

A BIOENGENHARIA NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES E ENCOSTAS NATURAIS DA CIDADE DE SALVADOR - BA

Humberto Laranjeira de Souza Filho¹

Renan Rodrigues Alves Santos²

Waldete Japiassu de Oliveira Carneiro³

Resumo

A bioengenharia de solos é um campo da geotecnia que ganha cada vez mais espaço no cenário técnico referente à estabilização de taludes e encostas naturais. As técnicas utilizadas mesclam o uso de soluções tradicionais com materiais naturais, para que desta forma o sistema tenha igual eficácia, com custos inferiores além de menor impacto ao meio ambiente quando comparado aos demais. Este trabalho procura através de uma revisão bibliográfica e visita a uma obra que adotou o sistema, estabelecer relação entre o uso da vegetação e o aumento da resistência do solo, para que desta maneira a prática de bioengenharia seja difundida entre as obras de contenção e estabilização de maciços, como forma de garantir a boa técnica, segurança dos projetos, e também da preservação ambiental.

Palavras-chave: Controle de Erosão; Estabilização de Taludes; Contenções; Bioengenharia.

Abstract

The soil bioengineering is a field of geotechnical that is gaining more space in the technical background to the stabilization of slopes and natural hillsides. The techniques used mix the use of traditional solutions with natural materials, so this way the system is equally effective, with lower costs and lower environmental impact when compared to others. This work looking through a literature review and visits to a work that adopted the system, establish the relationship between the use of vegetation and increased soil strength, so that in this way the practice of bioengineering is widespread among the works of containment and stabilization massive as a way to ensure good technique, safety projects, and also environmental preservation.

Keywords: Erosion Control; Slope Stabilization; Retaining; Bioengineering.

1 INTRODUÇÃO

Sob o nome genérico de taludes compreende-se quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha. Podem ser naturais, caso das encostas, ou artificiais, como os taludes de cortes e aterros (CAPUTO, 1987).

Todos os anos, a nível global, vários episódios englobando movimentação de massa foram responsáveis por tragédias, assim como pela morte de milhares de pessoas durante décadas. A ocupação desordenada da população, bem como a negligência de profissionais envolvidos em obras de terra são atualmente os principais responsáveis por tais acidentes. Daí pode-se destacar a fundamental importância do estudo aqui apresentado; não só como forma de aprofundamento do acervo técnico já existente, mas como um meio de inovação de novas técnicas de estabilização,

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Salvador – UNIFACS, Bolsista de Iniciação Científica – CNPq. E-mail: humbertolar@gmail.com

² Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Salvador – UNIFACS, Bolsista de Iniciação Científica – UNIFACS. E-mail: renan_rodrigs@hotmail.com

³ Professora Adjunta, *Laureate International Universities- Universidade Salvador -Unifacs*. CEP 41770-235 Salvador (BA), Brasil. E-mail: waldete.carneiro@pro.unifacs.br

com maior enfoque na bioengenharia, de modo a preservar a estabilidade dos maciços, e por consequência a segurança da população.

Vários são os estudos realizados na área com o intuito de minorar os efeitos dos processos erosivos, que se enfocam no aprimoramento de técnicas avançadas, bem como sustentáveis. Neste contexto surge em perspectiva a bioengenharia de solos em um conjunto de ações que se baseiam na utilização de materiais vivos com as usuais práticas da engenharia. No entanto, estudos no sentido de se levantar informações a respeito do comportamento mecânico do solo quando submetidos a técnicas de bioengenharia ainda são incipientes no Brasil, em particular na cidade de Salvador, fazendo-se necessário a realização de pesquisas relacionadas a essa temática.

A bioengenharia combina os princípios da ecologia, hidrologia, geologia e física. A ideia básica é aproveitar as propriedades naturais da vegetação para estabilizar o solo, enquanto as estruturas bem concebidas evitam falhas e permitem que, com o tempo, a vegetação se estabeleça. As raízes das plantas dão sustentação ao solo; a vegetação em decomposição incentiva a água a se infiltrar nele em vez de escoar, causando erosão GRAY e SOTYR (1996) citados em Araújo et al (2013).

