

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA NA CONTENÇÃO DE FEIÇÃO EROSIVA EM TALUDE

Paulo Juliano Rodrigues da Silva¹

Aparecida Alvarez Maffra²

Resumo

A bioengenharia é uma área da geotecnia que a cada dia expande seus horizontes no que diz respeito às técnicas de contenção de erosão em taludes. Deste modo, através de um estudo de caso, o objetivo geral desse trabalho foi analisar a eficiência de técnicas de bioengenharia na contenção da feição erosiva em talude ao longo do rio Manhuaçu, na Bacia Hidrográfica do rio Manhuaçu, no estado de Minas Gerais. Os objetivos específicos do estudo foram verificar o conceito de vertente e sua relação com o processo erosivo, e comparar os custos de implantação de técnicas de bioengenharia e convencional para contenção de feição erosiva na área de estudo. Através dos resultados obtidos, observou-se que a técnica de bioengenharia utilizada foi eficiente na contenção da feição erosiva na área. Além de ser ecologicamente correta, pois ao fazer uso de materiais naturais, provoca menor impacto ao meio ambiente. O custo para a implantação apenas da técnica de bioengenharia foi inferior à utilização conjunta de métodos de bioengenharia e convencional e a da utilização apenas de técnica convencional. Conclui-se que estudos voltados para essa área auxiliarão no desenvolvimento e na maior utilização de práticas naturais, eficazes e de menor custo na contenção de feições erosivas.

Palavras-chave: Erosão. Taludes. Contenções. Bioengenharia.

USE OF BIOENGINEERING TECHNIQUES IN CONTAINING EROSIVE FEATURES IN SLODS

¹Bacharel em Engenharia Civil pelo UGB/FERP.

²Mestra em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Federal do Paraná.

Abstract

Bioengineering is an area of geotechnics that every day expands its horizons with regard to slope erosion containment techniques. Thus, through a case study, the general objective of the study was to analyze the efficiency of bioengineering techniques in the containment of the erosive feature on slopes along the Manhuaçu River, in the Manhuaçu River Watershed, in the state of Minas Gerais. Specific objectives of the study were to verify the slope concept and its relationship with the erosive process, and to compare the costs of implementing bioengineering and conventional techniques to contain erosive features in the study area. Through the results obtained, it was observed that the bioengineering technique used was efficient in containing the erosive feature in the area, in addition to being ecologically correct, because when using natural materials, they cause less impact to the environment. The cost for implementing only the bioengineering technique was lower than the combined use of bioengineering and conventional methods and the use of only the conventional technique. It is concluded that studies focused on this area will help in the development and greater use of natural, effective and lower cost practices in the containment of erosive features.

Keywords: Erosion. Slopes. Containment. Bioengineering.

Introdução

A bioengenharia, a engenharia biológica ou a engenharia paisagística é uma disciplina construtiva e de gestão paisagística, utilizando, sobretudo materiais vivos como sementes, plantas, partes de plantas e comunidades de plantas isoladamente ou em combinação com materiais inertes como rochas, solo, madeira, ferro e aço como elementos construtivos para a execução de obras, consolidação de encostas, margens, controle de erosão e proteção do ambiente natural (ARAÚJO FILHO et al., 2013).

Dentre os diferentes objetivos na utilização de técnicas de bioengenharia na construção civil, os autores supracitados destacam os objetivos técnicos, que tem função de proteger e estabilizar solos através da utilização de sistemas de raízes vegetais com a aplicação dessas técnicas em encostas de rios, resultando na diminuição da velocidade da corrente d'água.

Em relação aos objetivos ecológicos, ressalta-se que como a matéria-prima é material vegetal, as condições ecológicas são melhoradas e contribuem para acelerar a recuperação do ecossistema. Além disso, também existem objetivos estéticos, que melhoram o aspecto visual da paisagem e reduzem os impactos que a execução de determinadas ações podem gerar sobre ela; e por fim os objetivos econômicos, que são mais lucrativos ao longo prazo devido à sua baixa manutenção (ARAÚJO FILHO et al., 2013).

A utilização de técnicas de bioengenharia em taludes degradados pela erosão contribui na remediação de danos ambientais, sociais e econômicos causados por erosão hídrica, assim como, estabilizam os processos erosivos (ARAÚJO FILHO et al., 2013).

