato Alves Pereira Júnior. - 2013.
 98 f. : il.

 Orientador: Sílvio Carlos Rodrigues.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Geografia.
 Inclui bibliografia.

 1. Geografia - Teses. 2. Geoformologia - Uberlândia (MG) - Teses.
3. Voçorocas - Teses. 4. Solos - Erosão - Teses. I. Rodrigues, Sílvio
Carlos. II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-
Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Renato Alves Pereira Junior

Uso de Barreiras Físicas em Voçoroca e Seus Efeitos na Retenção de
Sedimentos: Um Estudo de Caso

Prof. Dr. Sílvio Carlos Rodrigues (Orientador)

Prof. Dr. Antonio Feltran Filho

Prof. Dr. Ricardo Reis Alves

Data: ____/____/____

Resultado:_____

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que
ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

[Arthur Schopenhauer]

AGRADECIMENTOS

A meus pais Renato e Valmi pela confiança, dedicação, ajuda e incentivo que me levaram a conclusão deste trabalho.

Aos meus filhos Renato Terceiro e Yasmin, por entenderem e aceitarem que a ausência do pai era necessária para o desenvolvimento dos trabalhos e por serem o principal motivo que levou a busca pelo título. E ao Renato Terceiro por me acompanhar muitas vezes para o desenvolvimento dos trabalhos e estar sempre ao meu lado.

A minhas irmãs Flávia Buiate e Daniela Buiate pela ajuda e incentivo para conclusão desta etapa da minha vida.

A minha noiva Vanessa pelo incentivo aos estudos e pela compreensão nos momentos em que me afastei.

Ao Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues, pelo incentivo e oportunidade de ingressar no mestrado, pela orientação e acima de tudo a amizade durante todo este período.

Aos amigos e colegas do LAGES - Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos, que ajudaram durante as atividades de campo e laboratoriais, essenciais para o desenvolvimento e realização deste trabalho e pelo companheirismo e amizade no decorrer destes anos de convivência.

Aos meus amigos(as) Carlos Felipe, Jean Bombonato, Pedro Damaceno e Juliana Sousa que compartilharam momentos importantes de suas vidas e que contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do instituto, que contribuem para o crescimento individual e coletivo de muitos alunos de pós-graduação.

À Universidade Federal de Uberlândia, em especial ao Instituto de Geografia, pela minha aceitação como pós-graduando.

RESUMO

A área de estudo está localizada no Município de Uberlândia – MG, na Fazenda Experimental do Glória coordenadas latitude 18° 58' 19" S e 48° 12' 22" W, constituindo-se parte integrante do Triângulo Mineiro, situado na porção oeste do Estado de Minas Gerais no âmbito morfoestrutural na Bacia Sedimentar do Paraná, fazendo parte do “Domínio Morfoclimático dos Cerrados”, onde são encontradas as diferentes fitofisionomia que compõe os cerrados no Brasil. Dentre os solos mais susceptíveis à erosão destacam-se os Neossolos, Cambissolos, Argissolos e Latossolos de textura média, que ocorrem na região dos Cerrados com destaque principal ao Latossolo de textura média. O local trabalhado, trata-se de um canal de uma voçoroca com mais de 30 anos de existência, que apresenta 250 metros de extensão com profundidade máxima de 8 metros. Esta área encontra-se altamente degradada pela ação antrópica, marcada com início de sua exploração pela retirada da vegetação natural para formação de pastagem e posteriormente com a atividade de exploração de cascalho. Com o desenvolvimento destas atividades e pela falta de um correto manejo e conservação do solo, o processo erosivo estabeleceu na área. As voçorocas são processos erosivos bem desenvolvidos onde atuam processos superficiais e subsuperficiais, sendo de difícil estabilização. A gênese de formação das voçorocas pode advir de causas variadas, podendo destacar o escoamento superficial concentrado, a evolução das ravinas e o abatimento da superfície do solo decorrente da erosão remontante. Referente a estes processos erosivos podem ser aplicadas medidas físicas, edáficas e biológicas, com o objetivo de prevenir ou reduzir os efeitos de degradação. As medidas físicas ou práticas mecânicas, são aquelas que utilizam-se de estruturas artificiais visando a redução dos escoamentos do fluxo hídrico em superfície, interceptando-o e fazendo com que este ocorra de forma a minimizar as perdas de agregados do solo. Neste contexto o objetivo é adaptar a técnica de barreira de paliçada aplicada por Machado et al (2006) de forma a conter sedimentos em uma voçoroca, onde a presença de água é constante durante todo o ano. A técnica busca elevar o nível de base e a contenção de sedimentos no interior da voçoroca através de adaptações feitas pela técnica de barreira de paliçadas. Foram construídas 5 barreiras de paliçada entre os dias 05 de julho e 15 de setembro de 2011, ficando em monitoramento destas datas até o mês de dezembro de 2012. Das 5 barreiras construídas 3 delas são de madeira e 2 de bambu, para identificar se haveria diferença de resistência entre estes materiais, todas com 1 metro de altura entre a base do canal e vertedor da barreira. Para avaliação das medidas propostas foram monitorados dados de precipitação, vazão e sedimento dissolvido na água que escoou pela voçoroca, desde de julho de 2010 até dezembro de 2012, um ano antes da aplicação da técnica e um ano e meio após a construção das barreiras. Após a instalação das barreiras houve rompimentos fazendo necessárias novas adaptações na técnica, no entanto obteve resultado positivo com retenção de sedimentos até o topo de uma das barreiras no período avaliado. Os resultados mostram a eficiência das barreiras construídas frente aos dados de precipitação, vazão, sedimento disperso em água e sedimento acumulado nas barreiras.

Palavras – chave: Voçoroca, Medidas Físicas, Barreira Paliçada, acúmulo de sedimento.

ABSTRACT

The study area is located in Uberlândia - MG, in the Experimental Farm of Glory, becoming an integral part of Triângulo Mineiro, located in the western portion of the state of Minas Gerais under morphostructural in Paraná Sedimentary Basin, as part of "Morphoclimatic Domain of Cerrados" where are found the different vegetation types that comprise the savannahs in Brazil. Among the soil more susceptible to erosion highlight the Entisols, Inceptisols, Ultisols and sandy loam Oxisols, which occur in the Cerrado region with major Latossolo to medium texture. In this context the object of study is the main channel of a gully with over 30 years of existence, it has 250 meters of extension with a maximum depth of 8 meters. This area is highly degraded by human action, marked the beginning of their exploitation by the removal of natural vegetation for pasture formation and later with exploration activity gravel. With the development of these activities and the lack of adequate management and soil conservation, soil erosion established in the area. The gully erosion processes are well developed work processes where surface and subsurface, being difficult to stabilize. The genesis of formation of gullies can arise from several causes, and can highlight the concentrated runoff, the evolution of gullies and subsidence of the ground surface due to headward erosion. Referring to these erosive processes can be applied physical, biological and soil, in order to prevent or reduce the effects of degradation. Measures physical or mechanical practices are those that make use of artificial structures in order to reduce the flow of surface water flow, intercepting it and making this happen so will minimize the loss of soil aggregates. In this context, the objective is to adapt the technical barrier palisade applied by Machado et al (2006) to contain sediment in a gully, where the presence of water is constant throughout the year. The technique seeks to elevate the level of base and contain sediment within the gully through adaptations made by the technical barrier of palisades. 5 stockade barriers were constructed between July 05 and September 15, 2011, staying in monitoring these dates through the month of December 2012. 3 these barrier were constructed of wood and 2 barrier of bamboo, to identify whether there is difference in resistance between these materials. For evaluation of the proposed measures were monitored rainfall data, flow and sediment dissolved in water seeping through gully, from July 2010 until December 2012, one year before the application of the technique, and a half years after the construction of barriers. After installation of the barriers has happened ruptions of these barriers, what to made necessary to further adapt the technique, however got positive results with sediment retention until the top of one of the barriers in the study period. The results show the effectiveness of the barriers built through precipitation data, flow, sediment dispersed in water and sediment accumulated in the barriers.

Keywords: Gullies, Physical Measurements, Barrier Palisade, accumulation of sediment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vertedouro localizado na Fazenda Experimental do Glória.....	43
Figura 2 - Filtragem de Sedimentos.	44
Figura 3 - Coleta de vazão em área de Voçoroca.	44
Figura 4 - (A) Sacos de ráfia colocados justapostos firmando o solo entre parede da voçoroca e postes de madeira. (B) Zoom dos sacos de ráfia colocados justapostos firmando o solo entre parede da voçoroca e postes de madeira.	48
Figura 5 - Vertedouro retangular.	49
Figura 6 – (A) Local de instalação da B1M. (B) Local antes da construção da barreira B2M.	53
Figura 7 – (A) e (B) Valetas feitas na parede da voçoroca. (C) Construção da barreira B1M.	54
Figura 8 - Construção da barreira B3M. Detalhe dos dois primeiros postes na horizontal.	55
Figura 9 – Barreira B1B construída. Detalhe das escoras de bambu.	56
Figura 10 - Buraco feito para colocar a escora de madeira B2B.	56
Figura 11 – (A) Barreira B1B construída. Detalhe dos sacos de ráfia cheios de terra. (B) Local após a construção da barreira B2M. Detallhe dos sacos de ráfia.	57
Figura 12 – (A) Construção da barreira B1M. (B) Construção da barreira B3M. Detalhe dos dois primeiros poste na horizontal.	57
Figura 13 – (A) Cobertura da valeta da parede. (B) Detalhe enchimento dos sacos de ráfia.	58
Figura 14 – (A) Local após a construção da barreira B2M. (B) Construção da barreira B2B. Detalhe aterramento das laterais.	59
Figura 15 - Fio de náilon para monitoramento de sedimento retido antes da barreira. ..	62

Figura 16 - Vergalhão para monitoramento de sedimento retido antes da barreira.	63
Figura 17 - Barreira de madeira construída sem os devidos cuidados com o encaixe da paliçada na parede da voçoroca.	66
Figura 18 – (A) e (B) Detalhe da valeta na parede da feição erosiva - B1B	67
Figura 19 – Barreira B1B construída. Detalhe dos sacos de ráfia cheios de terra.....	68
Figura 20 - Barreira rompida pelo fundo.....	69
Figura 21 - Barreira rompida pelo fundo.....	69
Figura 22 - Reparo da barreira com saco de ráfia aberto.....	70
Figura 23 - Local após a construção da barreira B2M.	71
Figura 24 – Barreira B2M repleta de sedimentos.....	71
Figura 25 – Barreira B2M repleta de sedimentos.....	71
Figura 26 - B3M repleta de sedimentos.	72
Figura 27 - Construção da barreira B2B.....	73
Figura 28 - Detalhe escoras e aterramento das valetas da parede.	73
Figura 29 - Deslizamento de talude antes da barreira.....	74
Figura 30 - Deslizamento de talude antes da barreira.....	74
Figura 31 – Situação do sitio da B2B após rompimento.	74
Figura 32 – Situação a montante da barreira B2B após esvaziamento da água do represamento, mostrando sedimentos acumulados.....	74
Figura 35 - B2B Rompida na lateral.....	75
Figura 36 - B2B Rompida na lateral.....	75
Figura 37 - B3M repleta de sedimento ao final do processo de monitoramento.....	76
Figura 38 - B2B rompida mostrando sedimento ainda retido na barreira.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estrutura das Barreiras de Madeira.....	47
Tabela 2 - Classificação e coordenadas geográficas das barreiras físicas.....	51
Tabela 3 - Dados do monitoramento dos sedimentos retidos pelas barreiras de paliçadas de julho – dezembro 2011.....	63
Tabela 4 - Dados do monitoramento dos sedimentos retidos pelas barreiras de paliçadas de janeiro – dezembro 2012.....	64
Tabela 5 - Dados dos monitoramentos das barreiras de paliçadas, sedimento disperso em água, vazão e precipitação de julho – dezembro 2011.....	81
Tabela 6 - - Dados dos monitoramentos das barreiras de paliçadas, sedimento disperso em água, vazão e precipitação de janeiro – dezembro 2012.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação 2010 - 2012.....	78
Gráfico 2 - Precipitação, vazão e sedimentos.....	79
Gráfico 3 - Sedimento Acumulado B1M.....	83
Gráfico 4 - Sedimento Acumulado B1M e vazão.....	84
Gráfico 5 - Sedimento Acumulado B1B.....	85
Gráfico 6 - Sedimento Acumulado B1B e Vazão.....	85
Gráfico 7 - Sedimento Acumulado B2M.....	86
Gráfico 8 - Sedimento Acumulado B2M e Vazão.....	87
Gráfico 9 - Sedimento Acumulado B2B.....	87
Gráfico 10 - Sedimento Acumulado B3M.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B1M - Barreira 1 Madeira.

B2M - Barreira 2 Madeira.

B3M - Barreira 3 Madeira.

B1B - Barreira 1 Bambu.

B2B - Barreira 2 Bambu.

LAGES - Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos.

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização da Área de Estudo. Fonte: Danelon, 2012. 24

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	JUSTIFICATIVA	18
3.	OBJETIVOS	21
3.1.	Objetivo Geral.....	21
3.2.	Objetivos específicos	21
4.	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
5.	REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO-CONCEITUAL	26
5.1.	Áreas Degradadas	26
5.2.	Processos Erosivos.....	28
5.3.	Fatores Relacionados à erosão hídrica	31
5.3.1.	Erosividade da chuva	31
5.3.2.	Erodibilidade do solo	32
5.4.	Voçorocas.....	33
5.4.1.	Erosão Remontante	35
5.5.	Processos erosivos no Triângulo Mineiro	35
5.6.	Medidas físicas de controle dos processos erosivos	36
6.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS	40

6.1. Método	40
6.1.1. Experimentos e Mensurações em Campo	40
6.1.2. Análises Laboratoriais.....	42
6.1.3. Comparação dos dados:	45
6.1.4. Materiais:	45
Os materiais usados para realizar o trabalho proposto seguem abaixo:	45
6.2. Procedimento Técnico.....	48
6.2.1. Escolha, Construção e Manutenção dos Barramentos	51
7. RESULTADOS.....	61
7.1. Eficiência dos barramentos	61
7.2. Monitoramento da Vazão, Sedimento Disperso em Água e Precipitação	77
8. CONCLUSÃO	90
9. REFERENCIAS.....	95

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento dos meios de produção, da ocupação do território e desenvolvimento agrícola do território brasileiro, áreas preservadas foram abertas em busca de diferentes fontes de extração e destinação de uso. Muitas destas áreas foram subutilizadas ou exploradas de forma equivocada, não havendo os cuidados necessários com a preservação dos recursos naturais como a água e o solo.

O solo é um recurso natural, e se apresenta entre os mais importantes para a qualidade de vida do Homem. Sua perda leva a desestabilização de diversas condições naturais, que podem ir desde a perda de fertilidade até a alteração da paisagem a níveis críticos.

A forma mais comum de perda do solo no cerrado é a provocada pelas águas (erosão hídrica), geralmente levando a baixa da fertilidade, diminuição da capacidade de infiltração, desagregação de partículas e terminando com o transporte dos sedimentos provocado pelo escoamento superficial das águas pluviais. O destino dos sedimentos gerados pelos processos erosivos são os canais de drenagem, o que influencia na qualidade da água e provocam assoreamento dos corpos d'água.

Voçorocas são processos erosivos estabelecidos e desenvolvidos, considerados complexos por haver mais de um processo atuando na mesma área. São formadas a partir do desenvolvimento e aprofundamento das ravinas que atingem o lençol freático, ou ainda a partir de processos de erosão interna (*piping*), com criação de tuneis internos ao solo, com posterior desabamento. Estes processos geram um fluxo de água no interior do processo erosivo surgindo a voçoroca.

Com a instalação da voçoroca o solo da área passa a não ter significância estrutural, perdendo sua função de substrato de sustentação para vegetação e sua fertilidade. Formações de voçorocas predis põem, ainda, a área agredida a processos de deslizamento gerando grandes perdas de massa de solo, o que leva incertezas econômicas para área marginal do foco erosivo. Desta forma a área perde o interesse econômico onde é necessário lançar mão de ações que protejam e conservem tanto o entorno como o interior da área degradada.

Em função desta problemática e com a crescente conscientização sobre a importância da preservação ambiental, programas de estabilização de erosão em áreas degradadas vêm sendo amplamente utilizadas para minimizar os efeitos negativos causados pela degradação. Várias são as técnicas desenvolvidas com a finalidade de conter o avanço dos processos erosivos. Em geral as técnicas visam a contenção de sedimentos e da velocidade do escoamento superficial das águas em áreas propícias ou com processos erosivos instalados. Atualmente várias técnicas já estão consolidadas e são usadas rotineiramente para contenção e estabilização de processos erosivos.

Temos técnicas que vão desde obras complexas e de valor comercial significativo, como gabiões e muros de arrimo, custo moderado como *rip-rap*, até técnicas simples e de baixo custo como barreiras de pedras e paliçadas com madeira e ou saco de rafia. Estas técnicas são aplicadas com grande sucesso em áreas degradadas que sofrem com processos erosivos como escoamento superficial das águas e desbarrancamentos.

No entanto quando os processos erosivos atuam até a formação de uma voçoroca, dificilmente a aplicação de uma só técnica é capaz de controlar o desenvolvimento da feição erosiva. É necessário lançar mão de um conjunto de técnicas

que estabilizem a voçoroca e forneçam condições para a ocupação e desenvolvimento da vegetação.