Coelho e Pereira (2006) afirmam que essas operações, em decorrência de seu baixo custo, requerimento técnico relativamente simples para instalação e manutenção, adequação paisagística e ambiental, têm encontrado largo campo de aplicação em regiões tropicais e semitropicais, já que nelas as condições favoráveis ao crescimento da vegetação ocorrem durante quase todo o ano. Deste modo, a cidade de Salvador é campo vasto para a utilização da técnica e, por conseguinte, da atuação de pesquisa e estudos referentes ao tema e melhorias em suas aplicações na estabilização de taludes e encostas naturais.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada por este trabalho compreende um levantamento bibliográfico acerca das principais técnicas usuais de bioengenharia na estabilização de taludes e encostas, e consequentemente seus efeitos no comportamento mecânico de solos através da utilização de artigos científicos e demais publicações da área. Além disso, foi realizada uma visita técnica à obra do Complexo Viário do Imbuí, na Avenida Luiz Viana Filho na cidade de Salvador – BA,

no sentido de se fazer uma complementação ao levantamento crítico e técnico da eficácia do uso da bioengenharia na estabilização de taludes e encostas naturais.

3 OBJETIVO

O trabalho aqui apresentado visa estabelecer parâmetros acerca da utilização das técnicas de bioengenharia bem como sua eficácia no controle de processos erosivos em taludes e encostas naturais. Desta forma, procura comparar os métodos tradicionais utilizados em contenções e estabilizações de maciços terrosos em relação àqueles que fazem uso da vegetação, através de revisão bibliográfica e estudos de caso na cidade de Salvador – BA.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Erosão em Taludes e Encostas Naturais

O conceito de erosão é essencialmente um processo de desgaste da superfície e/ou arrastamento das partículas do solo por agentes, tais como a água das chuvas (hídrica), ventos (eólica) ou outros agentes geológicos, incluindo processos como o arraste gravitacional (DIAS, 2014).

Os processos erosivos ocorrem de maneira simultânea ou não na natureza, em três fases diferentes. Galas (2006) define estas fases em desagregação, transporte e deposição. Segundo o autor, a primeira fase, desagregação, consiste em um choque ou impacto dos agentes erosivos na superfície do solo, o transporte das partículas soltas caracteriza a segunda fase do processo e a deposição dos materiais desprendidos finaliza o processo erosivo, que pode chegar ao fim quando o agente deixa de agir sobre o maciço ou até mesmo quando aquele perde sua intensidade devido a obstáculos impostos tanto pela topografia do terreno quando pela presença de vegetação no mesmo.

Ao se tratar de erosão, dois conceitos devem ser esclarecidos de forma a compreender o processo e estabelecer importantes relações entre os agentes erosivos e o solo exposto a intempéries. O primeiro refere-se à erodibilidade, característica intrínseca do solo, definida pelo grau de facilidade em que suas partículas são desprendidas e carregadas pelos agentes, portanto,

quanto maior a erodibilidade de um solo mais suscetível à erosão ele será. O segundo conceito, traz o termo erosividade, mais comumente utilizado como erosividade da chuva, ou meramente a capacidade deste agente em causar erosão, deste modo, sua intensidade é proporcional à duração e volume de chuva, bem como da quantidade de energia cinética que esta desprende ao solo.

De modo geral, a evolução da erosão hídrica, que no Brasil é a maior responsável pelos processos gerados devido ao alto índice pluviométrico do país, depende em suma do nível de erodibilidade do solo tão quanto do índice de erosividade da chuva. O fenômeno em si correlaciona-se, desta forma, com fatores não só antrópicos, como o desmatamento causado pela ocupação desordenada, mas também com fatores naturais, como o volume e intensidade da chuva que é fonte da energia cinética causadora da erosão, presença de cobertura vegetal que auxilia na retenção da água bem como na sua evaporação, relevo e morfologia da região onde regiões mais extensas e/ou mais íngremes permitem maior acúmulo de energia para gerar o processo, e por fim da caracterização do solo, de modo que sua textura aliada a seu coeficiente de permeabilidade é capaz de quantificar e qualificar a absorção de água para dentro do maciço, portanto solos com alto índice de vazios tendem a diminuir o potencial cinético da água arrastada e por consequência, amenizam o processo erosivo.