Deste modo, o objetivo geral do estudo foi analisar a eficiência de técnicas de bioengenharia na contenção da feição erosiva em talude ao longo do rio Manhuaçu, na Bacia Hidrográfica do rio Manhuaçu, no estado de Minas Gerais. Os objetivos específicos do estudo foram verificar o conceito de vertente e sua relação com o processo erosivo, e comparar os custos de implantação de técnicas de bioengenharia e convencional para contenção de feição erosiva na área de estudo.

O estudo questiona: é possível controlar e recuperar um talude degradado por esse processo, às margens de um rio, com a utilização de uma técnica de bioengenharia?

Para o desenvolvimento da temática, a metodologia empregada tem abordagem qualitativa; quanto aos objetivos, é do tipo exploratória, tendo como foco se familiarizar com o problema com a intenção de criar uma hipótese ou expor mais o problema, e, quanto aos procedimentos, se caracteriza por ser um estudo de caso, que tem a intenção de explorar e descrever situações reais, formular hipóteses, desenvolver teorias e explicar variáveis de causa de um fenômeno complexo (GIL, 2018).

A escolha do tema do estudo de caso se deu em função do autor desse trabalho ter participado ativamente na empresa que executou a obra de contenção da feição erosiva descrita nesse artigo.

Revisão de literatura

O processo erosivo

De acordo com os autores Conciani (2008) e Fernandes (2011), a palavra erosão origina-se do latim “*erode*” ou “*erodere*” que significa corrosão. A erosão, é definida por Fernandes (2011, p. 17) como “[...] um conjunto de ações, incluindo o desprendimento (desagregação), o arraste (transporte) e a deposição das partículas de solo causada por agentes erosivos, tais como o gelo, o vento, a gravidade e a água”.

Conciani (2008) define erosão como um processo de desagregação e transporte de partículas do solo provocadas por intempéries. Almeida Filho (1998) complementa afirmando que a interferência humana neste processo natural pode aumentar com o passar do tempo denominando o que se chama de erosão acelerada ou antrópica. Além disso, Costa et al. (2005) atentam para o fato de que a erosão empobrece o solo, tornando-o improdutivo e de difícil recuperação, prejudicando os recursos hídricos e, conseqüentemente, a sociedade. Também danifica o meio ambiente por meio de assoreamento e poluição das fontes de água (COGO et al., 2003).

Diversos fatores contribuem para a erosão: a água da chuva e sua precipitação (intensidade e duração), cobertura vegetal, solo (textura, permeabilidade, características físicas e químicas), relevo (declividade e encosta) e manejo do solo (GUERRA e CUNHA, 1998).

De acordo com Rubira et al. (2016), no Brasil, é possível classificar os principais tipos de erosão hídrica em: fluvial, onde há o desgaste do solo através da ação dos rios, lagos e nascentes, e pluvial, quando a chuva desloca sedimentos do solo, podendo ser classificadas como laminar, linear e por salpicamento.

Conceito de vertente e sua relação com o processo erosivo

O conceito de vertentes, ou popularmente conhecida como encosta, pode ser definido como:

[...] áreas inclinadas da superfície terrestre em relação à horizontal, que se modificam em decorrência da interação entre variados processos geomorfológicos, e possuem uma forma que é produto de processos atuantes no passado e no presente. (LEÃO e BRUM, 2016, p. 79)

Christofoletti (1980 *apud* LEÃO E BRUM, 2016, p. 80) acrescenta informando que a vertente se configura como “um elemento da paisagem cuja forma resulta da interação de fatores endógenos e exógenos”, ou seja, fatores internos e externos.

Através da influência de fatores como relevo (tipo de solo, cobertura vegetal etc) e clima (temperatura alta, precipitação pluviométrica etc), as vertentes sofrem modificações em sua estrutura física, como deslizamentos e erosões (LEÃO E BRUM, 2016). Alguns desses fatores são naturais, representados pela interação biológica, geológica e climática do espaço e outros são provocados pela ação do homem, ou sistema antrópico, que, segundo Leão e Brum (2016, p. 82), “modifica a distribuição de matéria e energia, intensificando ou minimizando os processos morfogenéticos nas vertentes”.

De acordo com Vieira et al. (2016), a erosão hídrica é extremamente prejudicial ao solo, já que diminui a sua qualidade e produtividade, reduzindo o seu potencial de infiltração e retenção de água, nutrientes, matéria-orgânica, biota e profundidade. Para Selby (1993 *apud* VIEIRA et al., 2016) e Guerra (2016), a erosão hídrica do solo nas vertentes está relacionada às erosões por salpicamento, linear e laminar. No entanto, Vieira et al. (2016), também consideram as ações intempéries, dos seres vivos, e, em particular, da antrópica.