Nesse sentido, as técnicas de baixo custo despertam interesse por ser acessível a um número maior de pessoas, e incrementar o conjunto de ações necessárias para estabilização de processos erosivos de forma menos onerosa. As chamadas barreiras de paliçada usam pedras ou toras de madeira ou bambu, auxiliadas ou não por sacos de ráfia. Esta técnica é usada em áreas degradadas, que sofrem com ação do escoamento superficial das águas pluviais, a qual aumenta sua velocidade à medida que se diminui a cobertura vegetal e aumenta a declividade do terreno. Diante deste tipo de situação esta técnica é usada de forma eficiente, onde o escoamento superficial da água atua somente em períodos chuvosos.

A barreira de paliçada diminui a velocidade, e conseqüentemente, o efeito de cisalhamento da água evitando que processos erosivos continuem atuando no local. Essa perda de velocidade do escoamento superficial dificulta o transporte dos sedimentos e promove seu acúmulo na barreira, evitando a evolução para focos erosivos mais graves como as voçorocas.

Trata se de uma técnica barata e de fácil aplicação, Silva (2010) aplicou com êxito pela equipe do laboratório de Geomorfologia, Erosão e Conservação dos Solos (LAGES) da Universidade Federal de Uberlândia no Instituto de Geografia, nas ramificações e ravinas ligadas a voçoroca presente na Fazenda Experimental do Glória. No entanto esta técnica foi aplicada nos braços secundários da voçoroca, onde o escoamento superficial da água era sazonal.

A proposta deste trabalho é adaptar a técnica ao interior do braço principal da voçoroca trabalhada onde, a água escoar livremente durante todo o ano. Assim é

necessário uma série de alterações na barreira para que esta suporte a presença de água continuamente, através da construção de vertedouro e desenvolvimento de material para barrar a água na barreira sem que a mesma seja destruída.

A técnica apresenta baixo custo de instalação e manutenção, podendo ser usada de forma econômica, e através do desenvolvimento desse trabalho, de forma eficiente como alternativa no controle e estabilização de voçorocas.

Neste contexto, este trabalho visa desenvolver barreiras físicas em feições erosivas com lençol freático aflorado, com objetivo de diminuir a perda de sedimento por escoamento superficial da água, diminuindo o assoreamento de córregos, lagos e rios. Além de desenvolver condições para fixação e desenvolvimento de espécies vegetais no interior da voçoroca e elevar o nível de base do canal da voçoroca, diminuindo os custos nesse tipo de recuperação. Portanto, contribuir com informações básicas que possam orientar ações de recuperação de áreas degradadas com o uso de barreiras físicas.

2. JUSTIFICATIVA

Voçorocas são focos erosivos desenvolvidos e de alta perplexidade de controle, uma vez que vários são os processos que atuam em uma mesma área. A voçoroca pode ter várias origens antrópicas, podendo ser provocada por uso e ocupação de áreas de forma indevida, desvio de cursos d'água inadequado, lançamento de efluentes, falta de drenagem eficiente, obras de construção de barragens e estradas entre outras ações causadas pelo homem.

Áreas atingidas por este tipo de foco erosivo são instáveis e sujeitas a desbarrancamentos de suas margens, resultando em grande movimentação de sedimento. As perdas de solo ocorridas por este processo são muito elevadas, e a estabilização dificilmente ocorre naturalmente.

Desta forma os canais de drenagem natural, córregos e rios, essenciais para o estabelecimento e desenvolvimento do homem, são o destino final dos sedimentos produzidos por estes processos erosivos. O acúmulo de sedimento nos canais afeta a qualidade da água e provoca o assoreamento dos córregos, lagos e represas.

Assim as consequências do processo de voçorocamento comprometem diretamente o ambiente necessário ao estabelecimento e desenvolvimento do homem, bem como afeta a disponibilidade de suprimento básico para o desenvolvimento ambiental e humano. Isto faz com que o controle de voçorocas se torne cada vez mais necessário para garantir a preservação do recurso naturais.

No entanto as voçorocas apresentam elevado grau de degradação e requerem um conjunto de medidas e materiais de elevado custo, para seu controle e estabilização.

Dependendo do grau de desenvolvimento desses processos, os valores para seu controle podem ultrapassar até mesmo o valor da propriedade em que ela está presente.

Várias técnicas são aplicadas em voçorocas com eficiência, no entanto a busca por alternativas mais econômicas são necessárias uma vez que muitos proprietários rurais não possuem condições financeiras para controlar o processo erosivo que acabam por serem abandonadas.

No intuito de auxiliar com técnicas de baixo custo para estabilização de voçorocas foram usados materiais de fácil aquisição em propriedades rurais, a madeira de eucalipto, o bambu e o saco de rafia. Foram construídas barreiras de madeira e barreiras bambu a fim de determinar variação na resistência desses materiais para o objetivo proposto, uma vez que o bambu possui menor valor. Outro aspecto que influenciou na escolha dos materiais é o fato de tanto o bambu como a madeira serem naturais e com o tempo, após completarem sua função, serão decompostos e farão parte do meio.

A pesquisa desenvolvida é realizada em uma área com alto grau de degradação, tratando se de uma voçoroca ativa e em expansão. Com seu crescimento e aprofundamento no terreno, surgiu a preocupação em estabilizar o foco erosivo, com o objetivo de evitar perdas de área e solo crescentes.

Ações nos canais secundários da voçoroca foram desenvolvidas com o uso de barreiras de paliçada. No entanto não haviam sido realizadas ações no canal principal do foco erosivo, uma vez que as técnicas de paliçadas existentes, não foram desenvolvidas para serem trabalhadas em ambientes com fluxo contínuo de água.

Neste contexto ações no interior da voçoroca foram planejadas no intuito de estabilizar o interior do canal, retendo sedimentos que seriam carreados para os canais

de drenagem, e de elevar o nível de base da voçoroca, permitindo um ambiente para desenvolvimento de vegetação.

Assim o desenvolvimento de técnicas que visam auxiliar na estabilização de processos erosivos, sobre tudo dos mais severos como voçorocas, onde o ambiente de trabalho é de difícil acesso com deslocamento precário e água o ano todo, torna este tema de elevada relevância. Resultados obtidos pelo desenvolvimento das técnicas de contenção auxiliam em novas propostas técnicas, com subsídios de informações levantadas e verificadas nos trabalhos, auxiliando nas ações de recuperação de novos processos erosivos.

3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo Geral

O projeto objetiva aplicar uma técnica capaz de conter sedimentos em uma área degradada, utilizando barreiras físicas em uma voçoroca conectada a rede de drenagem, onde a presença de água é constante durante todo o ano. Busca avaliar e comparar o melhor material a ser utilizado na construção dessas barreiras, considerando a eficiência, os problemas de construção e manutenção deste tipo de barreira em uma voçoroca, buscando a contenção de sedimentos e elevar o nível de base local no intuito de desacelerar a evolução do processo erosivo.

3.2.Objetivos específicos

O presente projeto para construção de barreiras de paliçada e sacos de rafia tem como objetivos específicos:

- a) Adaptar a técnica desenvolvida por Machado *et. al* (2006) que foi originalmente desenvolvida para uso em ravinas, para reter sedimentos no canal de uma voçoroca conectada a rede de drenagem;
- b) Instalar e comparar a construção de barreiras de bambu com barreiras construídas com eucalipto tratado;

- c) Avaliar a manutenção e o monitoramento das condições de implantação das barreiras de paliçada alocadas em área de voçoroca conectada a rede de drenagem;
- d) Avaliar o nível de sedimentos retidos nas diferentes barreiras;
- e) Avaliar a quantidade de sedimento e a vazão de água escoada da voçoroca;

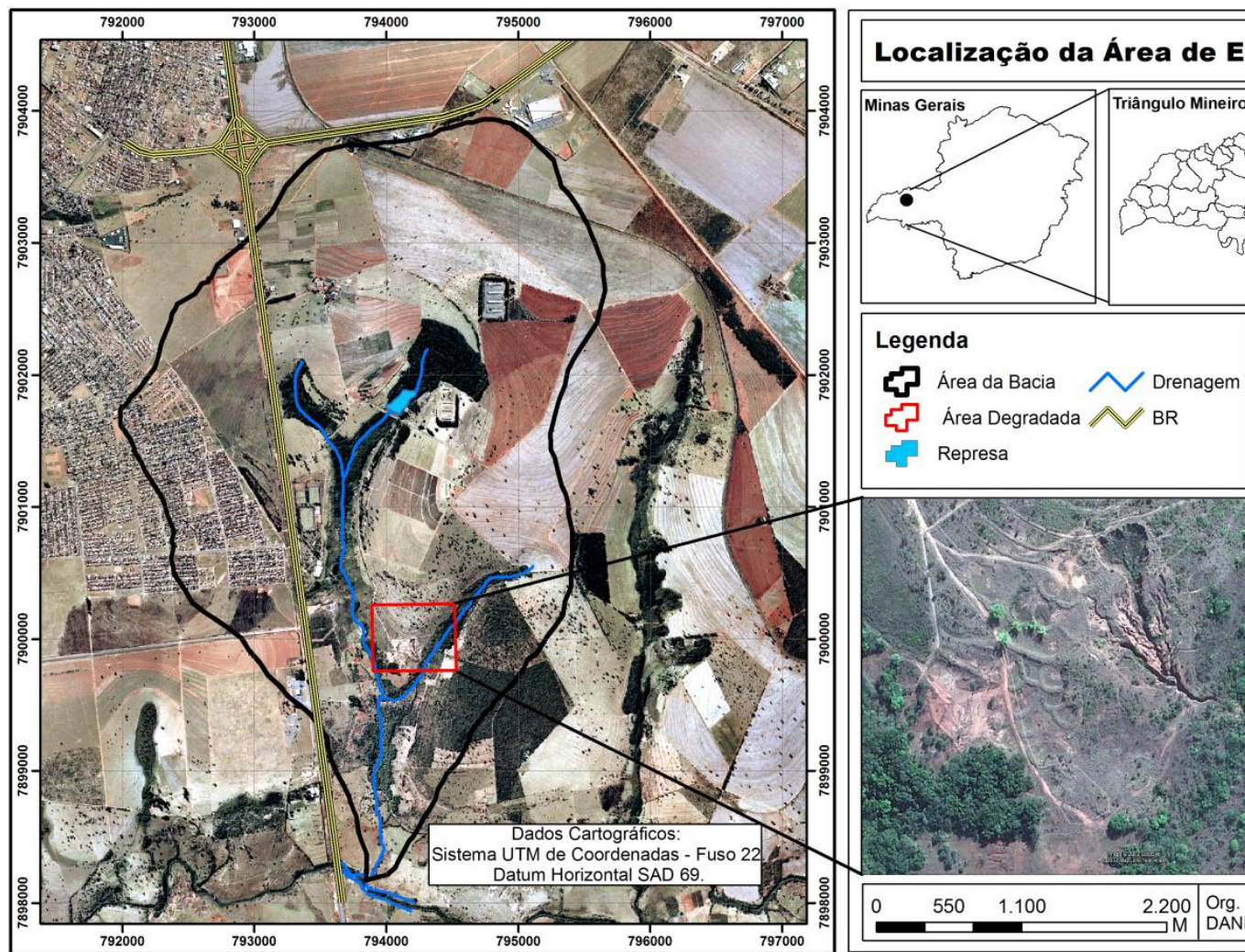
4. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no Município de Uberlândia – MG, na Fazenda experimental do Glória entre as coordenadas UTM 22K 0794198E e 7899944S. A área trabalhada é o canal principal de uma voçoroca (Mapa 01), com mais de 30 anos de existência, que apresenta 250 metros de extensão, com profundidade máxima de 8 metros e 50 metros de largura máxima descrita desde 2002 por seus processos erosivos existentes (ALVES, 2002; SILVA, 2005, GARBIM JR, 2006, PINESE JR, 2006, BEZERRA, 2006).

Está área encontra-se altamente degradada pela ação antrópica, marcada com início de sua exploração pela retirada da vegetação natural para formação de pastagem e posteriormente com a atividade de exploração de cascalho. Com o desenvolvimento destas atividades e pela falta de um correto manejo e conservação do solo, a voçoroca se estabeleceu na área.

Nishiyama (1989) descreve a geologia do município contendo litologias associadas ao Grupo São Bento (Formação Serra Geral e Botucatu), Grupo Bauru com as Formações Adamantina e Marília assim como Complexo Goiano e Grupo Araxá.

Segundo Reis (2007) a voçoroca presente na área de estudo situa-se no contato litológico entre os Grupos São Bento e Bauru, onde são encontrados traços da presença de arenitos permeados por lentes de siltitos e argilitos, fato que ocorre primordialmente no médio curso da voçoroca. A jusante deste ponto na foz da voçoroca são encontrados afloramentos basálticos provenientes do Grupo São Bento.



Mapa 1 - Localização da Área de Estudo. Fonte: Danelon, 2012.

O município de Uberlândia está inserido no Domínio Morfoclimático dos Cerrados, a compartimentação do relevo na área é denominada de Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, caracterizados por relevos tabulares levemente ondulados e apresentando altitudes inferiores a 1000 metros (SILVA, 2010).

Os solos da área de acordo com Bezerra (2006) são bastante ácidos e apresentam pouca fertilidade natural, com predominância do Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo com textura argilo-arenosa.

A área de estudo também foi utilizada para o desenvolvimento dos estudos de Reis (2007), que expõe que na área de estudo são encontrados apenas dois locais com a presença de solo estruturado, sendo, uma à montante do local do voçorocamento onde existe a presença de Latossolo Vermelho Amarelo e também são encontrados Neossolos Litólicos pouco desenvolvidos próximos a área onde ocorrem os afloramentos de basalto junto a foz da voçoroca.

5. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO-CONCEITUAL

5.1. Áreas Degradadas

As paisagens pautadas a partir de um viés na ecodinâmica apresentam-se em equilíbrio dinâmico, uma vez que nessas áreas os fluxos de energia e matéria ocorrem de maneira autorregulada (TRICART, 1977; ROSS, 1992, 1994; KAWAKUBO *et al.*, 2005). No entanto, ao acrescentar a esta equação as variáveis provenientes das atividades humanas, o equilíbrio pode ser rompido podendo causar interferências negativas nas paisagens.

A degradação das paisagens é um exemplo do desequilíbrio proporcionado pelas atividades humanas às quais, para que possam se desenvolver da forma mais viável, acabam por desconsiderar os limites de alteração suportável por estas paisagens.

Carpanezzi *et al.*, (1990) define ecossistemas degradados como aqueles que tiveram retirada sua cobertura vegetal, por conseguinte, perdendo seus meios de recuperação bióticos (bancos de sementes e plântulas de rebrota). Para Lepsch (1994), a degradação ocorre quando as atividades humanas alteram a paisagem, iniciando pela retirada de sua cobertura vegetal, que poderá desencadear a degradação ambiental de variadas maneiras como a lixiviação, acidificação, salinização, desertificação, poluição, degradação física e erosão, que poderão ocorrer de acordo à suscetibilidade de cada local em desenvolvê-las.

As áreas degradadas caracterizam-se como áreas desprovidas de capacidade de reaver a perda de matéria orgânica do solo, assim como nutrientes, biomassa e estoque de propágulos (BROWN & LUGO, 1994). Para MINTER/IBAM (1990), que utiliza um

viés diferenciado na questão de degradação, baseado nos ecossistemas, os mesmos são considerados degradados quando perdem sua cobertura vegetal e fauna, além da perda da camada superficial do solo e alteração nos sistemas hídricos, a partir de atividades agrícolas intensas ou mineração, assim como processos erosivos acentuados.

De acordo com Valentin *et al* (2005), a erosão tem sido um dos fatores mais relevantes quando se trata da degradação dos solos em âmbito global, sendo controlada por agentes externos como erosividade da chuva, topografia do terreno e cobertura vegetal do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993).

Neste contexto, degradação dos solos consiste na transição de um estado de equilíbrio, ocorrendo um déficit de energia no sistema que afeta os processos biológicos. E no que se refere aos solos, o efeito da degradação é diretamente proporcional à intensidade da remoção da cobertura vegetal, que altera a ciclagem de nutrientes podendo chegar a cessá-la (DUARTE & CASA GRANDE, 2006).

Estudos apontam que no ano de 2001 cerca de 1 (um) bilhão de toneladas foram erodidas em áreas com atividades agrícolas, fato este que acarreta um grande prejuízo econômico e ambiental (LEPSCH, 2010). Desse modo, a compreensão da dinâmica dos processos erosivos e a aplicação de medidas que possam amenizá-los, contê-los ou mitigá-los se apresentam com grande relevância para evitar a degradação das paisagens.

5.2.Processos Erosivos

A superfície do planeta embora se aparente estática a nossos olhos, encontra-se em constante modificação. Desse modo, as formas do modelado terrestre como as que temos atualmente já passaram e ainda continuam passando por intensas modificações. Estas transformações podem ocorrer em diversas temporalidades, podendo ser de longa duração, quase imperceptíveis ou instantâneas.

O principal agente escultor do relevo é a erosão, que atua na superfície terrestre de diversas formas, a exemplo da erosão provocada pela água (erosão hídrica), trabalho dos ventos (erosão eólica) e pelo efeito das geleiras (erosão glacial). É nesse contexto que os processos erosivos ganham destaque, pois estes influenciam diretamente o local onde o homem desenvolve todas suas atividades, ou seja, a superfície do planeta.

A ocorrência dos processos erosivos é um acontecimento natural o qual existe mesmo sem a interferência humana. No entanto, as atividades desenvolvidas pelos seres humanos podem acelerar a dinâmica destes processos caso não se tome as devidas precauções (práticas conservacionistas), podendo acarretar a degradação das paisagens (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993; LEPSCH, 1994; GUERRA 1999).

O processo erosivo é composto por três etapas, sendo estas a desagregação (*detachment*), o transporte ou arraste e por fim, a deposição do material (LAL, *et al.*, 2001; CARVALHO, *et al.*, 2006). No entanto, existem divergências de opiniões quanto à presença da deposição no processo erosivo, pois o fato do material ter sido depositado

denotaria a este um caráter de estabilidade que ocasionaria certa incoerência ao considerá-lo como parte do processo erosivo.