As principais formas de minorar os efeitos que resultam do processo de erosão são fundamentalmente duas: por um lado, deve-se minimizar-se o impacto das gotas da chuva na superfície do solo, por outro, deve diminuir-se as velocidades e os caudais do escoamento superficial de modo que as técnicas de controle de erosão se dão através de meios físicos, técnicas vegetativas e práticas de conservação do solo (BARBOSA, 2008).

4.2 Princípios da Estabilização de Taludes e Encostas Naturais

A análise de estabilidade de taludes e encostas naturais parte do pressuposto da existência de equilíbrio entre as forças atuantes no maciço rochoso ou de solo, sendo assim, as forças causadoras de instabilidades no corpo de terra devem ser iguais àquelas responsáveis por sua estabilidade, haja vista que se admite o solo como um corpo rígido, desconsiderando-se suas deformações. A partir do momento em que os esforços cisalhantes de instabilidade são maiores do que as forças estabilizadoras, o talude ou encosta é considerado instável. Quando este nível é atingido, o talude ganha características próprias que auxiliam o profissional na definição do

estado de instabilidade, tais como o embarrigamento de sua face, aparecimento de trincas e fissuras em sua crista, perda de verticalidade ou prumo de árvores e postes que estejam sobre a superfície do talude, bem como o arraste de água e partículas de solo para fora do maciço terroso.

Por forças causadoras de instabilidade, entendem-se todos os esforços aplicados ao maciço que geram tensões cisalhantes no mesmo. De tal forma que estes esforços podem ser tanto de origem natural quanto antrópica, como alteração da geometria do talude, aumento do peso específico do solo por saturação, sobrecargas sobre o terreno, perda de resistência ao cisalhamento do solo, erosão, e outros fatores externos como abalos sísmicos.

Quando se supõem a possível instabilidade de um talude, devem ser tomadas medidas de estabilização a fim de se evitar uma eventual catástrofe. O mesmo ocorre sempre que por razões ambientais, econômicas ou construtivas, é efetuada a escavação de um talude de ângulo superior ao existente. As medidas de estabilização devem ser adotadas de acordo com condições existentes, para tal a realização de estudos geotécnicos e geológicos, irá permitir a definição das características geotécnicas dos materiais existentes bem como a definição dos possíveis mecanismos de ruptura (SILVA, 2012).

Ainda, segundo SILVA (2012), a estabilidade de um talude pode ser alcançada de duas formas, diminuindo as forças instabilizadoras ou aumentando as forças estabilizadoras. As diferentes técnicas de estabilização deverão ser adotadas tendo em conta os custos, equipamentos disponíveis, a necessidade de realizar uma intervenção e à sua magnitude. Os principais problemas de instabilidade num talude são erosão, os escorregamentos, a queda de blocos e os fluxos.

Como forma de equilibrar os esforços supracitados, as principais técnicas utilizadas na estabilização de taludes são aquelas relacionadas à diminuição da inclinação do talude, métodos de drenagem superficial e profunda a fim de amenizar os efeitos da poropressão, revestimento do corpo do talude com concreto projetado, utilização de bermas, bem como algumas estruturas típicas de contenção, dispositivos de proteção contra quedas de blocos como mantas, e por último e objetivo deste trabalho, o uso da bioengenharia, seja por meio de revestimento superficial com vegetação ou até mesmo a utilização de geossintéticos.

Muitas vezes a situação de instabilidade de taludes e encostas é agravada em períodos de chuva, causando erosões, carreamento dos solos e sedimentos para os corpos d'água, destruição de residências e até mortes (COUTO, 2010).

4.3 A Aplicação da Bioengenharia na Estabilização de Taludes e Encostas e no Controle de Processos Erosivos

Durante séculos na história da engenharia, o uso de elementos vivos isolados ou acompanhados de materiais inertes com o intuito de aperfeiçoar os processos construtivos demonstrou eficácia aceitável perante técnicas mais sofisticadas e tradicionais. Tal uso, conhecido por bioengenharia, ganha cada vez mais o espaço comercial e científico, haja vista seu baixo custo de implantação, simplicidade de instalação e manutenção necessária, eficiência técnica nos ramos de aplicação, bem como sua boa adequação aos requisitos ambientais, de estética e paisagismo.