Bioengenharia na recuperação de vertentes

A bioengenharia é uma técnica fácil e barata de ser implementada se comparada às técnicas convencionais de estabilização de encostas de terrenos e margens de cursos de água. Além disso, a bioengenharia está em conformidade com os aspectos ecológico e estético, pois usa materiais orgânicos e biológicos (SUTILI et al., 2004).

A técnica de bioengenharia ou engenharia natural compreende a utilização de materiais vegetais vivos ou inertes, associado a materiais de suporte natural ou sintético,

[...] como rochas, madeiras, concretos, polímeros e mantas confeccionadas com fibras vegetais, que são chamados de geotêxteis ou biomantas. A técnica proporciona o aumento da resistência do solo em diversas condições de declividade e granulométrica, em obras de estabilização de solos e sedimentos e em obras para restabelecer a vegetação. (ARAÚJO FILHO et al., 2013, p. 2)

De acordo com Monteiro (2009), o componente estrutural da bioengenharia para estabilização do solo é a vegetação. E o autor esclarece que, as técnicas de bioengenharia são aplicadas em taludes para reduzir e controlar a erosão superficial e restringir o movimento de massa do solo.

As principais técnicas de bioengenharia de solo são: estacas vivas, feixes vivos, drenos vegetados, camada de ramos, ramos envelopados, recuperação de voçorocas, paredes vegetadas, manta de arbustos, barreiras vivas, geogrelhas vegetadas, espigão com árvores, gabiões de pedra com vegetação, proteção viva de taludes, paliçadas vivas, hidrosemeadura, enrocamento de pedras, geossintéticos e retentores de sedimentos (ARAÚJO FILHO et al., 2013).

Outro fator importante é que a utilização de métodos de bioengenharia para contenção de feição erosiva possui custo inferior quando comparado às técnicas convencionais. Coelho e Pereira (2006) afirmam que a utilização de técnicas de bioengenharia na contenção de feição erosiva possui baixo custo e, por isso, requer técnicas relativamente simples para instalação e manutenção.

Estudo de caso

Área de estudo

A Pequena Central Hidrelétrica Pipoca (PCH Pipoca) localiza-se no rio Manhuaçu, na cidade de Ipanema, no estado de Minas Gerais. Foi inaugurada em abril de 2011 e atende a uma população de aproximadamente 150.000 habitantes. Tem potência de 20MW, o que lhe permite propiciar energia de 11,70MW. Seu reservatório encontra-se em uma área inundada de 85,5 ha e elevação de 400,50 m. Possui uma barragem de 200 m x 16 m (extensão e altura), com queda de 49 m. Seu vertedouro tem como característica soleira livre com tomada d'água, estilo torre, com um vão de adução em túnel, compreendendo uma extensão de 1,8 km. A casa de força é de concreto, estilo abrigada, possuindo um total de três máquinas do tipo Francis de eixo horizontal (PCH PIPOCA, 2016).

A bacia do rio Manhuaçu faz parte da bacia do rio Doce e equivale a 10,48% da sua área, o que corresponde a 8.805,33 km² (BARBOSA et al., 2020). A bacia do rio Doce é dividida em 6 unidades de planejamento, sendo que a bacia do rio Manhuaçu recebe a sigla DO6 pela Unidade de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (UPGRH), e está 96% localizada no estado de Minas Gerais e o restante no estado do Espírito Santo. O rio Manhuaçu nasce na Serra da Seritinga, divisa dos municípios de Divino e São João do Manhuaçu e deságua no rio Doce (PCH PIPOCA, 2016).

Apresentando uma população estimada de 308.792 habitantes, abrangendo 28 municípios, com extensão de 347 km e área de drenagem de 8.826 km², a bacia do rio Manhuaçu tem os rios José Pedro e São Manuel como principais afluentes pela margem direita. Está localizada na região denominada Zona da Mata e é inserida no Bioma da Mata Atlântica (IGAM, 2008).

Em relação ao clima, a bacia do rio Manhuaçu possui três classificações de acordo com Köppen: Cwb, principalmente no sul da bacia, que é caracterizado pelo clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado nos locais mais

elevados; o Cwa, predominando na sua porção central e noroeste, com verão quente e inverno seco; e no nordeste da bacia, próximo à foz, o Aw, determinado pelo clima tropical e estação seca no inverno (BARBOSA et al., 2020).