No entanto, devemos-nos atentar ao fato de que este material “depositado” pode estar em repouso momentâneo, uma vez que a estabilização de agregados do solo pode não ocorrer de forma instantânea ao cessar o fenômeno de transporte. Logo, não considerar a hipótese de que o processo erosivo é baseado nas três fases supracitadas, torna-se uma ação incoerente quando não se leva em conta o fato de que os agregados do solo ao fim do fenômeno de transporte podem encontrar-se em situações distintas.

A água é o principal agente erosivo nas regiões tropicais, deste modo, todo o processo erosivo é desencadeado nestas áreas a partir do momento que a água entra no sistema, iniciando assim novos fluxos de energia e matéria (TRICART, 1977).

Iniciando-se o evento chuvoso, as gotas de água ao atingirem o solo dão início ao processo erosivo, pois estas dispersam sua energia cinética gerada a partir do percurso de queda causando a desagregação (*detachment*) das partículas superficiais do solo por meio do chamado efeito *splash*.

O efeito *splash* além de desagregar as partículas do solo também pode gerar o selamento do mesmo, diminuindo a quantidade de interstícios presentes em sua superfície, reduzindo desta forma sua capacidade de infiltração. E, uma vez que o solo tem sua capacidade de infiltração diminuída passa a ocorrer a formação de *ponds* (poças) em sua superfície.

A junção de vários *ponds* desencadeia o escoamento superficial difuso também denominado escoamento em lençol (GUERRA, 2010), responsável pela erosão laminar,

a qual embora não cause alterações drásticas nas paisagens, erode enormes percentuais de solo.

Após iniciar a ocorrência do escoamento por lençol, algumas áreas passam a ter perdas mais acentuadas de sedimentos passando a concentrar o fluxo hídrico, é nesse momento que o escoamento superficial concentrado (*runnof*) passa a ocorrer. O *runnof* é o agente causador das feições erosivas, as quais mais se dão destaque os sulcos, ravinas e voçorocas. A concentração do fluxo hídrico passa a escavar o solo formando canais, que inicialmente são de pequena proporções e denominados de sulcos. Os sulcos, com o passar do tempo, e a ação dos processos erosivos podem evoluir tornando-se ravinas.

Segundo Guerra (2010), as ravinas são incisões de pequeno porte feitas na superfície do solo através do escoamento superficial concentrado. Estas nem sempre são distribuídas na superfície de forma paralela, podendo ser por vezes cruzadas ou anastomosadas.

O estágio de evolução de uma ravina pode levar a formação de voçorocas que se tratam de feições erosivas de maior complexidade. E devido a este fato, as voçorocas terão um tópico exclusivo neste trabalho, o qual terá como objetivo abordar mais detalhadamente este tema.

5.3.Fatores Relacionados à erosão hídrica

5.3.1. Erosividade da chuva

A erosividade é um importante fator a se considerar quando tratamos da erosão dos solos. O fator erosividade foi definido por Hudson (1961) *apud* Guerra (2010) como “a habilidade da chuva em causar erosão”. Embora o conceito tenha sido expresso de certo modo “sintetizado” pelo autor, a erosividade é um processo extremamente completo, no qual estão envolvidos uma série de fatores que se correlacionam. Haja vista que o próprio Hudson (1961) coloca que o uso isolado da erosividade para indicar intensidade da erosão em determinada área não é apropriado.

Para Guerra (2009), a erosividade é definida como a propriedade que a água da chuva tem de acarretar a erosão dos solos. No entanto, o autor tem a preocupação de destacar que a erosividade pode ser dimensionada através da energia cinética proveniente das águas da chuva. A energia cinética segundo Goudie (1985) *apud* Guerra (2010) é a energia proveniente do movimento translacional de um corpo.

É nesse contexto que a erosividade figura no cenário dos processos erosivos, pois a mesma através da energia cinética das gotas da chuva que ao atingirem o solo dispersam essa energia, dando início ao processo erosivo a partir da desagregação (*detachment*) das partículas de solo causando efeito *splash*.

Deve-se também considerar a intensidade das chuvas quando se pretende compreender a dinâmica da erosividade. Vários autores buscaram estimar a intensidade em que as chuvas mais acarretariam processos erosivos nos solos, no entanto, devido a

complexidade do processo vários foram os valores encontrados. Guerra (2010), Morgan (2005) e Wischmeier (1959) definem que as chuvas com intensidade de 50 a 100 mm/h possuem a maior capacidade de desagregação (*detachment*).

5.3.2. Erodibilidade do solo

A resistência que um solo oferece a ser erodido é definida por Morgan (1986) como erodibilidade. Fatores que resulta da interação entre o meio e as propriedades do solo, as quais são condicionantes no comportamento do mesmo frente aos processos erosivos. Dentre as propriedades que interferem nos processos erosivos destacam-se a textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e o pH do solo (GUERRA, 2010).

Entre as propriedades do solo que interferem no processo erosivo, as quais foram listadas anteriormente, podemos destacar a relação da matéria orgânica com a erosão. Essa relação se apresenta de maneira inversamente proporcional, uma vez que, é a redução ou a ausência dos índices de matéria orgânica que favorece a ocorrência do processo erosivo (WISCHMEIER & MANNERING, 1969).

Sabe-se que uma fração considerável do aporte de matéria orgânica presente nos solos é composta por raízes e microrganismos. Estes por sua vez interagem com os compostos minerais existentes nos solos, atribuindo a este maior estabilidade, a partir do chamado complexo *humos-argila*.

A existência deste complexo e seu papel de fundamental importância na estabilidade dos agregados do solo e, por conseguinte na redução dos processos

erosivos, que é defendida em estudos de diversos autores em todo o mundo, de modo que se pode citar a extensa revisão de bibliografia sobre este assunto presente no trabalho de Guerra (1990).

5.4.Voçorocas

A erosão por voçorocamento é considerada o ápice do estágio evolutivo das feições erosivas. A gênese de formação das voçorocas pode advir de causas variadas, as quais se podem destacar o escoamento superficial concentrado (*runnof*), a evolução das ravinas e o abatimento da superfície do solo devido processos erosivos decorrentes em subsuperfície (*piping*).

Santos (2002) expõe que as voçorocas advêm da evolução dos processos erosivos relacionados à erosão hídrica, tendo início com o escoamento laminar que após se concentrar gera a formação de sulcos, posteriormente ravinas que ao se aprofundarem nos terreno evoluem para as voçorocas.

A erosão subsuperficial por meio da formação do *piping*, o qual é responsável por significativa quantidade de material erodido, pode vir a formar túneis de grandes proporções em subsuperfície que ocasionando a instabilidade das áreas superficiais dos solos que desmoronando dando origem a grandes crateras. Estas após o ocorrido passam a sofrer influência dos processos erosivos superficiais que dão prosseguimento no avanço evolutivo das mesmas podendo resultar no aparecimento de voçorocas.

O conceito de voçoroca é motivo de debate no meio que envolve as ciências da terra (Geografia, Geologia, Agronomia etc.). Isto porquê as diferentes áreas do

conhecimento envolvidas possuem suas diretrizes de análise distintas, fato que pode determinar considerações diversas sobre um determinado assunto.

De acordo com Guerra (2010), voçorocas seriam feições erosivas com paredes laterais íngremes e fundo chato em formato de “U” onde ocorre a concentração do fluxo hídrico durante os eventos chuvosos. As voçorocas podem aprofundar-se tanto no nível topográfico alcançando o lençol freático, fato que denota a estas outra dinâmica interna, devido ao fluxo hídrico que passa a ser contínuo no canal.

Quanto à complexidade dos processos erosivos por voçorocamento não resta dúvida que os mesmos geram divergências de opinião no que diz respeito a sua conceituação, uma vez que a dinâmica evolutiva das voçorocas é o assunto ao qual é atribuído o maior número de questionamentos. Logo, ao haver divergências na interpretação da dinâmica de um processo a sua conceituação logicamente fica comprometida, pois, não se têm padrão estabelecido.

Deste modo, um fato que se deve levar em consideração no que se refere aos conceitos apresentados sobre as voçorocas, é que os estudos realizados pelos mais diversos autores para que estes fossem estabelecidos se passaram em regiões e sobre circunstâncias distintas, podendo assim as características destas regiões e a interferência externa do meio, ter promovido realmente dinâmicas singulares quanto ao mesmo fato.

Contudo, ao se adotar conceitos preexistentes sobre determinado assunto deve-se atentar para o fato de que estes podem ter sido pensados e desenvolvidos em locais e momentos que diferem de onde se tem o intuito de aplicá-los. Portanto, a reflexão conceitual apresenta-se de fundamental importância para o êxito da pesquisa, pois esta

possibilita que conceitos e metodologias sejam adaptados a cenários variados, gerando a evolução de determinado assunto.

5.4.1. Erosão Remontante

De acordo com Guerra (2010) a evolução das feições erosivas de jusante para montante recebe a denominação de erosão remontante. Esta por sua vez pode ter sua ocorrência identificada a partir da observação quanto à presença de determinadas feições erosivas em particular. A ocorrência de fluxos lineares desencadeia a formação de alcovas de regressão, marmitas ou panelas, filetes subverticais e dos escamamentos. Especialmente as alcovas de regressão consistem em uma forma de indicar a existência da erosão remontante em determinada área (REIS, 2007).

A presença de água no interior dos canais erosivos durante os eventos chuvosos acarretam o surgimento dos processos erosivos supracitados, que consistem em negatividades nos solos, uma vez que as camadas inferiores do solo passam a ser retiradas gerando assim certa instabilidade das camadas superiores, que sem sustentação entram em colapso e desabam. Deste modo se dá continuidade ao aumento dos canais erosivos, fato que pode ser frequentemente notado na evolução de voçorocas.

5.5.Processos erosivos no Triângulo Mineiro

O Triângulo Mineiro está situado na porção oeste do Estado de Minas Gerais no âmbito morfoestrutural na Bacia Sedimentar do Paraná. Esta região faz parte do completo nominado por Ab'Saber (2003) como “Domínio Morfoclimático dos

Cerrados”, onde são encontradas as diferentes fitofisionomias que compõe os cerrados no Brasil (cerrado campo sujo; cerrado senso restrito; cerradão).

No que tange a questão edáfica, o Triângulo Mineiro possui variados tipo solos, entre os quais se destacam as diferentes classes de latossolos. Segundo o mapeamento realizado pela EMBRAPA (1980) *apud* Guerra (2010), há predominância dos Latossolos Vermelho-Escuro álico nos locais de relevo dissecado; Latossolo Vermelho-Amarelo álico que ocorre geralmente nas áreas de interflúvio; Latossolo Roxo eutrófico e distrófico aparecendo em algumas vertentes, e baixos cursos de rios da região a exemplo do Rio Uberabinha; além de Cambissolos eutrófico nos sopés das encostas; e Gleis Húmicos álicos e distróficos em áreas de fundo de vale.

De acordo com Guerra (2010), entre os solos mais susceptíveis à erosão destacam-se os Neossolos, Cambissolos, Argissolos e Latossolos de textura média. Ressalta-se que todos os solos supracitados ocorrem na região dos Cerrados com destaque principal aos Latossolos de textura média.

O contexto da área de estudo conforme já caracterizada anteriormente, se apresenta em consonância às características pedológicas do Triângulo Mineiro haja vista que o município de Uberlândia insere-se nesta região.

5.6. Medidas físicas de controle dos processos erosivos

A região dos Cerrados possui variadas tipologias de solos e entre estes existem alguns exemplares que são mais susceptíveis à ocorrência dos processos erosivos, entre os quais a erosão por voçorocamento é mais voraz.

Neste contexto, em que as ações conservacionistas apresentam-se com o intuito de coibir ou reduzir o efeito dos processos erosivos. Estas ações irão variar de acordo com a tipologia de processo que se visa atacar e qual fator condicionante do processo que deverá ser combatido diretamente (efeito *splash*, *runnof*, capacidade de armazenamento de água no solo, etc.) (GUERRA, 2010). Vale destacar que é possível determinar medidas que foquem atuar em mais de um dos fatores condicionantes.

No que se refere aos processos erosivos, podem ser aplicada medidas físicas, edáficas e biológicas, com o objetivo de prevenir ou reduzir os efeitos de degradação ocasionados pelos mesmos (SILVA, 2010).

De acordo com Pruski *et al*, (2006) e Pires & Souza (2006) apud Machado (2007), medidas físicas ou práticas mecânicas, são aquelas que utilizam-se de estruturas artificiais visando a redução dos escoamentos do fluxo hídrico em superfície, interceptando-o e fazendo com que este ocorra com grau de energia que não provoque perdas de agregados do solo superiores aos limites toleráveis.

Para a contenção dos processos erosivos por voçorocamento Morgan (2005) propõe algumas metodologias que visam reduzir a evolução desses processos. Utilizando a tradução literal dos termos em inglês destacam-se como meios para reduzir à evolução dos voçorocamentos, as “cercas de sedimentos” (*silt fences*), as “lagos de decantação” (*sedimentation ponds*) e os “controladores de voçorocas” (*gully control*). Estas práticas fazem parte das medidas físicas que buscam promover a contenção dos processos erosivos a partir a implantação de determinadas estruturas nas áreas afetadas pelos mesmos (tradução nossa).

As cercas de sedimentos ou *silt fances*, consistem em malhas geotêxteis sintéticas afixadas em postes verticais instalados no fundo das voçorocas visando a formação de uma cerca. O intuito das cercas de sedimentos não é bloquear o fluxo no interior da voçoroca, mas sim reter os sedimentos transportados por este. É de fundamental importância que as cercas sejam afixadas de maneira contundente para que venham a suportar as cargas hidráulicas exercidas pelo fluxo hídrico (MORGAN, 2005, tradução nossa).

Seguindo a mesma lógica das *siltfances*, lagoas ou bacias de sedimentação buscam reter os sedimentos em suspensão que são transportados no interior das voçorocas e posteriormente permitir com que o fluxo hídrico prossiga seu trajeto de um modo mais cadenciado (MORGAN, 2005). Como é praticamente impossível impedir a passagem do fluxo hídrico, as lagoas objetivam diminuir a velocidade deste a partir de um represamento, fato que acarreta uma diminuição no potencial de arraste do fluxo permitindo que as partículas em suspensão naturalmente decantem (tradução nossa).

De acordo com Morgan (2005), os controladores de voçorocas (*gully control*) se tratam de estruturas construídas no interior dos voçorocamentos que procuram diminuir a perda de sedimentos. Estas estruturas são pequenas barragens que variam entre 0,4 m e 2,0 m de altura, construídas com terra, tábuas de madeiras, gravetos e rochas soltas. Nas barragens devem ser construídos vertedouros para permitir a saída do fluxo de forma controlada e com energia reduzida (tradução nossa).

No caso da construção de várias barragens no decorrer do canal deve-se utilizar o pressuposto *head-to-toe*, que consiste no fato de que o limite superior da barragem a montante seja o remanso da barragem situada à jusante.

Este tipo de barramento tem o objetivo de elevar o nível de base no interior do canal através do acúmulo de sedimento, proporcionando assim maior estabilidade à voçoroca. No entanto, deve-se ressaltar que esta prática necessita de constante manutenção, haja vista que o contato direto com o fluxo hídrico pode proporcionar avarias na estrutura da mesma comprometendo o êxito de sua função.

Além disso, é indicado que na área de entorno sejam aplicadas outras medidas paliativas baseadas em técnicas agronômicas, a exemplo da construção de terraços e *mulching* vertical buscando diminuir a chegada de fluxo proveniente da área externa à voçoroca (SILVA, 2010).

6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS

6.1.Método

Os procedimentos metodológicos estão divididos em três categorias: experimentos e mensurações em campo, análise laboratorial e comparação de dados.

6.1.1. Experimentos e Mensurações em Campo

Os procedimentos desta categoria compreendem a instalação de paliçadas no interior da voçoroca, o monitoramento do nível do sedimento retido em cada barreira, com uma medida fixa aproximada de 80 centímetros da barreira de paliçada. Avaliação da vazão da água do lençol que nasce no interior da voçoroca, através de um vertedouro construído no final da voçoroca. O monitoramento da quantidade de sedimento suspenso na água que passa pelas barreiras. Mensurar a quantidade de chuva do período, bem como, avaliação da eficiência dos materiais utilizados na construção das barreiras. Registro fotográfico para o monitoramento da funcionalidade das barreiras e monitoramento da vegetação natural no interior da voçoroca.

Os dados de monitoramento de vazão, sedimento disperso em água é precipitação foram obtidos entre julho de 2010 e dezembro de 2012, ficando analisado

um ano antes da instalação das barreiras e um ano e meio após a instalação das barreiras.

Foram construídas 5 barreiras de paliçada no interior da voçoroca entre os dias 05 e 21 de julho, ficando em monitoramento até 21 de dezembro de 2012. O número de barreiras construídas foi devido a diversos fatores, entre eles podemos destacar a altura das barreiras, uma vez que quanto menor o número de barreiras maior deve ser a altura da barreira para cobrir o mesmo comprimento de voçoroca. A técnica de paliçada prioriza que se façam as barreiras de maneira que a cota altimétrica de base da barreira a montante esteja na mesma cota da altura da barreira à jusante, ou seja o limite superior da barragem a montante seja o remanso da barragem situada à jusante. Assim outros fatores devem ser levados em consideração, pois quanto maior a altura maior deve ser a resistência da “parede” escolhida como suporte da barreira, uma vez que as feições erosivas são muito instáveis e frágeis.