A bioengenharia pode ser considerada uma ciência multidisciplinar, pois a sua efetiva aplicação requer conhecimento e ações integradas de diversas áreas como a engenharia a pedologia, geotécnica, hidráulica e hidrogeologia além de aspectos do meio biótico estudados na biologia e ecologia (DIAS, 2014).

Segundo Couto (2010), as principais vantagens do uso da bioengenharia são:

- Menor requerimento de maquinário: as técnicas de bioengenharia de solos podem ser classificadas como trabalho-técnico intensivas, em oposição à engenharia convencional, predominantemente energético-capital intensivas. Por conseguinte, requerem maior utilização de mão-de-obra e têm custo final comparativamente menor, oferecendo ainda maior retorno social, já que além de utilizar maior quantidade de mão-de-obra braçal ela requer menor qualificação do que as práticas tradicionais de engenharia civil.
- Utilização de materiais naturais e locais: madeira, pedras, compostos orgânicos, dentre outros, reduzem os custos de transporte, além de gerarem diversos outros benefícios locais.
- Relação custo/benefício: as técnicas de bioengenharia de solos apresentam, na maioria das vezes, uma relação custo/ benefício melhor do que as técnicas tradicionais de engenharia.
- Compatibilidade ambiental: as técnicas de bioengenharia de solos geralmente requerem a utilização mínima de equipamentos e da movimentação de terra, o que ocasiona menor perturbação durante a execução das obras de proteção de taludes e

controle de erosão. Além disso, são atributos favoráveis em áreas sensíveis, como parques, reservas naturais, áreas ripárias e corredores naturais, onde a estética constitui fator de grande importância, fornecendo ainda habitat para a fauna nativa, restauração ecológica e conforto ambiental.

- Execução em locais de acesso precário ou inexistente: em locais de difícil acesso, ou inacessíveis para o maquinário, as técnicas de bioengenharia de solos podem constituir a única alternativa viável para a execução de obras de proteção de taludes e controle de erosão.

Couto et al (2010) cita ainda que as principais técnicas adotadas em obras correntes de bioengenharia resumem-se em:

- Geossintéticos, mais comumente as biomantas que atuam não só como forma de recobrimento do terreno, mas como um eficiente sistema de drenagem superficial e sub superficial, construção de estradas e demais práticas de controle de erosão.
- Retentores de Sedimentos, haja vista que os sedimentos devam ser ancorados, principalmente após a execução dos serviços de estabilização de talude. Para tanto conta-se hoje em dia com bermalongas, paliçadas de madeira, etc..
- Solo Envelopado Verde, uma técnica usada para recompor taludes, erosões e envelopar aterros. Este método é de construção rápida, podendo-se utilizar material do próprio local para construir o aterro compactado, podendo ainda ser utilizadas sementes e estacas vivas para deixar verde a superfície e atirantar o solo com as raízes.
- Solo Grampeado Verde, um processo utilizado para conter instabilidades geotécnicas, sub-superficiais e profundas, em substituição a placas de concreto, cortinas e outros sistemas, devido à sua flexibilidade e rapidez na construção.
- Madeiras e Estacas Vivas, de acordo Pereira (1997) citado em Couto et al (2010), muitas vezes a madeira ou gravetos utilizados com funções estruturais (inertes) podem enraizar, exercendo, a partir daí, funções biologicamente ativas, de acordo com a necessidade de aplicação. Este processo é denominado de estacas vivas.
- Concreto, os projetos que conjuguem concretos e espécies vegetais podem ser utilizados em estruturas de contenção modulares e monolíticas; em jardineiras de diferentes formatos e dimensões; em sistemas de retardamento de vazões pluviais

e em sistemas de confinamento celular. Estas estruturas são geralmente utilizadas na proteção de cursos d'água. Entretanto, problemas associados ao alto custo e aos requerimentos técnicos de execução, à alta alcalinidade do concreto e à sua característica de alta transmissividade térmica (que favorece altas taxas de evaporação do solo) impõem dificuldades de utilização deste material na bioengenharia (GRAY; SOTIR, 1996; GRAJEDA, 1997; DEFLOR, 1999).

- Ligas Metálicas, podendo ser classificada em quatro tipos, a saber: (i) telas metálicas; (ii) pinos e estacas; (iii) trilhos; (iv) chapas de metal.
- Hidrossemeadura, é a aplicação com bomba hidráulica, via aquosa, de sementes misturadas com adubos minerais, massa orgânica e adesivos de fixação.