As feições erosivas Nº 17 e 21 (Figuras 1 e 2), tema deste estudo, estão localizadas na margem esquerda do rio Manhuaçu/reservatório da PCH Pipoca, município de Caratinga (MG), especificamente nas coordenadas UTM 207.139,000/7.810.735,994.

Figura 1 (esquerda). Feição erosiva Nº 17.



Figura 2 (direita). Feição erosiva 21.



Fonte: PCH PIPOCA (2016).

Antes da implantação e operação da PCH Pipoca, a feição era definida como um ravinamento situado em talude de corte de uma estrada que foi inundada. Logo, houve um avanço da feição erosiva, cujo potencial de evolução foi de médio para alto. Tal situação decorreu da frágil encosta (topografia íngreme, presença de solo argiloso - Argissolo Vermelho Amarelo - e ausência de vegetação) ser submetida às “marolas” do reservatório e à constante saturação/umidade, o que ocasionou o avanço do processo erosivo (PCH PIPOCA, 2016).

Em 2016, as feições Nº 17 e 21 ocupavam uma área de 1.500 m² e por isso o talude apresentava aspecto caótico. O entorno imediato apresentava uma vegetação rala com pequenos arbustos, semelhante à vegetação presente no interior da erosão, a qual se instalou nos locais de menor declividade. Havia ainda a presença de mudas nativas provenientes de reflorestamento realizado no ano de 2013.

Na cabeceira irregular havia segmentos com material pendente e trechos abruptos. Embora, não apresentassem sulcos que evidenciassem caminhos das águas da chuva, verificou-se que o escoamento dessas águas ocorria de forma difusa, porém com grande volume. No interior, as faces dos taludes, íngremes e irregulares, com concavidades e saliências, expunham o solo às intempéries. Alguns sulcos talhavam o material desagregado, transportando-o, parcialmente, até o reservatório durante as chuvas.

Adicionalmente, na parte inferior das feições ocorreram processos de solapamento e colapso, que por sua vez, instabilizaram as porções adjacentes da encosta, indicando que esta estava ativa. Depois, pôde-se observar que havia o estabelecimento de vegetação rasteira de porte herbáceo na base do talude, denotando uma tendência à estabilização.

Deve-se mencionar que ações iniciais para inibir a evolução das feições Nº 17 e 21 foram empregadas em 2013, como o plantio de mudas de espécies nativas na porção superior da feição. Contudo, devido às condições edáficas da área estarem completamente depauperadas, não foi possível o desenvolvimento satisfatório dessas plantas. Entendeu-se, portanto, que, para a completa reabilitação da área e sua integração à paisagem local, seria indispensável o uso de soluções da bioengenharia (PCH PIPOCA, 2016).

Metodologia

Recuperação das feições erosivas

O início das ações foi marcado pela realização da limpeza e roçada da vegetação existente em toda a face dos taludes, inclusive nas porções inferiores, já que esta vegetação não favorece a adequada cobertura e proteção do solo.

Logo depois, os taludes foram reconformados, manualmente, de modo a retirar as negatividades na cabeceira, suprimir dutos, saliências, sulcos e concavidades, minimizando a declividade acentuada e obtendo superfícies uniformes.

Os ravinamentos e/ou concavidades mais profundos foram preenchidos com retentores de sedimentos para correção da superfície e o solo solto decorrente das ações de reconformação foi compactado manualmente, sobretudo nos locais à montante das paliçadas.

Na sequência, foi realizada a instalação de paliçadas de madeira e bambu (Figura 3) na porção inferior da feição erosiva, para inibir as perdas de solo e reter o fluxo de sedimentos carregado para o reservatório.

Figura 3. Execução das paliçadas na parte inferior da feição erosiva.



Fonte: PCH PIPOCA (2016)

Para impedir a incidência de novos solapamentos na base da encosta pela depleção e marolas do reservatório, foi construída uma barreira de proteção das margens, utilizando-se os biorretentores de fibra de coco, próximo ao nível de depleção do reservatório.

Posteriormente, as áreas com solo exposto foram alvos das práticas de aplicação de bermas artificiais com biorretentores de sedimentos e revegetação, incluindo microcoveamento, adubação e semeio manual.