No sentido de resistência das barreiras o que se obteve é que a retenção de sedimento provoca grande peso nas estruturas, e um dos principais motivos do rompimento das barreiras desenvolvidas nesse trabalho foi o peso do sedimento na base da barreira. Após refazer as barreiras trançando um número maior de sacos de ráfia que foram fixados na barreira até um metro da base, os rompimentos ocorreram pela força exercida pelo acúmulo de sedimentos sobre esses sacos. Após este reparo a medida que as barreiras retiam sedimentos, começavam a se romper na base, pois o entrelaçamento dos sacos de ráfia não suportou a pressão. Dessa forma o saco de ráfia reveste as estruturas da barreira, a lateral da feição onde foi fixada a barreira e o fundo da voçoroca (até um metro da base da barreira), formando uma proteção para reter a água e os sedimentos na barreira.

6.1.2. Análises Laboratoriais

As análises para monitorar a quantidade de água escoada, e de sedimento transportado por esta, através do canal principal da voçoroca objetivam avaliar as diferenças provocadas pela instalação das barreiras no interior do canal. Para tanto deve ser monitorada a precipitação, pois influência diretamente a vazão e o transporte de sedimentos pela água.

O Laboratório de Geomorfologia e Erosão de Solos – LAGES tem condições de elaborar análises de vazão da água, de sedimentos disperso em água e precipitação, dando suporte a pesquisa de campo.

Para a coleta da água e mensuração da vazão, foi construído um vertedouro retangular (Figura 1), instalado em um trecho retilíneo da corrente junto à foz 1 da voçoroca, pegando assim toda a água proveniente da mesma. A vazão é medida para analisar a quantidade de água que escoar da voçoroca, e se esta sofreu influência das barreiras.



Figura 1 - Vertedouro localizado na Fazenda Experimental do Glória. Autor: PEREIRA, 2011.

A coleta da água com sedimentos é realizada quinzenalmente através de recipientes iguais com capacidade de dois litros, essas amostras são coletadas com uma diferença de duas a quatro horas uma da outra. Na etapa de laboratório é realizada a determinação da concentração de sedimentos em suspensão da área da voçoroca e processamento dos dados obtidos em campo. Para determinação da concentração de sedimentos foi utilizado a água contida nos recipientes de plástico, papel de filtro 40x40, água desmineralizada, funil, provetas para retenção da água, balança de precisão HR-200 de 0,0001 gramas. Primeiramente os filtros foram dobrados e umedecidos com água desmineralizada e deixados para secar durante 2 dias, a fim de homogeneizar os poros dos mesmos. Posteriormente cada amostra de água foi filtrada (Figura 2) em papel de filtro previamente numerado e pesado, e finalmente os filtros são colocados para secar durante dois dias, obtendo-se a segunda pesagem desses filtros. A quantidade de sedimentos suspenso foi obtida pela diferença entre as pesagens.



Figura 2 - Filtragem de Sedimentos. Autor: PEREIRA, 2012.

A mensuração da vazão, também realizada quinzenalmente, é feita com o auxílio de um cronômetro para marcar o tempo que a água do canal leva para encher um balde de 10 litros (Figura 3). São feitas dez medições, cinco delas obtidas no momento que se retira a primeira amostra de água e as outras cinco junto com a coleta da segunda amostra.



Figura 3 - Coleta de vazão em área de Voçoroca. Autor: PEREIRA, 2012

O processamento dos dados para o cálculo da vazão, composto pelas dez tomadas de tempo registradas em campo, é feito através da média aritmética simples desses tempos, obtendo assim a vazão da água do dia monitorado.

Para um maior entendimento da dinâmica dos sedimentos é obtido à quantidade de precipitação dos meses analisados junto a um pluviômetro localizado na própria fazenda e de dados obtidos junto Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Uberlândia. Assim é possível analisar a relação entre vazão, quantidade de sedimentos transportados e precipitação.

6.1.3. Comparação dos dados:

- Dados de vazão da água escoada do interior da voçoroca, antes e após a implantação da barreira;
- Dados de sedimentos dispersos na água da voçoroca, antes e depois da instalação das barreiras;
- Comparar dados das medidas de sedimento retido nas barreiras;

6.1.4. Materiais:

Os materiais usados para realizar o trabalho proposto seguem abaixo:

- 10 Bambu;
- Arame inox;

- Sacos de ráfia de 50 kg;
- Estacas, fio de náilon, nível de mangueira;
- Vergalhão de 1,50 cm;
- Trado;
- Sacos plásticos codificados;
- Vertedouro retangular;
- Baldes de 10 litros;
- Recipiente plástico com capacidade de 2 litros;
- Régua de 1 metro;
- Cronômetro;
- Pluviômetro;
- Balança de precisão HR-200 de 0,0001 gramas;
- Papel de filtro 40x40;
- Água desmineralizada;
- Funil;
- Provetas para retenção da água;

Os bambus usados na construção foram da espécie *Guandua angustifolia*, que tiveram os últimos metros descartados, por terem pequeno diâmetro e baixa resistência para construção das barreiras. A quantidade de eucalipto usado na construção das barreiras com os respectivos diâmetros estão na tabela 1.

Tabela 1- Estrutura das Barreiras de Madeira.

POSTES DE EUCALIPTO TRATADO		
COMPRIMENTO (METROS)	DIÂMETRO (CENTÍMETROS)	QUANTIDADE (UNIDADE)
3,2	12 a 14	20
2,5	12 a 14	20
2,5	14 a 16	8

6.2.Procedimento Técnico

A técnica de implantação das barreiras seguiram as recomendações presentes em Machado *et al* (2006). Porém adaptações foram necessárias uma vez que existe água constantemente na barreira, sendo preciso represar a água para conter os sedimentos.

Esse represamento exigiu que sacos de ráfia fossem colocados justapostos na “parede” da voçoroca (Figura 4 [A e B]), onde foram encaixados os postes de eucalipto e as estacas de bambu. Esta medida se fez necessária para que a água não solape a parede de sustentação da barreira, uma vez que é usado sedimento para seu preenchimento.



Figura 4 - (A) Sacos de ráfia colocados justapostos firmando o solo entre parede da voçoroca e postes de madeira. **(B)** Zoom dos sacos de ráfia colocados justapostos firmando o solo entre parede da voçoroca e postes de madeira. Autor: PEREIRA, 2011

Com o mesmo objetivo de proteger as paredes de sustentação das barreiras e para direcionar o fluxo da água, foram cortados os postes de eucalipto e as estacas de

bambu na parte superior da barreira de forma a se obter um vertedouro retangular. As medidas das secções foram de aproximadamente sessenta centímetros na vertical e trinta centímetros na horizontal (Figura 5). A base do vertedouro de todas as barreiras ficou com uma altura de 100 centímetros da base da barreira.



Figura 5 - Vertedouro retangular. Autor: PEREIRA, 2011.

Foram construídos dois tipos de barreiras, uma de eucalipto e outra de bambu (*Guandua angustifolia*). Os postes de eucalipto tratado possuíam diâmetros entre 12 e 16 cm, colocadas na horizontal, assim como as os bambus, com a finalidade de formar as barreiras como uma “parede horizontal”.

Cada barreira possui de duas a três estacas ou postes colocados na vertical como escoras para diminuir a carga que a paliçada exerce na parede da voçoroca. Foram usados ainda sacos de ráfia vazios na parte frontal da barreira, proporcionando uma “cortina” que diminui a passagem de água na barreira e possibilita o barramento da água e sedimento, e cheios na parte frontal e atrás da barreira, para escorá-la evitando o

rompimento. Após um ano de implantação, as paliçadas receberam manutenção (reforma dos sacos de ráfia).

Para as mensurações do nível de sedimento no fundo das barreiras foram fixadas 2 estacas, uma do lado direito e outra do lado esquerdo do canal no mesmo alinhamento da barreira distanciados aproximadamente 80 cm a montante da barreira. As estacas foram fixadas em nível com auxílio de um nível de mangueira, onde foi esticado um fio de náilon de modo a permitir que uma trena fosse esticada sobre este, demarcando a secção do canal antes da barreira. Com uma régua foi medido a profundidade na secção de cada barreira de 25 em 25 centímetros. Como o monitoramento dos sedimentos ficaram difíceis de serem realizados com o fio de náilon, devido problemas como materiais arrastados pelas águas que arrebentavam os fios, foram instalados vergalhões nos locais onde se encontravam os fios de náilon.

Os vergalhões foram colocados no meio da secção onde encontrava cada fio de náilon. As dimensões usadas são de 1,50 m de comprimento, foram enterrados aproximadamente 0,50 m de cada vergalhão, ficando o restante fora do solo para mensurações mensais.

6.2.1. Escolha, Construção e Manutenção dos Barramentos

Foram construídas cinco barreiras de paliçada, três delas usando madeira de eucalipto tratado e duas delas usando bambu, dispostas de maneira intercalada uma com a outra. Para um melhor entendimento da disposição das barreiras na voçoroca e o material utilizado (madeira ou bambu), foram classificadas as barreiras de acordo com a tabela 2. A figura 06 ilustra a forma esquemática a posição das barreiras construídas.

Tabela 2 - Classificação e coordenadas geográficas das barreiras físicas.

BARREIRAS
Barreira 1 Madeira – B1M
Barreira 2 Madeira – B2M
Barreira 3 Madeira – B3M
Barreira 1 Bambu – B1B
Barreira 2 Bambu – B2B

Figura 6 - Esquema de localização das barreiras. Autor: PEREIRA, 2012.



Primeiramente para a escolha do local de construção das barreiras, foram avaliadas detalhadamente as condições locais, levando em consideração a resistência das paredes, a distância entre estas e distância entre as barreiras. Essas considerações visam escolher locais mais estáveis de forma que as barreiras não sejam perdidas por desbarrancamento, o que levaria a perda de sustentação das paliçadas.

Em relação a resistência das barreiras pode se dizer que a retenção de sedimento provoca grande peso nas estruturas, e um dos principais motivos do rompimento das barreiras desenvolvidas nesse trabalho foi o peso do sedimento na base da barreira. Após refazer as barreiras trançando um número maior de sacos de ráfia que foram fixados na barreira até um metro da base, os rompimentos ainda ocorreram pela força exercida do acúmulo de sedimentos sobre esses sacos. Com esse reparo algumas paliçadas ao atingirem uma determinada altura de retenção de sedimentos, romperam na base, pois o entrelaçamento dos sacos de ráfia não suportou a pressão. Dessa forma o saco de ráfia reveste as estruturas da barreira, a lateral da feição onde foi fixada a barreira e o fundo da voçoroca (até um metro da base da barreira), formando uma proteção para reter a água e os sedimentos na barreira.

A distância entre as paredes da feição erosiva do local de instalação das paliçadas (Figura 6 [A e B]) deve ser a menor possível, de maneira a usar madeira e bambus com comprimentos máximos de 3,20 metros, possibilitando transporte desses materiais até a voçoroca. A inconveniência de usar esses materiais com comprimento maior que o determinado é o fato das voçorocas geralmente estarem em locais de difícil acesso, e a locomoção no interior da feição erosiva também se torna um empecilho. Outro aspecto importante é que quanto maior os comprimentos, maior serão o número de escoras, colocadas verticalmente, e maior o risco da paliçada se romper.

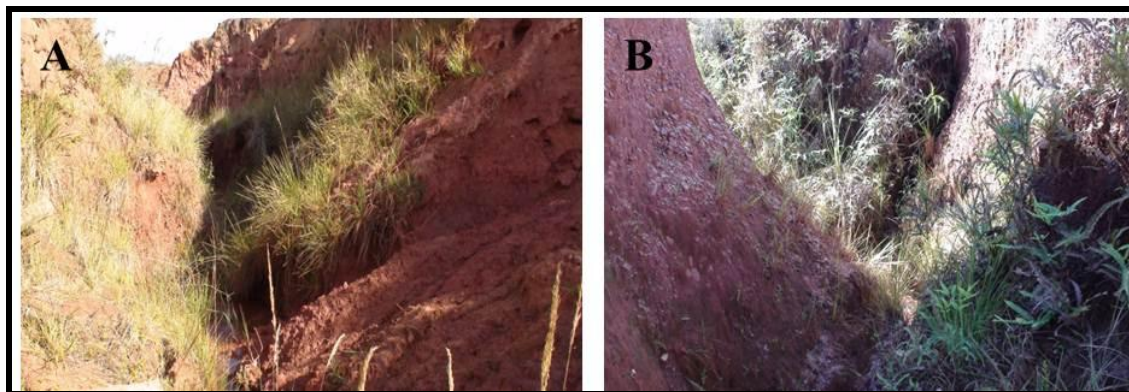


Figura 6 – (A) Local de instalação da B1M. (B) Local antes da construção da barreira B2M. Autor: PEREIRA, 2011.

Após a escolha rigorosa do local, inicia-se a construção da barreira marcando a parede da voçoroca de modo que a barreira fique perpendicular ao canal principal do curso d'água. Com as paredes marcadas se inicia a abertura da canaleta nesta, com espessura entre 30 a 50 cm, fazendo com que a madeira ou bambu que formará a barreira, caiba e sobre espaço suficiente entre a cavidade e a paliçada (Figura 7 [A, B e C]) para que sejam manuseados sacos de ráfia, com as paliçadas nesse local.

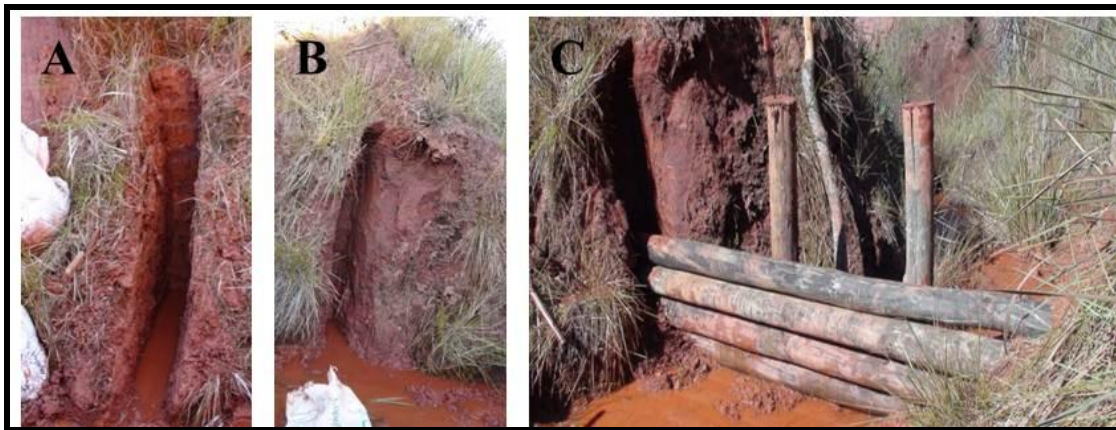


Figura 7 – (A) e (B) Valetas feitas na parede da voçoroca. (C) Construção da barreira B1M. Autor: PEREIRA, 2011

Esse espaço é importante para ajustes de ângulo da barreira e necessário para que consiga manipular os sacos de rafia entre a parede e a paliçada, porém se o espaço for muito grande poderá interferir negativamente na sustentação da parede.

Os sacos foram abertos, colocados justapostos um ao lado do outro e um terceiro entre os dois, foram fixados com pequenos pedaços de arame em suas laterais para maior resistência dos sacos. Dessa forma os sacos diminuem a passagem da água e filtra o sedimento, fazendo com que a velocidade da água diminua e não exerça ação de cisalhamento direto sobre o sedimento colocado para fixar a barreira. A ausência do saco permite a livre passagem da água que carreará os sedimentos de sustentação da barreira, fazendo com que a barreira perca sustentação e seja perdida.

A profundidade da valeta aberta para sustentar a paliçada dependerá de diversos fatores como espessura da parede, distância entre as paredes e comprimento da paliçada, fatores esses levados em consideração no momento da escolha do local. Uma parede com maior profundidade permite um contato maior com a paliçada, o que possibilita um escoramento maior na parede em virtude da profundidade da valeta escavada. Porém isso nem sempre é possível, lembrando que quanto menor sua profundidade na parede

mais escoras verticais deverão ser colocadas à jusante da barreira de forma a auxiliar na sustentação da barreira.

Para escorar as barreiras e diminuir a pressão nas paredes da feição erosiva, que já são fragilizadas pelo processo erosivo, foram utilizadas de duas a três estacas, dependendo da distância entre as paredes da feição erosiva (Figura 8 e 9). Estas devem ser colocadas verticalmente encostadas na paliçada exercendo força contrária ao fluxo da água, de modo que a força seja mais intensa nas escoras que na parede da voçoroca. Para isso é necessário que seja escavado um buraco no solo de forma a abrir uma cavidade de 0,90 a 1,20 m de profundidade (Figura 10), com diâmetro suficiente para colocar os postes mais grossos. O diâmetro usado para os postes de escora de eucalipto foram 14 a 16 cm com 2,5 m de comprimento, já para as barreiras de bambu, utilizou-se os bambus mais grossos, geralmente a base do bambu. As distâncias entre estes postes variaram entre 50 e 90 centímetros, em função da estabilidade e distância da parede escolhida.



Figura 8 - Construção da barreira B3M. Detalhe dos dois primeiros postes na horizontal. Autor: PEREIRA, 2011



Figura 9 – Barreira B1B construída. Detalhe das escoras de bambu. Autor: PEREIRA, 2011



Figura 10 - Buraco feito para colocar a escora de madeira B2B. Autor: PEREIRA, 2011.

Este processo de colocar escoras verticais é complexo, pois no local trabalhado o material é muito solto e úmido, o que faz com que o solo desmorone antes que se consiga colocar o poste. Outra dificuldade é a água constante no local, que por ser na maioria das vezes um local bem encaixado, não permitem que a água seja desviada para a realização das atividades necessárias.