Para assegurar a estabilização da encosta, no trecho à montante da feição erosiva, foi confeccionada uma canaleta de crista que recebeu como revestimento a tela vegetal tridimensional (Figura 4). A canaleta contornou a cabeceira da erosão com a finalidade de receber toda a contribuição hídrica que escoar em direção à mesma, e se estender até o reservatório onde as águas pluviais serão lançadas.

Figura 4. Aplicação da biomanta da canaleta de crista.



Fonte: PCH PIPOCA (2016)

Em seguida, telas vegetais ou biomantas antierosivas foram aplicadas rente ao solo para evitar a movimentação de sedimentos por debaixo das mesmas, e favorecer o desenvolvimento da vegetação por entre sua malha. Após a aplicação das telas vegetais e logo acima dos retentores de sedimentos foram plantadas as mudas de capim Vetiver (Figuras 5A e 5B).

Figuras 5A (esquerda) e 5B (direita). Aplicação de telas vegetais e de mudas de capim Vetiver.



Fonte: PCH PIPOCA (2016)

Comparação dos custos entre técnicas convencionais e de bioengenharia

A comparação de custos entre a utilização de técnicas convencionais foi realizada anteriormente ao início da obra de contenção das feições erosivas, ainda no ano de 2017, com o objetivo de auxiliar na escolha do procedimento a ser utilizado. Para isso foi realizado um orçamento para área a ser recuperada com os valores de mercado da região da execução do projeto, e as três técnicas analisadas foram: bioengenharia, concreto projetado e gabião com bioengenharia.

Resultados e Discussão

Recuperação da feição erosiva

Como resultado da pesquisa, observou-se que as técnicas utilizadas são ecologicamente corretas, pois ao fazer uso de materiais naturais, provocaram menor impacto ao meio ambiente (Figura 6).

Figura 6. Vista geral da conclusão da recuperação da feição erosiva.



Fonte: PCH PIPOCA (2016)

Foram plantadas sementes de leguminosas para acelerar o processo de vegetação e as mesmas iniciaram a germinação sete dias após a semeadura. De acordo com Araújo Filho et al. (2013), a base fundamental da bioengenharia é o aproveitamento dos materiais naturais da natureza para a estabilização do solo, permitindo que, com o tempo, a vegetação se estabeleça. As raízes das plantas sustentam o solo; a vegetação em decomposição incentiva a água a se infiltrar nele ao invés de correr e causar a erosão.

Dias et al. (2012) cita como técnicas eficazes de bioengenharia a utilização de biomantas, telas vegetais e fibras para dar estabilidade aos taludes, além da construção de canaletas para drenagem interna e superficial. E conclui que a utilização da bioengenharia deve ser realizada através de uma boa gestão integrada de conhecimentos e técnicas para que não ocorram problemas futuros.

Couto e Gonçalves (2010) fazem um apanhado de todos esses benefícios quando destacam as principais vantagens do uso da bioengenharia: menor requerimento de maquinário e, conseqüentemente, maior retorno social por utilizar mão-de-obra braçal nas etapas de construção da contenção, acompanhamento e monitoramento da vegetação; utilização de materiais naturais e locais; melhor relação custo/benefício em comparação às técnicas tradicionais; compatibilidade ambiental, pois pouco necessita movimentar o solo; podem ser aplicadas em locais de difícil acesso.

Outro ponto de destaque salientado pelos autores é a adequação paisagística e ambiental, já que segundo Monteiro (2009), a técnica de bioengenharia para estabilização do solo é a vegetação. Depois de crescida a vegetação, a feição erosiva recuperada através de técnicas de bioengenharia se torna parte da paisagem, como ocorria antes da intensificação do processo erosivo, como pode ser observado na imagem da Figura 7.

Figura 7. Cinco anos depois da construção da contenção da feição erosiva utilizando técnicas da Bioengenharia – Foto atual do local (abril de 2022).



Fonte: Pesquisa do Autor (2022)

Comparação dos custos entre as diferentes técnicas de bioengenharia

Os custos da utilização da técnica de bioengenharia para contenção das feições erosivas na área de estudo são apresentados no Quadro 1:

Quadro 1. Custos para utilização da técnica de bioengenharia para contenção das feições erosivas na área de estudo.

		Unidade	Valor por unidade (R\$)	Quantidade de unidades	Total (R\$)
1. Serviços Preliminares	1.1 Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	m ²	1.500,00	0,41	615,00
	1.2 Aplicação de Paliçadas	m ²	3.000,00	1,1	3.300,00
2. Movimentação de terra	2.1 Acerto e regularização de terreno	m ²	1.500,00	6,6	9.900,00
3. Contenções com bioengenharia	3.1 Preparações do solo - (Microcoveamento, adubação e semeio manual)	m ²	1.500,00	3,4	5.100,00

	3.2 Adubo de Cobertura – (NPK-20-05-20)	Kg/ha	40,00	4,6	184,00
	3.3 Adubação das Sementes – (NPK-04-14-08)	Kg/ha	45,00	3,5	157,50
	3.4 Fosfato Natural	Kg/ha	45,00	2,5	112,50
	3.5 Adubo Orgânico ou Esterco Curtido	Kg/ha	500,00	1,0	500,00
	3.6 Total das Sementes, conforme relatório Técnico.	Kg/ha	30,00	17,00	510,00
	3.7 Aplicação de retentores de sedimentos tipo bermalonga D40 fibra de coco	unidade	64,00	42,00	2.688,00
	3.8 Aplicação de retentores de sedimentos tipo bermalonga D40 ou D20 capim prensado	unidade	48,00	40,00	1.920,00
	3.9 Canaleta revestida com geotêxtil tipo tela vegetal Vmax Plus 300 TRC	m ²	100,00	40,00	4.000,00
	3.10 Bacia de dissipação, composta por manta de bidim OP040 e rachão	m ²	2,00	300,00	600,00
	3.11 Fornecimento e Aplicação de Tela Vegetal VMAX 300 RD de fibra de coco	m ²	1.500,00	7,00	10.500,00

	3.12 Barreiras vivas de capim vetiver	m ²	750,00	12,5	9.375,00
	3.13 Transporte, alimentação e outros	Valor base (vb)	1,00	4.500,00	4.500,00
4.Total					53.962,00

Fonte: Pesquisa do Autor. Valores referentes ao ano de 2016. Análise necessária para a escolha do método a ser utilizado.

O orçamento para a utilização da técnica de concreto projetado na área de estudo é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Custos para utilização da técnica de concreto projetado para a contenção das feições erosivas na área de estudo.

		Unidade	Valor por unidade (R\$)	Quantidade de unidades	Total (R\$)
1.Serviços Preliminares	1.1 Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	m ²	1.500,00	0,41	615,00
	1.2 Aplicação de Paliçadas	m ²	3.000,00	1,1	3.300,00
2.Movimentação de terra	2.1 Acerto e regularização de terreno	m ²	1.500,00	6,6	9.900,00
	2.2 Escavações de acessos para equipamentos e materiais	m ³	800,00	11,2	8.960,00
3.Contenções	3.1 Perfuração com D=50mm em terra para instalação de chumbador em aço para injeção de calda de cimento.	m	300,00	152,00	45.600,00
	3.2 Chumbador em aço CA 50 D=12,5mm	kg	280,00	15,21	4.258,80

	3.3 Injeção de calda de cimento	m	300,00	132,00	39.600,00
	3.4 Armação em tela de aço soldada nervurada Q-138, aço CA-60, 4,2mm, malha 10x10cm	kg	1.300,00	11,21	14.573,00
	3.5 Fornecimento e aplicação de concreto projetado Fck = 15 Mpa	m ³	71,00	880,00	62.480,00
	3.6 Perfuração com D=50mm em terra para instalação de tubo PVC D=2	m	4,55	152,00	691,60
	3.7 Tubo PVC D=2 com matéria 3.8 I drenante para dreno/barbacã – Fornecimento e instalação	unidade	93,00	25,3	2.352,90
	3.8 Revestimento vegetal com grama em leivas	m ²	80,00	12,45	996,00
4.Total					193.327,30

Fonte: Pesquisa do Autor. Valores referentes ao ano de 2016. Análise necessária para a escolha do método a ser utilizado.

Os valores referentes ao orçamento para a utilização de gabião com bioengenharia na área de estudo são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Custos para utilização de gabião com bioengenharia para contenção das feições erosivas na área de estudo.