Sacos de ráfia cheios de sedimentos, obtidos dentro do próprio canal, também devem ser usados para sustentar a barreira, servindo como escoras colocadas a montante e a jusante da barreira de paliçada, ancorada entre parede da feição erosiva e a barreira (Figura 11 [A e B]).



Figura 11 – (A) Barreira B1B construída. Detalhe dos sacos de ráfia cheios de terra. (B) Local após a construção da barreira B2M. Detalhe dos sacos de ráfia. Autor: PEREIRA, 2011.

Com a valeta da parede pronta e as escoras fixadas na frente da barreira, é colocado um poste na horizontal para marcar o alinhamento a ser escavado para que o primeiro poste fique pelo menos $\frac{2}{3}$ de seu diâmetro (de 8 a 10 cm) abaixo do nível do canal (Figura 12 [A e B]). Este procedimento tem a função de impedir que a água passe por baixo da barreira, fazendo com que esta perca sua função.

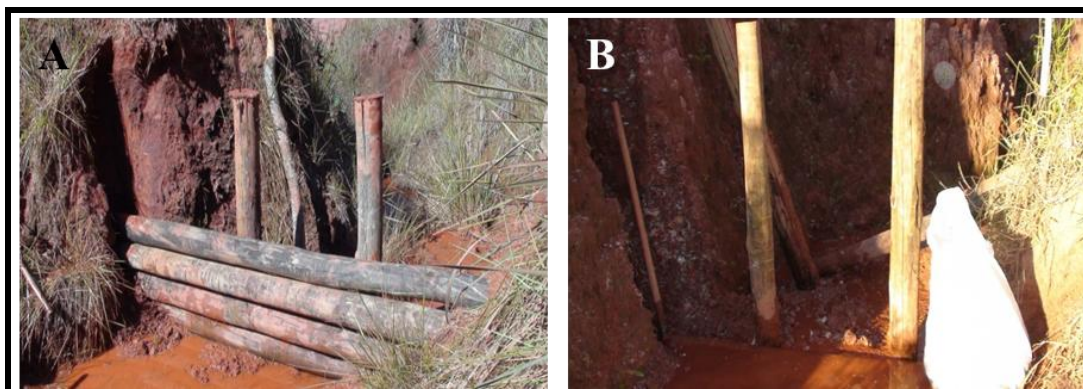


Figura 12 – (A) Construção da barreira B1M. (B) Construção da barreira B3M. Detalhe dos dois primeiros poste na horizontal. Autor: PEREIRA, 2011

Colocando o primeiro poste na horizontal, os outros postes devem vir na sequencia um por cima do outro, sendo necessário a cada dois postes colocar sacos de ráfia vazios (Figura 13 [A e B]). A função do saco é proteger o solo que fixará as paliçadas na parede da voçoroca, contra a pressão que a água exercerá no solo sobre as paliçadas.

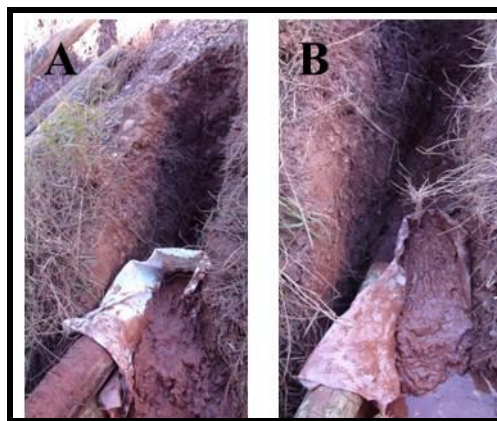


Figura 13 – (A) Cobertura da valeta da parede. (B) Detalhe enchimento dos sacos de ráfia. Autor: PEREIRA, 2011

Como as paliçadas não são uniformes, a sobreposição entre elas geram muitos espaços vazios entre as paliçadas, e não permite a fixação do sedimento entre elas. Para que as paliçadas consigam reter os sedimentos e possam se fixar na parede da voçoroca, são colocados sacos de ráfia vazios e abertos antes das paliçadas. Esses nesta posição formam uma espécie de filtro para água e não deixa com que os sedimentos passem livremente pelos sacos de ráfia.

É importante que estes sacos recubram toda a paliçada, até mesmo as partes em que estas são enterradas na parede da voçoroca, pois com o represamento da água, essa exercerá uma pressão sobre a barreira e a parede da voçoroca. Assim se existir um único ponto onde a água consiga passar livremente, sem passar pela malha do saco, o nível de

água da barreira será determinado pela altura que se posicionar esse ponto. No entanto se esse ponto se localizar próximo à parede da feição erosiva, a água poderá passar com velocidade nesse ponto e carrear os sedimentos de fixação e a barreira poderá se desmoronar.

Assim essas amarrações de sacos de ráfia vazios devem ser feitos inicialmente pelas laterais onde serão fixadas as paliçadas na horizontal deixando sempre a parte do saco que ficará sentido meio da barreira descoberta, pois após a fixação da parede, deverão ser colocados sacos vazios intercalados. Na figura 14 (A) e (B), é possível ver a sobra dos sacos que foram aterrados nas laterais da barreira.

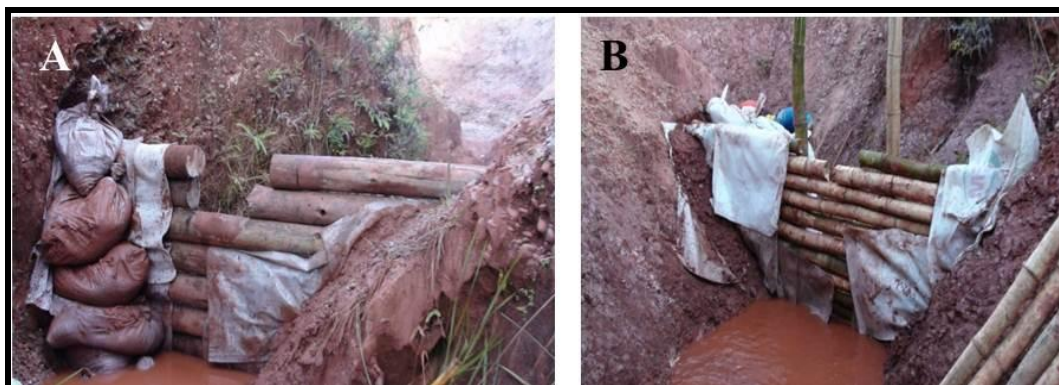


Figura 14 – (A) Local após a construção da barreira B2M. (B) Construção da barreira B2B. Detalhe aterramento das laterais. Autor: PEREIRA, 2011

Da mesma forma que os sacos devem sobrar no sentido lateral/centro da barreira, elas também devem deixar sobras no fundo da barreira de forma que diminua a pressão da água entre a primeira paliçada horizontal e o solo (base do canal). Como inicialmente esses fatores não estavam bem claros, algumas barreiras se romperam por esse motivo, tanto pela água passar livremente entre a primeira paliçada horizontal e a base do canal, como entre a parede de sustentação da barreira e as paliçadas horizontais.

Assim podemos destacar dois processos de grande importância para a técnica:

1- Construção e sustentação da barreira de paliçada;

2- Amarração e justaposição dos sacos de ráfia colocados abertos, posicionados entre a água e a paliçada.

Após colocar todos os postes na horizontal com altura aproximada de 1,30 m (Figuras 9, 11 e 14), fez-se um vertedouro do tipo retangular nas barreiras em posição central, com dimensões de 60 cm de largura por 30 cm de altura, que garante secção suficiente para passar entre 587,12 m³/hora, ou seja, 163 litros/segundo, volume mais que suficiente considerando a vazão existente. Esse vertedouro tem a função de direcionar a passagem da água após enchimento da barreira, de modo que não passe entre o último poste colocado na horizontal e a parede da feição erosiva. Essa condição faria com que a velocidade da água nesse local fosse constante, gerando um desgaste na parede de sustentação da barreira.

7. RESULTADOS

A disposição das barreiras, no sentido cabeceira da voçoroca para sua foz, foram B1M, B1B, B2M, B2B e B3M. O número de barreiras construídas deveu-se principalmente pelo número de vertentes estáveis disponíveis, em distâncias máximas de 3,00 metros, e altura das barreiras.

A ordem de construção das barreiras iniciaram-se com a construção da B1M, porém não se conseguiu êxito em sua construção, pois a mesma havia sido construída conforme técnica de MACHADO et al (2006). A segunda barreira foi a B1B, com sucesso após primeiras adaptações na técnica. As próximas barreiras construídas foram a B2M, seguidas pela B2B. Em setembro de 2011 foram finalizadas as construções das barreiras B1M e B3M.

7.1.Eficiência dos barramentos

7.1.1. Mensuração do Acúmulo de Sedimento nas Barreiras

Após concluir as construções das paliçadas, foi instalado o sistema de monitoramento do sedimento retido para cada uma das barreiras. As construções foram iniciadas dia 05 de julho e finalizadas em 15 de setembro de 2011. As mensurações de sedimento acumulado foram iniciadas em cada barreira com o término de suas construções. Assim as medidas se iniciaram em julho de 2011 e terminaram em dezembro de 2012.

Para medir a eficiência das barreiras é necessário propor uma técnica de monitoramento para medir os sedimentos acumulados por estas. Com isso foram instalados pontos de monitoramento que se localizaram a 80 centímetros antes da barreira de paliçada, ficando cada barreira com um local de monitoramento do sedimento acumulado (Figura 15).



Figura 15 - Fio de náilon para monitoramento de sedimento retido antes da barreira. Autor: PEREIRA, 2011.

Com o desenvolvimento dos monitoramentos notou-se que o método utilizado para monitoramento da sedimentação nas barreiras não era adequado, uma vez que o fio de náilon fica próximo da água e com as chuvas ocorre o arraste de diversos materiais que acabam por arrebentar o fio, e seu reajuste para mesma posição é extremamente difícil. Assim a linha foi substituída por um vergalhão de ferro com comprimento de 1,5 metros. Este foi enterrado aproximadamente 0,5 m ficando 1,0 m para ser mensurado, e foi posicionado no meio da secção do canal nos mesmos locais onde existiam os fios (Figura 16). Essa alteração ocorreu em 26 de janeiro de 2012 em todas as barreiras. Os

valores de sedimentos anteriores a essa data se referem ao valor obtido pelo fio de náilon que representa exatamente o meio das barreiras, ou seja, o mesmo local mensurado pelos vergalhões.



Figura 16 - Vergalhão para monitoramento de sedimento retido antes da barreira. Autor: PEREIRA, 2012.

Assim os monitoramentos de acúmulo de sedimentos nas barreiras foram feitos uma vez ao mês e estão demonstrados nas Tabelas 3 e 4. Existem meses que possuem mais de uma medida, isso se deu pelo fato de ter ocorrido manutenção das barreiras.

Tabela 3 - Dados do monitoramento dos sedimentos retidos pelas barreiras de paliçadas de julho – dezembro 2011.

DATA	B. 1 Madeira (cm)	B. 1 Bambu (cm)	B.2 Madeira (cm)	B. 2 Bambu (cm)	B. 3 Madeira (cm)
Jul/11		93	75,8		
Ago/11		93	76	92	
Set/11	79,7	93	73	91,4	
Set/11	78,3	93	72,8	86,9	92,5
Out/11	75,7	93,8	71,6	86,7	93,4
Nov/11	71,7	93,8	69,8	84,4	90,5
Nov/11	93	94	69,9	82,9	90,5
Dez/11	91	94,4	69	82,9	86,4
Dez/11	90,8	97,5	68,9	18,5	87

Legenda:

Barreiras rompidas	Barreiras reparadas
--------------------	---------------------

Tabela 4 - Dados do monitoramento dos sedimentos retidos pelas barreiras de paliçadas de janeiro – dezembro 2012.

DATA	B. 1 Madeira (cm)	B. 1 Bambu (cm)	B.2 Madeira (cm)	B. 2 Bambu (cm)	B. 3 Madeira (cm)
Jan/12	90,4	90	62,5	15,3	
Jan/12	90,15	98,5	83	43	
Fev/12	85,3	95	79	43,5	100
Fev/12		93	57,9	40	98,5
Mar/12	97,5	90,8	58,7	40,5	96,3
Mar/12	97,35		17,5	37	
Abr/12	97,2		17,8		94
Mai/12	97	90	36,5	87,6	85,4
Jun/12	97	88,8	17,4	89	84,6
Jul/12	96,8	89	17,5	58,5	85,3
Jul/12	96,4	89	17,9	54,4	85
Ago/12	94	94	17,8	53,5	85
Ago/12	96	93,9	17,7	53,7	85,8
Set/12	95,3	91,5	17,7	53,5	85
Out/12	83	27	12,5	90,7	88
Nov/12	81	25	7,4	91,8	87,9
Dez/12	79	27	7,1	92	81,6

Legenda:

Barreiras rompidas	Barreiras reparadas	Barreiras com metade do volume de água	Barreiras repletas de sedimentos
--------------------	---------------------	--	----------------------------------

As tabelas 3 e 4 mostram a eficiência das barreiras, bem como a sedimentação de cada uma delas, já que à medida que as alturas diminuem, mais sedimentos estão acumulados nos locais de medidas. Podemos observar que devido a dificuldade inicial com o barramento todos as barreiras romperam, com exceção da barreira B2M.

A primeira barreira a ser construída foi a B1M, no entanto só foi finalizada em setembro de 2011. Isso por ter sido esta construída da forma como descrita por Machado *et al* (2006), sedo preciso desmontar toda a barreira e remonta-la com as primeiras adaptações necessárias para que fosse possível barrar a água juntamente com o sedimento transportado por esta. Esta barreira rompeu-se em novembro de 2011 e fevereiro de 2012 por ser a primeira barreira construída a montante, onde as pressões relativas a fluxo de água e sedimento principalmente no período chuvoso são maiores.

Após seu segundo reparo, a água não atingiu a altura do vertedor da barreira, sendo necessário um terceiro reparo. Assim esta barreira foi berço de várias adaptações obtidas neste trabalho.

A segunda barreira construída foi a barreira B1B, que se rompeu duas vezes, uma um mês após o rompimento da barreira B1M, localizada a montante, e a segunda após início do período chuvoso em outubro de 2012, permanecendo desta forma.

Como as barreiras a montante da B2M, barreiras B1M e B1B romperam o sedimento acumulado por estas foram retidos pela barreira B2M. Em apenas um período chuvoso foi suficiente para deixar a barreira repleta de sedimento.

Com o fim do primeiro período chuvoso após a instalação das barreiras a barreira B2B não suportou a quantidade de sedimento e rompeu-se. Este fato se deu, pois em dezembro de 2011 houve um deslizamento na margem esquerda, logo a montante de onde foi construída a barreira, fazendo com que a barreira acumulasse mais de 60% de sua capacidade. Após adaptações a técnica e reparo esta barreira voltou a acumular sedimento rompendo novamente em outubro de 2012, no entanto o rompimento não foi completo.

Em janeiro de 2012 a barreira B3M não suportou o acúmulo de sedimentos e rompeu se, sendo reparada no mesmo mês seguinte. No entanto as adaptações só foram completas após o segundo rompimento, continuando a barreira a reter sedimento atualmente.

7.1.2. Adaptações nas Barreiras

O que podemos notar é que das 5 barreiras construídas, apenas 1 não se rompeu no período analisado. Esse fato não se deu pela constituição da paliçada, ou seja, por ela ser de madeira ou bambu. As barreiras se romperam pela forma com que os sacos de ráfia vazios foram organizados. Quando foram construídas, não se teve o cuidado necessário com a proteção das laterais da barreira (Figura 17), principalmente na primeira barreira construída B1M. Com isso quando a água atinge uma determinada altura, sua pressão faz com que o sedimento da lateral passe pela paliçada abrindo buracos entre a parede e a paliçada, não sendo possível represar a água, e se rompem, como foi o caso da B1M que foi a primeira a se romper.



Figura 17 - Barreira de madeira construída sem os devidos cuidados com o encaixe da paliçada na parede da voçoroca. Autor: PEREIRA, 2011.

Na construção da segunda barreira (B1B) isso ficou mais claro, por esta ser feita de bambus e estes terem espaços maiores quando colocados horizontalmente uns sobre os outros. Nesse caso a barreira apresentou problemas imediatos no enchimento, o que foi necessário alterar a técnica e colocar sacos na lateral da barreira (Figura 18 [A]). Esta barreira foi refeita 3 vezes consecutivamente até que se colocaram sacos de ráfia na

parede de sustentação de forma a reter os sedimentos colocados para fixar a barreira. Outra ação que ajudou na fixação do sedimento na parede de sustentação, foram sacos de ráfia cheios de sedimentos obtidos dentro da voçoroca, colocados na parede de sustentação (Figuras 18 [B] e 19), que evitou que o efeito do embate da água retirasse o sedimento usado para fixar a barreira. Com estas alterações a barreira se manteve até quando o nível de sedimento nela se elevou.



Figura 18 – (A) e (B) Detalhe da valeta na parede da feição erosiva - B1B. Autor: PEREIRA, 2011.



Figura 19 – Barreira B1B construída. Detalhe dos sacos de ráfia cheios de terra. Autor: PEREIRA, 2011.

Como a primeira barreira (B1M) havia rompido em novembro de 2011, a vazão da água aumentou, transportando os sedimentos barrados até a barreira B1B. Essa alteração na dinâmica do barramento fez com que o mesmo se rompesse por baixo (Figuras 20 e 21). Isto ocorreu pela instabilidade no interior do canal, e pela falta de sacos de ráfia vazios na base do canal formando uma espécie de “saia”, cobrindo da barreira até a base do canal aproximadamente 1 metro deste. Como nesse local existe a instabilidade dos sedimentos do fundo do canal, houve o rompimento da barreira em sua base. A B1M nessa ocasião também teve seu rompimento na base da barreira, assim como a B1B.