		Unidade	Valor por unidade (R\$)	Quantidade de unidades	Total (R\$)
1.Serviços preliminares	1.1 Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	m ²	1.500,00	0,41	615,00
	1.2 Aplicação de Paliçadas	m	3.000,00	1,1	3.300,00

2.Movimentação de terra e contenção com muro gabião	2.1 Escavação para base de Muro Gabião	m ²	180,00	19,82	3.567,60
	2.2 Execução de dreno com manta geotêxtil 300 g/m ²	m ²	180,00	16,95	3.051,00
	2.3 Muro gabião cx 1,00 alt.8X10,ZN/AL D=2,7mm	m ²	360,00	383,2	137.952,00
	2.4 Acerto e regularização de terreno	m ²	1.000,00	6,6	6.600,00
3.Contenções com bioengenharia	3.1 Preparações do solo - (Microcoveamento, adubação e semeio manual)	m ²	1.500,00	3,40	5.100,00
	3.2 Adubo de Cobertura - (NPK-20-05-20)	Kg/ha	40,00	4,60	184,00
	3.3 Adubação das Sementes - (NPK-04-14-08)	Kg/ha	45,00	3,50	157,50
	3.4 Fosfato Natural	Kg/ha	45,00	2,50	112,50
	3.5 Adubo Orgânico ou Esterco Curtido	Kg/ha	500,00	1,00	500,00
	3.6 Total das Sementes, conforme relatório Técnico.	Kg/ha	30,00	17,00	510,00
	3.7 Aplicação de retentores de sedimentos tipo bermalonga D40 fibra de coco.	unidade	64,00	42,00	2.688,00
	3.8 Aplicação de retentores de sedimentos tipo bermalonga D40 ou D20 capim prensado.	unidade	48,00	40,00	1.920,00
	3.9 Canaleta revestida com geotêxtil tipo tela vegetal Vmax Plus 300 TRC.	m ²	100,00	40	4.000,00
	3.10 Bacia de dissipação, composta por manta de bidim OP040 e rachão.	m ²	2,00	300,00	600,00
	3.11 Fornecimento e Aplicação de Tela Vegetal VMAX 300 RD de fibra de coco.	m ²	1.500,00	7,50	11.500,00
	3.12 Barreiras vivas de capim vetiver	m	750,00	12,5	9.375,00
	3.13 Transporte, alimentação e outros	vb	1,00	4.500,00	4.500,00

4.Total	198.667,60
----------------	-------------------

Fonte: Pesquisa do Autor. Valores referentes ao ano de 2016. Análise necessária para a escolha do método a ser utilizado.

Ressalta-se que nos orçamentos apresentados estão incluídos apenas os valores referentes aos custos para a utilização das técnicas de contenção das feições erosivas para a área em análise. Deste modo, excluem-se o valor do serviço da empresa executora e os impostos referentes a execução de tal obra, sendo esses valores fixos sobre o custo total da técnica de contenção.

É possível observar nos Quadros 1, 2 e 3 que o valor para a utilização da técnica de bioengenharia para a área de estudo foi de R\$ 53.962,00, sendo inferior aos valores necessários para a utilização da técnica convencional de concreto projetado (R\$ 193.327,30) e da utilização conjunta de uma técnica convencional com bioengenharia (R\$ 198.667,60). Deste modo, foi possível constatar que a utilização apenas da técnica de bioengenharia foi uma opção de baixo custo e eficiente na contenção da feição erosiva para a área em estudo.

Embora o baixo custo da implantação de técnicas de bioengenharia seja um fator positivo e atrativo para utilização de tal método, devem ser considerados também outros fatores, como a dinâmica hidrológica da área, bem como as suas características físicas (geologia, textura de solo, grau de inclinação e forma da encosta, por exemplo) além do seu uso e ocupação. Mathias e Cunha (2013) destacam que a contenção de processos erosivos em áreas urbanas é um processo mais complexo, resultante da alta impermeabilidade e do comportamento do escoamento superficial, assim as técnicas de bioengenharia devem ser utilizadas em conjunto com métodos convencionais, além de serem necessárias a adoção outras medidas para a melhoria da própria infraestrutura da área.

Considerações Finais

Diante das análises realizadas percebe-se que a utilização das técnicas de bioengenharia para a contenção da feição erosiva representou uma alternativa eficaz, de baixo custo e ecologicamente correta na área analisada, já que foram adotados materiais orgânicos que proporcionam maior equilíbrio geomorfológico.

Em relação à comparação dos custos entre diferentes métodos de contenção das feições erosivas da área de estudo, a utilização apenas da técnica de bioengenharia apresentou o menor valor quando comparado à utilização conjunta de métodos de bioengenharia e convencional e a utilização apenas de técnica convencional.

A utilização da técnica de bioengenharia para contenção de feição erosiva em talude requer estudo do solo e do processo erosivo para compreender o histórico das precipitações e a dinâmica do curso da água, além das características físicas da área. Também faz-se necessário um monitoramento pós implementação da técnica de modo a auxiliar o desenvolvimento da vegetação e controle do processo erosivo.

Conclui-se que são necessários mais estudos voltados para essa área, visto que outros trabalhos auxiliarão no desenvolvimento e na maior utilização de práticas naturais, eficazes e de menor custo na contenção de feições erosivas.

Referências

ALMEIDA FILHO, Gerson S. Prevenção de erosões em áreas urbanas. In: **Simpósio Nacional De Controle De Erosão**, 6, Presidente Prudente. Anais, 1998.

ARAÚJO FILHO, Renisson N.; HOLANDA, Francisco Sandro R.; ANDRADE, Kairon R. Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle de erosão no baixo São Francisco, Estado de Sergipe. **Scientia Plena**. Aracaju, v. 9, nº. 7(a). p.1-9, jun./jul. 2013.

BARBOSA, Rodolfo A. et al. Bacia hidrográfica do rio Manhuaçu: caracterização ambiental e proteção de nascentes. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**. Belo Horizonte, v.1, nº.2. p. 1-18. jul./dez. 2020.

COELHO, Arnaldo. T.; PEREIRA, Aloísio. R. **Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**. Boletim Técnico: Deflor Bioengenharia, Ano 01, v.1, nº. 2. p.1-20. 2006.

COGO, Neroli. P.; LEVIEN, Renato; SCHWARZ, Ricardo A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, n. 4. p. 743-753, 2003.

CONCIANI, Wilson. **Processos erosivos: conceitos e ações de controle**. 1 ed. Cuiabá: CEFET - MT, 2008.

COSTA, Thomaz C. C. et al. **Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro**. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005.

COUTO, Laércio; GONÇALVES, Wantuelfer. **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil**. Boletim Técnico: Viçosa: CBCN, 2010.

DIAS, Dário M.; SANTOS, Edvaldo C.; GOMES, Devson Paulo P. **Bioengenharia dos solos para estabilização de taludes aplicadas nas Indústrias Nucleares do Brasil-INB**. Instituto de Engenharia. Publicado em 27/02/2012. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot6501.pdf> Acesso em: 17 mar. 2022

FERNANDES, Jozelia A. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentim, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2011.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

GUERRA, Antônio José T. **Erosão dos Solos e Movimentos de Massa**. 1 ed. Curitiba, Brasil: Editora CRV, 2016.

GUERRA, Antônio José T.; CUNHA, Sandra B. **Geomorfologia**: Uma atualização de bases de conceitos, 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão de Águas, **Bacias hidrográficas**. 2008. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/155?task=view> Acesso em: 20 abr. 2022.

LEÃO, Otavio Miguez R.; BRUM, Leonardo B. Dinâmica de vertentes: processos e formas. In: LEÃO, Otavio Miguez R.; BRUM, Leonardo B. **Geomorfologia Continental**. Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2016.

MATHIAS, Dener T.; CUNHA, Cenira Maria L. Propostas de dispositivos em bioengenharia para contenção erosiva e recuperação de áreas peri-urbanas degradadas. **Geografia**. Rio Claro, v. 38, n. 1, p. 157-173, jan./abr. 2013.

MONTEIRO, Josita Soares. **Influência do ângulo de plantio na propagação vegetativa de espécies utilizadas em engenharia natural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

PCH PIPOCA. **Projeto de recuperação da feição n. 21 localizado a margem do reservatório da PCH Pipoca**. Discern, 2016. 16 p.

RUBIRA, Felipe. G.; MELO, Georgea. do V. de.; OLIVEIRA, Filipe Kallás S. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encostas. **Revista de Geografia**. Recife, v.33, nº. 1. p. 168-193. 2016.

SUTILI, Fabrício. J.; DURLO, Miguel. A.; BRESSAN, Delmar. A. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de curso de água. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, nº. 1. p. 13-20, jun. 2004.

VIEIRA, António; et al. **Riscos geomorfológicos e suas manifestações**. In: LOURENÇO, L.; VIEIRA, António (org). **Catástrofes naturais: uma abordagem global**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 202. Disponível em <https://ucdigitalis.uc.pt/pombalina/item/67637> Acesso em: 18 fev. 2022.