Figura 20 - Barreira rompida pelo fundo. Autor: PEREIRA, 2011.

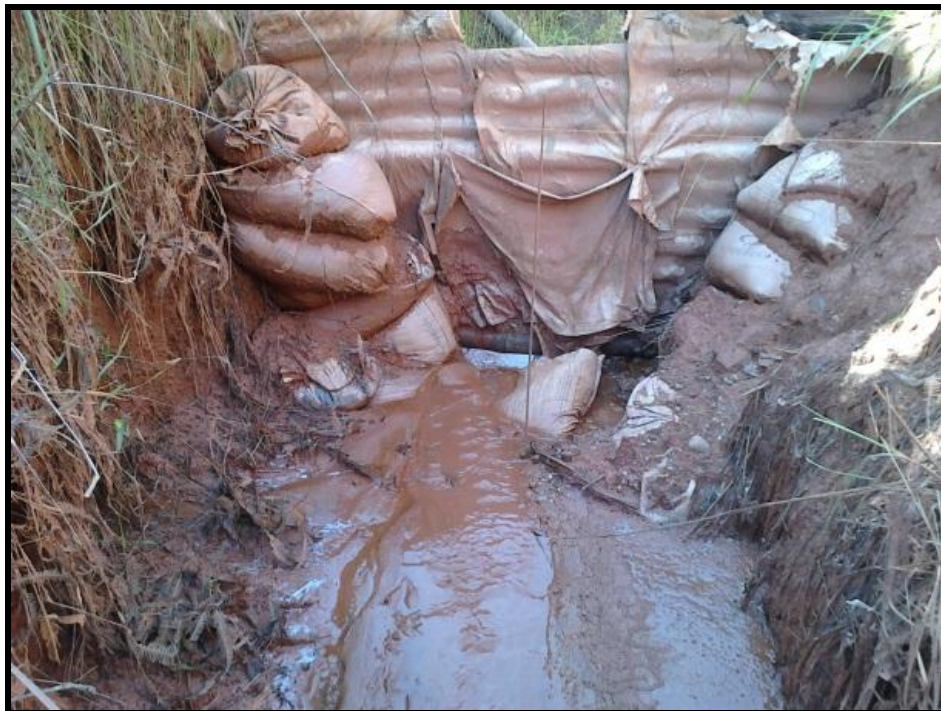


Figura 21 - Barreira rompida pelo fundo. Autor: PEREIRA, 2011.

Assim os reparos nessas duas barreiras foram feitos estendendo se uma “cortina” de sacos de ráfia vazios e abertos que vão desde o meio da barreira até forrar a base do canal (Figura 22). Como a justaposição dos sacos abertos não ficaram bem entrelaçadas, após a reparação das barreiras, estas ainda apresentaram vazamentos e o enchimento não foi completo.



Figura 22 - Reparo da barreira com saco de ráfia aberto. Autor: PEREIRA, 2011.

A terceira barreira construída foi a B2M, nesta barreira se tomou os cuidados devidos desde o início com as laterais da paliçada como mostram as figuras 24 e 25. Por estar em um local mais bem encaixado e seu sedimento de fundo se apresentar mais estruturado, esta não se rompeu no período analisado nesse trabalho. Com o rompimento das barreiras a montante desta, os sedimentos provenientes foram retidos nesta barreira, enchendo abruptamente a barreira (Figura 23). É interessante notar que esta barreira por não ter ficado sem água em nenhum momento, não necessitou de manutenção.



Figura 23 - Local após a construção da barreira B2M. Autor: PEREIRA, 2011.



Figura 24 – Barreira B2M repleta de sedimentos. Autor: PEREIRA, 2012.



Figura 25 – Barreira B2M repleta de sedimentos. Autor: PEREIRA, 2012.

E barreira atingiu sua retenção máxima em março de 2012, e se manteve nesse nível com poucas alterações até o ano de 2013, quando não suportou e se rompeu pelo fundo da barreira. Os monitoramentos haviam se encerrado neste ano, no entanto o sedimento retido por esta barreira foi transferido para as barreiras á jusante, como a próxima barreira após esta, ou seja a barreiraB2B estava rompida, o material foi retido na barreira B3M, onde se encontrava até o mês de julho de 2013 (Figura 26).



Figura 26 - B3M repleta de sedimentos. Autor: PEREIRA, 2013.

A quarta barreira construída foi a barreira B2B, esta barreira também foi muito bem preparada nas laterais da paliçada como mostram as Figuras 27 e 28. Essa barreira recebeu uma grande quantidade de sacos de ráfia cheios de solo para ajudar na sustentação da paliçada, principalmente na parede que é formada por material fruto de deslizamentos. A parede possui sedimentos desagregados, o que não trás segurança à barreira, porém por falta de locais com paredes mais estáveis, a barreira foi instalada nesse local.



Figura 27 - Construção da barreira B2B. Autor: PEREIRA, 2011.



Figura 28 - Detalhe escoras e aterramento das valetas da parede. Autor: PEREIRA, 2011.

Temos que levar em consideração que estas barreiras foram todas construídas na mesma época, antes de termos quaisquer problemas com rompimento de fundo das outras paliçadas. Infelizmente esse problema se constitui de modo generalizado em todas as barreiras, com exceção da barreira B2M.

A barreira B2B teve um deslizamento de talude ocorrido no mês de dezembro de 2011, na feição erosiva imediatamente a montante da barreira (Figuras 29 e 30), que fez com que a barreira acumulasse muito sedimento nesse período.



Figura 29 - Deslizamento de talude antes da barreira. Autor: PEREIRA, 2011.



Figura 30 - Deslizamento de talude antes da barreira. Autor: PEREIRA, 2011.

Como a quantidade de sedimento continuou a aumentar na barreira B2B, e esta não tinha recebido a atenção necessária em relação aos sacos de ráfia abertos nos fundos do canal, a pressão acabou por romper a barreira pelo fundo do canal (Figuras 31 e 32). Nessas fotos é possível observar a quantidade de sedimentos que estava retido nesta barreira, mostrando sua eficiência em reter sedimentos.



Figura 31 – Situação do sitio da B2B após rompimento. Autor: PEREIRA, 2012.



Figura 32 – Situação a montante da barreira B2B após esvaziamento da água do represamento, mostrando sedimentos acumulados. Autor: PEREIRA, 2012.

Esta barreira foi reparada em julho de 2012 e voltou a romper em outubro do mesmo ano (Figuras 35 e 36), no entanto o rompimento aconteceu pelo fato de uma das paredes de sustentação da barreira ter sido construída sob material de deslizamento. Como a parede não tinha a sustentação adequada por ser constituída de material de deslizamento, esta não conseguiu suportar a vazão da água nas primeiras chuvas do período.



Figura 33 - B2B Rompida na lateral. Autor: PEREIRA, 2012.



Figura 34 - B2B Rompida na lateral. Autor: PEREIRA, 2012.

Mesmo rompida a barreira ainda permaneceu fazendo seu papel de contenção de sedimento, uma vez que não foi totalmente destruída.

A última barreira construída foi a barreira B3M, as laterais foram preparadas conforme a técnica desenvolvida. Esta barreira também se rompeu pelo fundo por duas vezes. É a barreira que quando rompida mais amentou a quantidade de sedimento disperso em água no vertedor. Por ser a última barreira, todas as vezes que estava

rompida, a quantidade de sedimento coletado foi maior, pois o vertedouro se encontra logo a jusante dessa barreira.

Após ser reparada em abril a barreira não necessitou de manutenção, como a barreira B2B rompeu em outubro e a barreira B2M rompeu em janeiro, em julho de 2013 a barreira B3M encontrava-se repleta de sedimento conforme a figura 37.



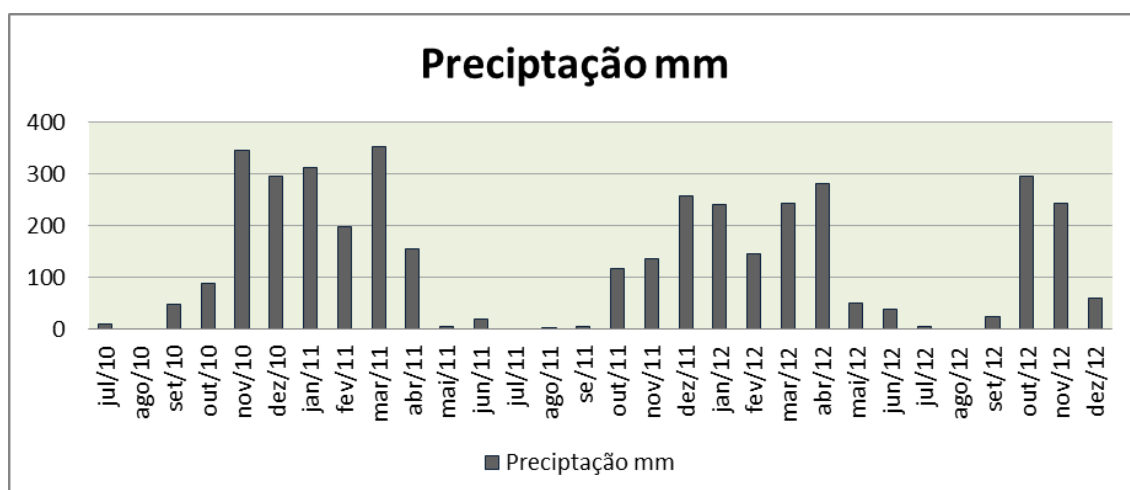
Figura 35 - B3M repleta de sedimento ao final do processo de monitoramento. Autor: PEREIRA, 2013.

7.2. Monitoramento da Vazão, Sedimento Disperso em Água e Precipitação

Os dados de vazão, sedimentos e precipitação foram coletados desde julho de 2010. Os valores de vazão foram obtidos por média aritmética do mês em referencia, assim como os valores de sedimentos que foram obtidos pela média aritmética dos valores obtidos pela filtragem de 1 litro das amostras de água obtidas no mês. Os valores de precipitação foram obtidos pela soma dos valores obtidos durante o mês de referencia. Os meses analisados foram de Julho de 2010 até dezembro de 2012 perfazendo um total de 30 meses analisados, ou seja, 2 anos e meio.

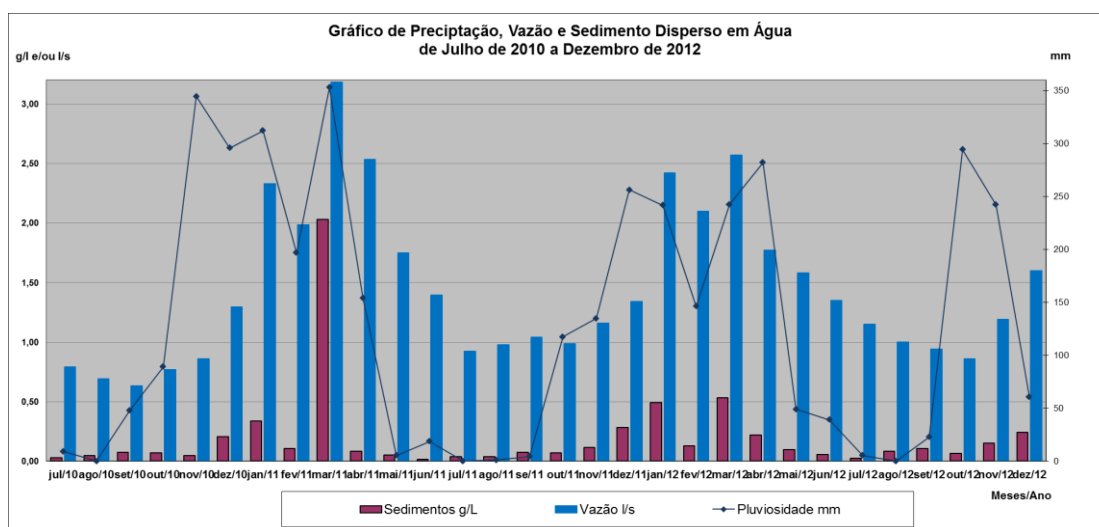
A diferença de precipitação obtida entre os dois primeiros anos de estudo foi de 312,74 mm maior para o primeiro ano (de julho de 2010 a junho de 2011) do que o segundo ano (de julho de 2011 e junho de 2012). Já considerando o último semestre de 2012 (julho a dezembro de 2012), a precipitação foi 111,40 mm superior ao ultimo semestre de 2011 (julho a dezembro de 2011), e 161,58 mm menor que a chuva do segundo semestre de 2010 (julho a dezembro de 2010). O gráfico 1 a seguir mostra o comportamento da precipitação nos meses analisado.

Gráfico 1 - Precipitação 2010 - 2012.



Nos meses de maior precipitação o sistema de drenagem recebe uma maior quantidade de água através do escoamento superficial, que transporta através da água, sedimentos para o canal de drenagem da voçoroca. Além do escoamento superficial, outro fator que contribui para o aumento do nível de base no interior do canal é o aumento da água subsuperficial no período chuvoso. O gráfico 2 mostra uma relação entre precipitação total do mês, média mensal da vazão e do sedimento no período analisado pelo trabalho.

Gráfico 2 - Precipitação, vazão e sedimentos.



Não houve diferença das vazões médias anuais entre os dois primeiros anos, sendo mensurado o mesmo valor para esse período. Entre o segundo semestre de 2011 e o segundo semestre de 2012 a diferença média foi de 0,05 l/s maior em 2012 do que em 2011, e 0,28 l/s maior que o segundo semestre de 2010.

Em relação ao sedimento suspenso em água tivemos no primeiro ano em média 0,08 g/l (gramas por litros) a mais que no segundo ano. Já o segundo semestre de 2012 obteve apenas 0,01 g/l em média a mais de sedimentos em comparação ao mesmo período do ano anterior (de julho a dezembro de 2011). Em relação ao segundo semestre de 2012 e o segundo semestre de 2010, a diferença entre a quantidade de sedimentos foram 0,03 g/l em média maior em 2012 em relação a 2010.

Considerando a instalação das barreiras iniciada em julho de 2011, com a finalização e início do monitoramento total até setembro de 2011, o período considerado para efeito das barreiras se inicia em julho de 2011. Assim o primeiro ano analisado (julho de 2010 a junho de 2011) não contém efeito das barreiras sendo considerado

como o ano base para comparação dos dados que foram gerados a partir de julho de 2011.

No primeiro ano após a instalação das barreiras (julho de 2011 a junho de 2012) a precipitação foi 312,74 mm menor do que no ano base, no entanto a vazão dentro do canal se manteve praticamente a mesma entre esses anos. Já a média do sedimento dissolvido foi 0,08 g/l menor no primeiro ano com as barreiras do que o ano base. Considerando uma média anual para os dois anos de 1,52 l/s estima-se uma perda anual de 3,83 toneladas a mais de sedimentos no ano sem as barreiras, comparado com o ano com a instalação das barreiras.

O segundo semestre de 2012 apresentou uma vazão de 0,05 l/s maior do que o segundo semestre de 2011, e 0,28 l/s maior que o segundo semestre de 2010. Como o segundo semestre de 2012 apresentou em média 0,01 g/l de sedimentos dispersos a mais que o segundo semestre de 2011, o total de sedimento gerado a mais em 2012 em relação ao mesmo semestre de 2011 foi de 7,58 kg.

Em relação ao segundo semestre de 2010, este apresentou em média 0,03 g de sedimentos por litro de água a menos que o segundo semestre de 2012. Assim a quantidade média perdida de sedimento no segundo semestre de 2012 foi 149,94 kg maior que no segundo semestre de 2010.

7.2.1. Relação entre as Barreiras, Vazão, Sedimento Disperso em Água e Precipitação

Ao unir os dados do monitoramento das barreiras com os dados obtidos pelo monitoramento da vazão, sedimentos dispersos e precipitação, obtivemos as tabelas 8 e 9. Os dados apresentados das barreiras indicam o nível do topo do vergalhão em relação ao nível da barreira. As médias de sedimento dissolvido em um litro de água se referem ao período específico entre as medições do nível nas barreiras, já a precipitação é representada pelo total mensal.

Tabela 5 - Dados dos monitoramentos das barreiras de paliçadas, sedimento disperso em água, vazão e precipitação de julho – dezembro 2011.

DATA	B.1.M (cm)	B.1.B (cm)	B.2.M (cm)	B.2.B (cm)	B.3.M (cm)	Sedimentos (g/l)	Vazão (l/s)	Chuvas (mm)
Jul/11		93	75,8			0,04	0,92	0
Ago/11		93	76	92		0,04	0,98	1
Set/11	79,7	93	73	91,4		0,08	1,04	4,4
Set/11	78,3	93	72,8	86,9	92,5	0,07	1,04	4,4
Out/11	75,7	93,8	71,6	86,7	93,4	0,07	0,99	117,4
Nov/11	71,7	93,8	69,8	84,4	90,5	0,07	1,16	134,8
Nov/11	93	94	69,9	82,9	90,5	0,16	1,16	134,8
Dez/11	91	94,4	69	82,9	86,4	0,17	1,34	256,4
Dez/11	90,8	97,5	68,9	18,5	87	0,36	1,34	256,4

Legenda:

Barreiras rompidas	Barreiras reparadas
-----------------------	---------------------

Com a união desses dados pode se estabelecer correlações de causa e efeito entre sedimentos acumulados nas barreiras, a vazão, sedimentos dispersos em água e precipitação na voçoroca. Ao gerar os gráficos das barreiras foi mantido o vermelho para barreiras rompidas e o verde indicando reparo na barreira no período.

Iniciando as análises das barreiras da montante para jusante da voçoroca, a primeira paliçada construída foi a B.1 Madeira. O gráfico 3 apresenta os valores do nível do sedimento na barreira em relação à precipitação e sedimento disperso em água do período.

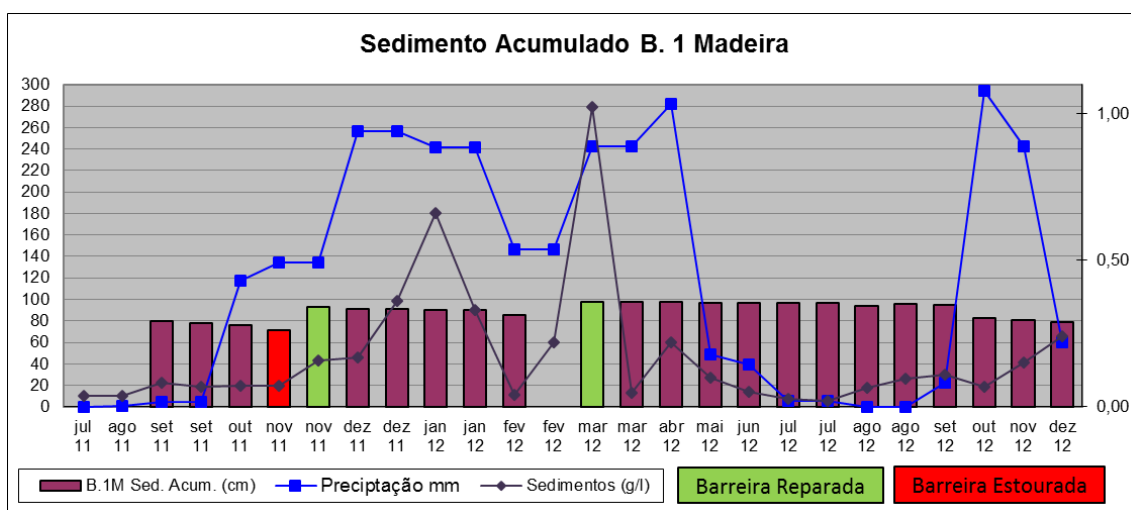
Tabela 6 - - Dados dos monitoramentos das barreiras de paliçadas, sedimento disperso em água, vazão e precipitação de janeiro – dezembro 2012.

DATA	B.1.M (cm)	B.1.B (cm)	B.2.M (cm)	B.2.B (cm)	B.3.M (cm)	Sedimentos (g/l)	Vazão (l/s)	Chuvas (mm)
Jan/12	90,4	90	62,5	15,3		0,66	2,42	241,8
Jan/12	90,15	98,5	83	43		0,33	2,42	241,8
Fev/12	85,3	95	79	43,5	100	0,04	2,1	146,3
Fev/12		93	57,9	40	98,5	0,22	2,1	146,3
Mar/12	97,5	90,8	58,7	40,5	96,3	1,02	2,57	242,6
Mar/12	97,35		17,5	37		0,05	2,57	242,6
Abr/12	97,2		17,8		94	0,22	1,77	282,2
Mai/12	97	90	36,5	87,6	85,4	0,1	1,58	49
Jun/12	97	88,8	17,4	89	84,6	0,05	1,35	39,1
Jul/12	96,8	89	17,5	58,5	85,3	0,03	1,15	5,4
Jul/12	96,4	89	17,9	54,4	85	0,02	1,15	5,4
Ago/12	94	94	17,8	53,5	85	0,07	1	0
Ago/12	96	93,9	17,7	53,7	85,8	0,1	1	0
Set/12	95,3	91,5	17,7	53,5	85	0,11	0,94	22,9
Out/12	83	27	12,5	90,7	88	0,07	0,86	294,3
Nov/12	81	25	7,4	91,8	87,9	0,15	1,19	242,3
Dez/12	79	27	7,1	92	81,6	0,24	1,6	60,5

Legenda:

Barreiras rompidas	Barreiras reparadas	Barreiras com metade do volume de água	Barreiras repletas de sedimentos
-----------------------	---------------------	---	-------------------------------------

Gráfico 3 - Sedimento Acumulado B1M.

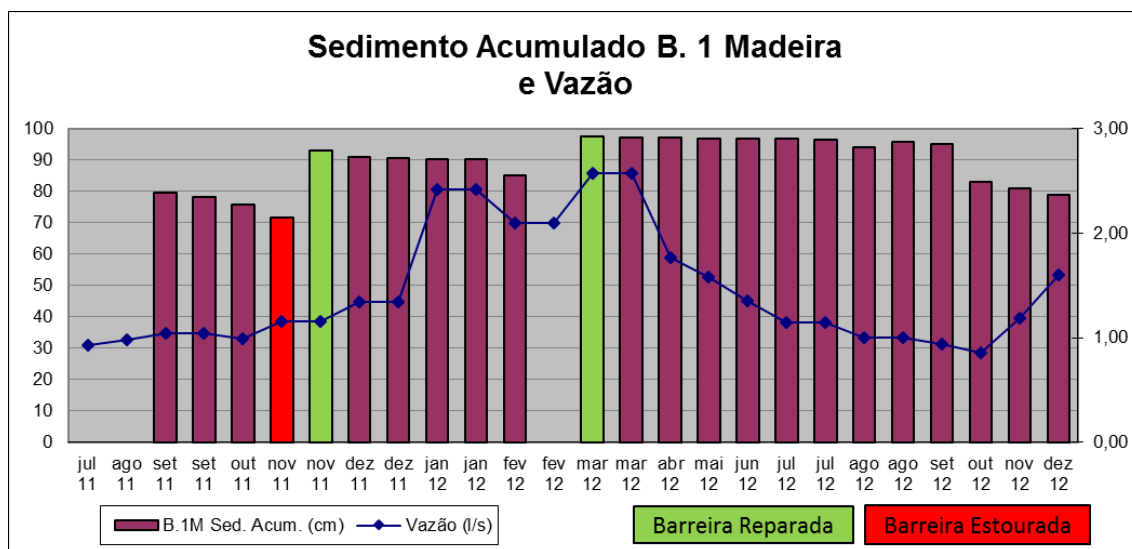


Pode-se notar que após a construção da barreira em setembro, a chuva foi aumentando gradativamente, provocando um acúmulo de 8 centímetros (cm) de sedimento na barreira até novembro, quando esta rompeu. É interessante repararmos que nesse período o sedimento disperso em água diminuiu até o mês do rompimento, elevando após esse período. Com o reparo da barreira pode-se observar um acúmulo de sedimento até mês de fevereiro de 2012, quando a barreira se rompe novamente, nesse período acumulou-se 7,7 cm de sedimento nesta barreira. Após reparar esta barreira em março, esta não se rompeu mais, acumulando um total de 17,4 cm de sedimento até dezembro de 2012. É importante observarmos que a barreira se rompeu sempre quando houve um grande aumento na precipitação, que aumenta a quantidade do fluxo da água na voçoroca e o carreamento de sedimento, aumentando assim a pressão na barreira.

O Gráfico 4 correlaciona a vazão com o sedimento acumulado na barreira. Nota-se que a barreira rompeu sempre quando houve um aumento dos valores de vazão. Em novembro a barreira rompeu juntamente com o aumento de vazão, já em fevereiro a barreira rompeu após no mês anterior (janeiro) a vazão ter aumentado significativamente, que fez com que o sedimento acumulasse na barreira, levando ao

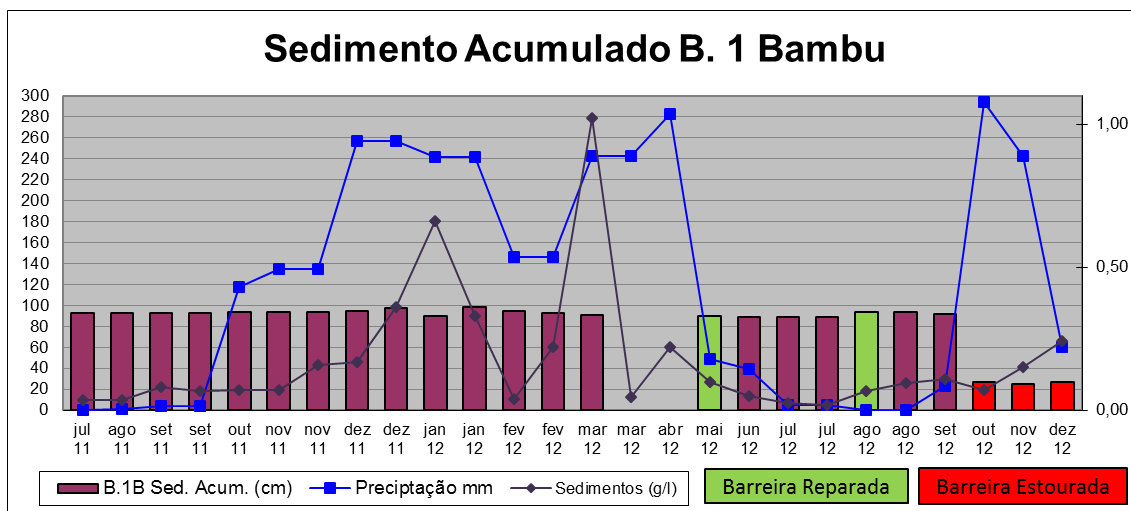
rompimento. Após setembro de 2012 a vazão voltou a subir em consequência das fortes chuvas, aumentando os valores de sedimento acumulado e disperso em água.

Gráfico 4 - Sedimento Acumulado B1M e vazão.



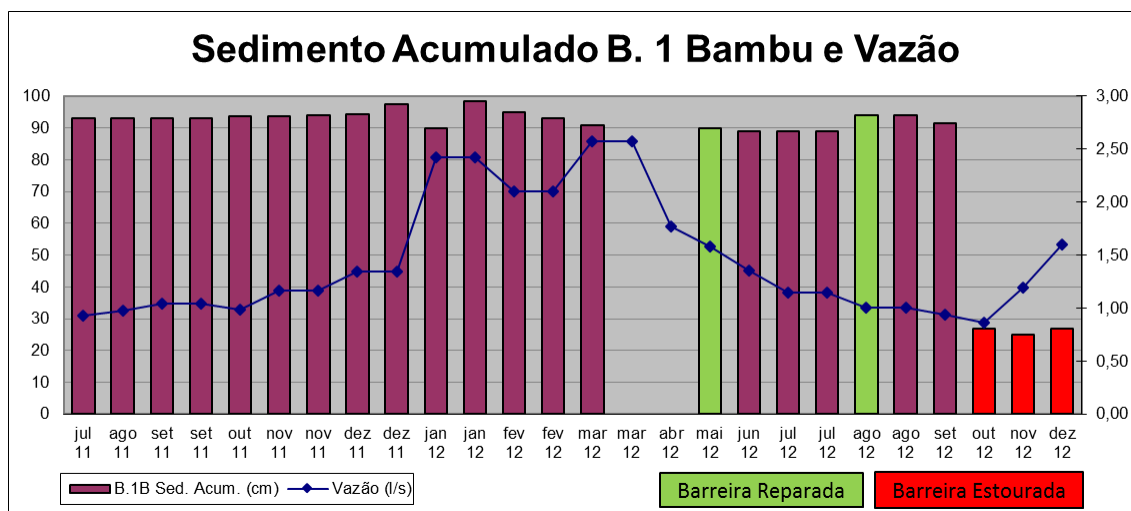
A segunda barreira a ser construída da montante para jusante foi B.1 Bambu. O gráfico 5 apresenta a construção da barreira em julho de 2011, com primeiro rompimento ocorrido em março de 2012 ocasionado pelas fortes chuvas do mês de março e pelo consequente rompimento da barreira situada a montante desta em fevereiro que provocou um acúmulo de sedimento na B.1 Bambu de 2,2 cm.

Gráfico 5 - Sedimento Acumulado B1B.



A barreira foi reparada em maio, no entanto não atingiu seu nível máximo sendo necessário repará-la novamente em agosto. Com as fortes chuvas em outubro a barreira rompeu perfazendo um total de 67 cm acumulados. Com seu rompimento em outubro e pelas fortes chuvas o sedimento disperso em água aumentou, juntamente com a vazão conforme gráfico 6.

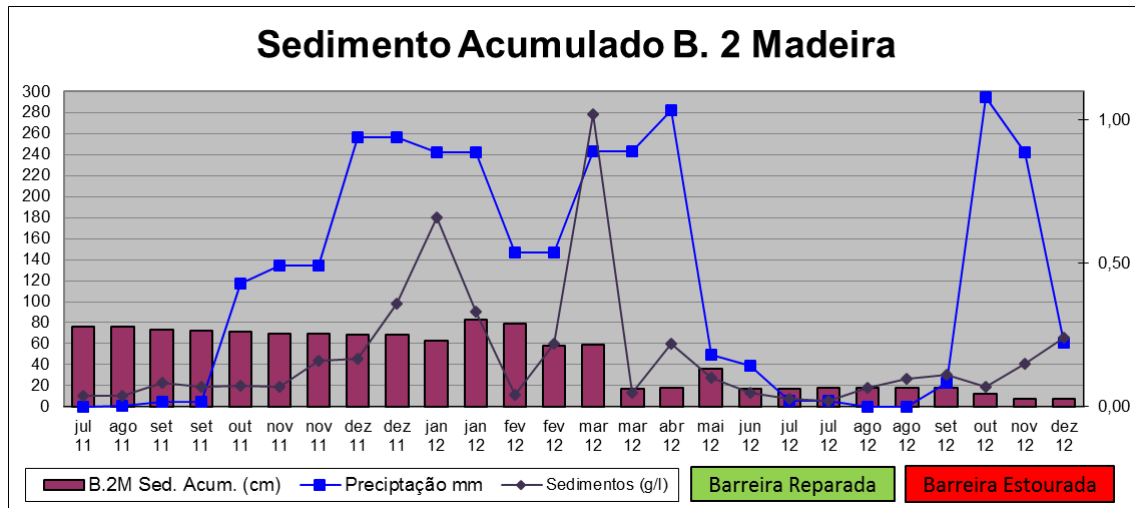
Gráfico 6 - Sedimento Acumulado B1B e Vazão.



A terceira barreira a ser construída da montante para jusante foi a barreira B.2 Madeira e os dados de sedimentos estão apresentados no gráfico 7. Esta barreira por

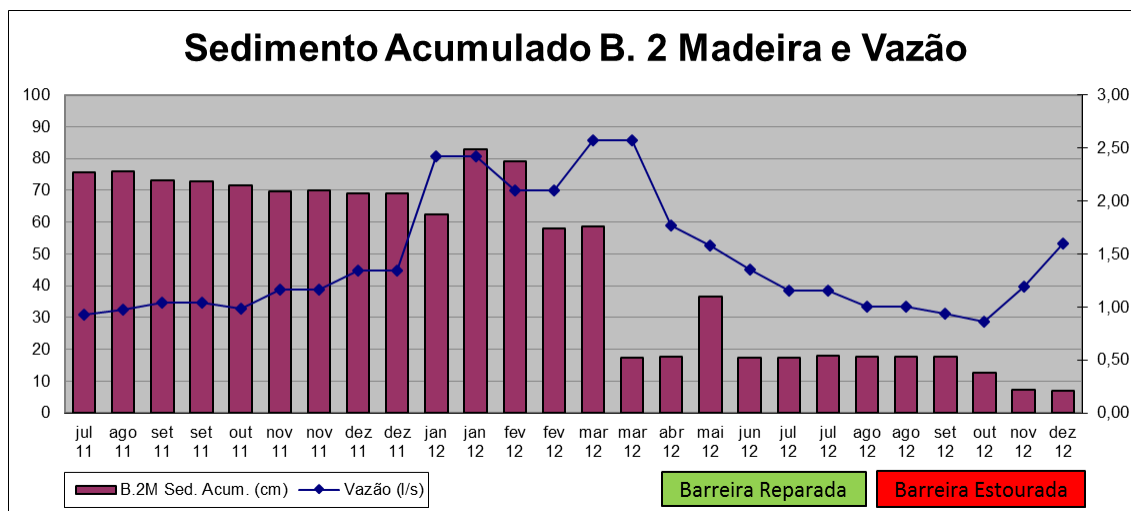
estar em um local bem encaixado e ter uma sobra de saco no fundo da barreira não romperam no período analisado.

Gráfico 7 - Sedimento Acumulado B2M.



A barreira obteve maior acúmulo de sedimentos nos períodos de maior precipitação e transporte de sedimentos que ocorreram em janeiro e março de 2012. A vazão também coincidiu com o período de maior acúmulo de sedimento na barreira, conforme gráfico 8. O mês de janeiro acumulou um total de 7 cm e o mês de março um total de 40,04 cm para o mesmo intervalo de tempo. O acúmulo de sedimento em março foi maior devido ao rompimento das barreiras a montante desta, que fez com que o material ficasse retido nessa barreira. Com o aumento da precipitação e vazão a partir de outubro, além do rompimento da barreira B.1 Bambu, o sedimento disperso aumentou juntamente com o acúmulo de sedimento na barreira.

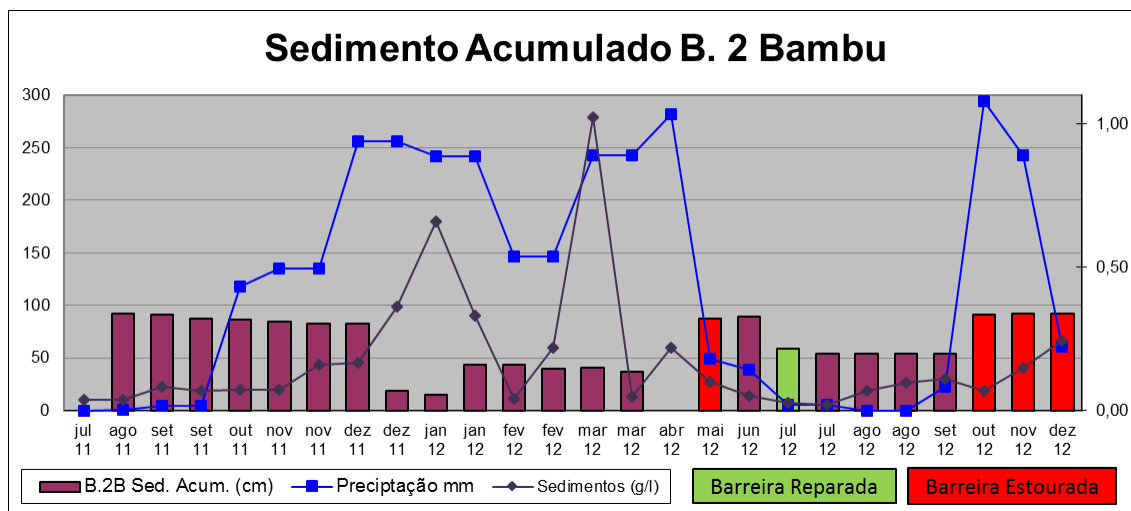
Gráfico 8 - Sedimento Acumulado B2M e Vazão.



De julho de 2011 a dezembro de 2012 a barreira B.2 Madeira acumulou um total de 68,7 cm de sedimento, ficando esta barreira totalmente repleta de sedimentos.

A barreira B.2 Bambu foi a penúltima a ser construída de jusante para montante, acumulando sedimento até o mês de abril quando rompeu (gráfico 9). Esta barreira acumulou 55 cm até o mês de março devido principalmente a um deslizamento considerável a montante da paliçada em janeiro de 2012.

Gráfico 9 - Sedimento Acumulado B2B.



Com o rompimento da barreira o sedimento acumulado não foi completamente levado, ficando grande parte desse sedimento às margens da correnteza formada pela água (figura 38). Esse sedimento fica depositado nesses locais sendo carreados gradativamente, conforme a vazão da água vai se alterando e pelas chuvas que levam facilmente esses sedimentos soltos.



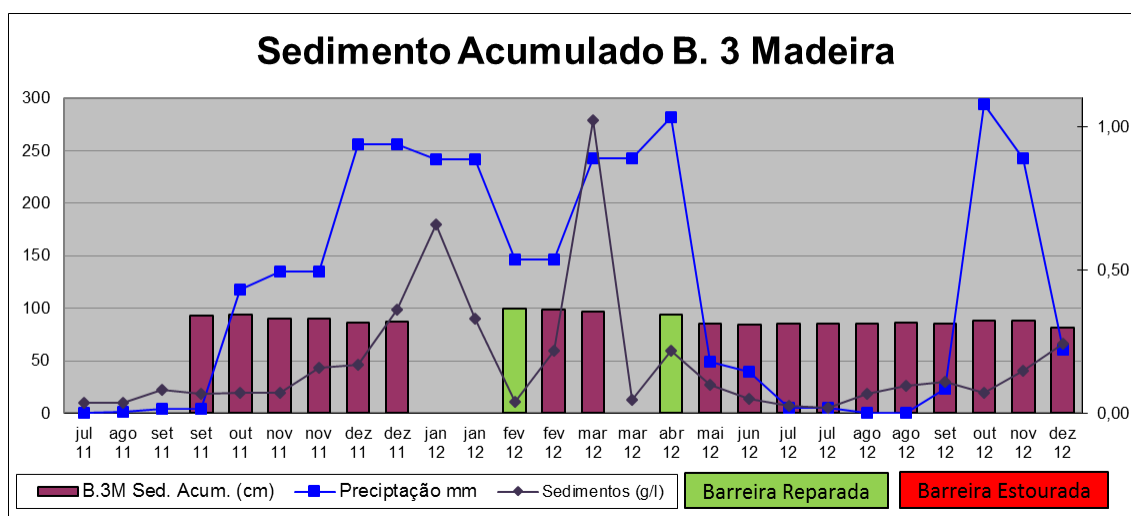
Figura 36 - B2B rompida mostrando sedimento ainda retido na barreira. Autor: PEREIRA, 2012.

Em outubro após fortes chuvas a barreira B.1 Bambu estourou pelo fundo liberando grande volume de água, como a barreira após ela (B.2 Madeira) estava repleta de sedimentos, a força maior desse impacto foi refletido na barreira B.2 Bambu. Esta devido sua localização curva na voçoroca e pelo fato de um de seus lados terem sido escorados em um aglomerado de sedimentos formado por um grande deslizamento da margem da voçoroca, não ofereceu resistência necessária e rompeu na lateral. Com seu

rompimento em outubro a quantidade de sedimento suspenso aumentou juntamente com a precipitação e vazão nos meses seguintes.

A primeira barreira construída da jusante para montante foi a B.3 Madeira, esta barreira por ser a ultima antes do local de coleta de água para análise de sedimentos dispersos em água mostra grande influência no resultados das análises (gráfico 10)

Gráfico 10 - Sedimento Acumulado B3M.



Com a construção das barreiras em setembro os níveis de sedimentos suspensos permaneceram baixos mesmo com o aumento da chuva, no entanto com o aumento das chuvas a barreira rompeu no início de janeiro, quando o sedimento alcançou 5,5 cm de sedimento. A resposta ao sedimento dissolvido foi imediata, principalmente pela grande intensidade da chuva. Com a reparação da barreira e com o a diminuição da chuva o sedimento suspenso volta a cair até a barreira romper em março, após fortes chuvas que romperam com as barreiras B.1 Madeira e B.1 Bambu elevando o nível de sedimento suspenso da coleta no período. A barreira rompeu em março novamente, sendo reparada em abril. De abril a dezembro de 2012 a barreira acumulou 12,4 cm de sedimentos nessa barreira.

8. CONCLUSÃO

A implantação da técnica de construção de paliçada desenvolvida por Machado et al (2006) com adaptações para voçorocas, obteve alguns resultados importante para o desenvolvimento de técnicas de contenção de sedimentos no interior de voçorocas. Algumas considerações importantes devem ser feitas através do trabalho desenvolvido.

A se iniciar pela construção de paliçadas no interior de uma voçoroca, deve ser levado em consideração as dificuldades de locomoção e desenvolvimento de atividades no seu interior. Voçorocas são locais em sua grande maioria de difícil acesso, com feições erosivas instáveis, onde deslizamentos de blocos são comuns representados perigo de queda tanto quando se visita seu interior como suas margens. Esses deslizamentos deixam no interior da voçoroca um material inconsolidado, de fácil remoção pelo escoamento superficial e muito solto, representando perigo de locomoção no seu interior.

Assim desenvolver atividade no interior das voçorocas exige cautela, devendo as ações desenvolvidas serem previamente arquitetadas de forma a reduzir ao máximo as atividades e visitas nesse local.

Quanto a construção das paliçadas, o presente estudo mostrou que usar como paredes de escora de paliçadas feições erosivas instáveis como material fruto de deslizamento, não são apropriados, visto que mesmo com reforço de sacos de ráfias cheios de sedimentos colocados do lado de fora da barreira de forma a escora-las não são suficientes para impedir seu rompimento, como foi o caso da barreira B2B. Esta barreira mesmo rompida ainda retinha sedimentos no seu interior em julho de 2013, uma vez que essa barreira rompeu em uma das paredes usadas como escoras, ficando a barreira

ainda sustentada pelos sacos de ráfia cheios de sedimentos colocados como escoras no lado de fora da barreira.

Considerando o material usado para construção das barreiras, tanto a madeira como o bambu apresentou a mesma eficiência no período analisado. No período de monitoramento a resistência das barreiras foram a mesma, não tendo ocorrido rompimento em virtude do material usado. No entanto para uma avaliação desse material em relação a longevidade é necessário mais alguns anos de monitoramento. A princípio o bambu se mostra de maior facilidade para transporte e manuseio no interior da voçoroca do que a madeira utilizada, devido seu menor peso e facilidade de corte. Outro aspecto é o valor do material, o bambu é encontrado a preços muito baixo no mercado, sendo muitas das vezes doado para que faça o corte, além da facilidade de encontrar o material na região. Em contraposição dos altos valores cobrados pelas toras de eucalipto tratado, que além do preço, ainda são extremamente difíceis de serem transportados até a voçoroca e manuseados no seu interior. Assim para se definir o melhor custo benefício é necessário que haja estudos sobre a longevidade destes materiais usados como paliçadas no interior de voçorocas, onde o elemento água é constante o ano inteiro.

A construção das paliçadas no interior de voçoroca exige basicamente de mão-de-obra qualificada pela rusticidade, força e agilidade, uma vez que os locais dificilmente permitem o transito de máquinas para auxiliar na construção. Em se tratando de voçorocas o interior onde são realizadas as atividades apresenta água, que no momento da construção das barreiras é considerada um problema uma vez que, dificultam as ações de escavação e colocação de estacas por estarem em um canal fechado onde o desvio dessa água muita das vezes é impossível. Outro aspecto é o

material inconsolidado que forma o fundo das voçorocas, que juntamente com a água atrapalha o desenvolvimento das atividades. Assim as ações devem ser rápidas para que consiga desenvolver as atividades antes que a água e o material inconsolidado de fundo sotерrem ou desmanchem as estruturas realizadas.

As adaptações feitas na técnica de construção de paliçada, permitiram o acúmulo de sedimento no interior da voçoroca. A dificuldade inicial foi transformar uma técnica consolidada que retém sedimentos em momentos de escoamento superficial em uma técnica que retém sedimentos em um local onde o fluxo de água é constante o ano inteiro. Esta diferença altera vários pontos da técnica, uma vez que a técnica consolidada embora possa vir a reter momentaneamente um volume de água, durante as chuvas, ela não precisa de aparatos que a transforme em um barramento de água. A diferença básica está que com o escoamento superficial em uma área sem a presença da água constante, carrega materiais e sedimentos que soterram gradativamente a barreira. Já a barreira desenvolvida no interior de uma voçoroca, após a passagem do escoamento superficial ocasionado pela chuva, o sedimento retido começa a ser carregado pela própria água que nasce no interior da voçoroca.

Para atingir o objetivo proposto de reter sedimentos, foi necessário barrar além do sedimento a água que passava pelo canal da voçoroca. Com isso a dificuldade inicial foi desenvolver mecanismo que permitissem o barramento da água. Os sacos de ráfia foram amplamente utilizados para isso, destacando o uso de sacos nas áreas de fixação da paliçada nas paredes da voçoroca com sedimento para não serem levados pela água; A cortina entrelaçada (promover o entrelaçamento dos sacos antes da construção das barreiras de forma a constituir uma cortina com três camadas de saco abertos) colocados a montante da barreira para diminuir a velocidade da água na passagem pela barreira, e

reter sedimento a semelhança de filtro de água; Esta mesma cortina deve ser feita com sobra para forrar o fundo do canal aproximadamente 80 cm antes da barreira; Sacos de ráfia cheios de sedimentos obtidos dentro da própria voçoroca para escoramento tanto da parte frontal como da parte distal da barreira, formando proteção do fundo e das laterais da barreira protegendo os sedimentos colocados para fixar a barreira na parede da voçoroca; e a construção de vertedouros nas barreiras para direcionar o fluxo da água barrada.

Considerando os dados obtidos pelos monitoramentos de sedimento disperso em água, vazão e precipitação, para comparação dos dados antes e depois da construção das barreiras, deve ser levada em consideração a precipitação do período, uma vez que a chuva exerce influencia direta nos dados de vazão e sedimentos dispersos em água. Para essa análise deve ser considerado períodos semelhantes, constituindo o ano base (julho 2010 a junho 2011) antes da construção das barreiras, e o primeiro ano com a instalação das barreiras (julho de 2011 a junho de 2012). Relacionando o ano base com o primeiro ano após a construção das barreiras temos uma precipitação de 312,74 mm de chuva a mais no ano base. A quantidade de sedimento disperso em água foi em média 0,08 g/l menor após a construção das barreiras, para um mesmo valor médio de vazão obtido entre os anos (1,53 l/s).

A implantação das barreiras após as diversas adaptações realizadas se mostraram aptas para reter sedimentos no interior de uma voçoroca. Após um ano e meio da instalação de 5 paliçadas, duas delas encerraram o período rompidas, esses rompimento se deram por falha na construção e no reparo dessas barreiras. Foi iniciada a construção das barreiras com uma ideia que precisou ser totalmente revista, sendo necessárias várias adaptações. Ao final do trabalho as adaptações foram desenvolvidas e os pontos

críticos da técnica estabelecidos. Assim seria necessário novos testes com as adaptações desenvolvidas, de forma a serem analisadas por um período de tempo maior, afim de estabelecer relação entre a funcionalidade e durabilidade dos materiais usados, e manutenção das estruturas da barreira.

Ao analisarmos a barreira de forma geral e principalmente a barreira que não rompeu durante o monitoramento B2M, foi possível observar o desenvolvimento de espécimes vegetais em todas elas, pois os sacos de ráfia cheios de sedimentos formam suporte para o estabelecimento de algumas espécies vegetais. No entanto ao analisarmos a barreira B2M, que ficou repleta de sedimento por mais de 10 meses, observamos uma intensa colonização por espécimes rasteiras principalmente gramíneas naturais e samambaia desenvolvendo nesse ambiente. No entanto após o período analisado esta barreira rompeu na base do canal, mostrando a necessidade de reforçar com sacos de ráfia o fundo do canal antes da barreira. Como a primeira barreira a jusante estava estourada (B2B), o sedimento retido por essa barreira foi transportado para segunda barreira a jusante, a barreira B3M que foi reparada levando em consideração o aspecto do rompimento de fundo. Em julho de 2013 a barreira B3M se encontrava repleta de sedimentos e com novas espécies vegetais se desenvolvendo sobre o sedimento retido.

9. REFERENCIAS

AB'SABER, A. N. **Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BACCARO, Claudete A. Dallevedove. As Unidades Geomorfológicas e a erosão nos chapadões do Município de Uberlândia. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, 6 (11 e 12): 19-33, Janeiro/Dezembro 1994.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 2. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1993. 352p.

BORGES, R. E. **As indústrias de produtos alimentares de Uberlândia: redes e fluxos**. 2000. 119 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2000.

BROWN, S; LUGO, A. E. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining developing. **Restoration Ecology**, v.2, p. 97-111, 1994.

CARPANEZZI, A. A; COSTA, L. G; KAGEYAMA, P. Y; CASTRO, C. F. A. Funções múltiplas das plantas: conservação e recuperação do meio ambiente. In: **Congresso Florestal Brasileiro**, 6., 1990. Campos do Jordão, Anais Campos do Jordão, SP, 1990. p. 216-217.

CARVALHO, J. C; SALES, M. M; SOUZA, N. M; MELO, M. T. S; **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Universidade de Brasília: FINATEC. Brasília, 2006. 464p.

DIAS, L. E & GRIFFITH, J. J. Conceituação e Caracterização de Áreas Degradadas. In: DIAS, L. E; & MELLO, J.W. V. **Recuperação de Áreas Degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos, SOBRADE. 1988, pg 1-21.

DUARTE, R. M. R; CASAGRANDE, J. C. A interação solo-vegetação na recuperação de áreas degradadas. In: **Manual de Recuperação de áreas degradadas do Estado de**

São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista. Curso de Capacitação e Atualização em Recuperação de Áreas Degradadas (RAD): com ênfase em matas ciliares do interior paulista. Guaratinguetá – SP, 2006. 30-41p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GLOSSARY OF SOIL SCIENCE TERMS. Soil Science Society of American, Wisconsin, Estados Unidos, 1987. 44p.

GRIFFITH, J. Introdução a pratica de recuperação ambiental. In WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DEGRADADOS PELA MINERAÇÃO. Poços de Caldas, Minas Gerais, novembro de 1993. Anais. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995. P.19-24.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p.149-199.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 388p.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 17-55p.

GUERRA, A. J. T. **O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos.** Anuário de Instituto de Geociências, v. 13, p. 43-52, 1990.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. Novo Dicionário Geológico – Geomorfológico. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2009. 652p.

KAWAKUBO, F. S. *et al.* Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, 2005. p. 16-21.

KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v. 22 n 210, p.10-17, mai/jun.2001. LAL, R. **Soil degradation by erosion**.Land degradation & Development. v. 12, 2001. 539p.

LEPSCH, I. F. Solos: **Formação e Conservação**. São Paulo: Melhoramentos, 1994. v. 1. 157 p.

LEPSCH, I. F. Solos: **Formação e Conservação**. 2. ed. São Paulo: Melhoramentos, 2010. v. 1. 216 p.

MACHADO, R. L. **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, RJ**. 2007. 101f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

MACHADO, R. L.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C.; MENEZES, C. E. G.; SOUZA, C. M. de; FRANCO, A. A. **Recuperação de voçorocas em áreas rurais. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2006**. p. 1-63 (Embrapa Agrobiologia. Sistemas de Produção, 4).

MINTER/IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**.3rd ed.Blackwell Publishing Ltd, 2005. 304p.

ROSS, J. L. S O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74. 1994.

SANTOS, C. A; SALCEDO, I. H; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia de Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Cartografia**, Pernambuco, v. 54, p. 86-94, 2002.

SILVA, A. H. **Medidas físicas e biológicas com potencial para uso em recuperação de voçoroca no município de Uberlândia – MG.** 2010. 136f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** FIBGE: Rio de Janeiro, 1977.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; YONG LI. Gully erosion: Impacts, factors and control. **Catena.** v. 63, p. 132-153, 2005.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Science of American Proceedings**, Madison, v. 20, n.3, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science of American Proceedings**, Madison, v. 33, p. 131-137. 1969.