Dias (2014), reafirma que nos projetos de bioengenharia é comum a utilização de biomantas, telas vegetais e fibras, telas biotêxtil e fibratêxtil, que em conjunto reforçam a estabilidade dos taludes. Além disso, é necessária a execução de um projeto que vise à drenagem interna e superficial por meio de construção de canaletas, caixas, drenos, e galerias. Pelo fato de serem utilizados, na maioria das vezes materiais locais, como madeira, pedras, composto orgânico, palha, cipó, dentre outros, para uso como grampeadores de solo ou até mesmo como biomantas e esteiras entrelaçadas os custos de transporte são reduzidos, além de gerarem benefícios locais.

As soluções de bioengenharia destinadas à estabilização superficial de taludes e processos erosivos requerem uma boa gestão integrada de conhecimentos e técnicas afim de que rupturas ou deslizamentos destes taludes possam ser cancelados já que caso isto ocorra será necessários intervenções convencionais da engenharia civil que é caracterizada pelos custos elevados (DIAS, 2014).

4.4 Efeito do Uso de Vegetação no Controle de Processos Erosivos

As espécies vegetais contribuem, na estabilidade do maciço terroso, com o sistema radicular e o caule, sendo utilizadas em diferentes arranjos geométricos como elementos estruturais e mecânicos para contenção e proteção do solo, melhorando as condições de drenagem e retenção das movimentações de terra (BARBOSA, 2012). Neste sentido, as espécies

selecionadas devem apresentar o sistema radicular profundo e desenvolvido, para maximizar o volume de solo estabilizado pelas raízes das plantas (COUTO, 2010).

Gray e Sotir (1996) apontam que os principais efeitos benéficos da vegetação no controle dos processos erosivos são ligados a intercepção da energia das chuvas através das folhas impedindo o deslizamento do maciço, contenção e ligação das partículas do solo através das raízes, os troncos bem como as folhas aumentam o atrito superficial e diminuem a velocidade de escoamento, e por último o fato de que as plantas e seus componentes ajudam a manter a porosidade e permeabilidade do solo retendo assim parte do escoamento.

De acordo Gray (1995), a vegetação melhora a resistência de taludes nos processos erosivos. De modo oposto, a retirada da vegetação do talude tende a acelerar ou aumentar suas falhas. Vegetações rasteiras ou gramíneas são mais eficientes por aumentar a resistência à erosão superficial, enquanto vegetações arborizadas são mais efetivas na prevenção de deslizamentos rasos de massa. A vegetação afeta a estabilidade de massas rasas principalmente aumentando a resistência ao cisalhamento do solo através do reforço das raízes. A presença da vegetação também modifica o regime hidrológico interceptando as chuvas nas folhas, e extraindo e transpirando a umidade do solo através das raízes.

A cobertura vegetal da superfície do terreno varia de acordo com a espécie, densidade de plantio ou da vegetação, altura da vegetação, área foliar e tipologia florestal, e estas podem afetar diretamente a erodibilidade de um solo (COUTO, 2010).

A importância da vegetação frequentemente é verificada quando se procede a supressão dela. Após a retirada da cobertura vegetal na maioria das vezes ocorre intenso aumento de processos erosivos e de instabilizações de taludes. A retomada do crescimento vegetal, por sua vez, promove a diminuição destes processos (COUTO, 2010).

Styczen e Morgan (1995) apontam a necessidade de entender o processo da erosão, considerar como cada desses processos pode ser afetado pela vegetação, determinar as propriedades principais da vegetação que mais afetam esses processos, e tentar quantificar o efeito combinado da vegetação em diferentes situações, com os processos agindo juntos em diferentes situações.

Apesar de a cobertura vegetal ser um grande fator de proteção do solo, isto não significa que grande porcentual de cobertura vegetal tenha total eficiência na proteção do solo, pois pode ocorrer que, embora o recobrimento vegetal seja de 100%, o solo esteja desprotegido (COUTO,

2010). De modo que torna-se necessária uma correta avaliação dos fatores edáficos, ou seja, das peculiaridades de cada solo perante a cobertura vegetal, bem como sua compatibilidade com a espécie vegetal adotada, as características do clima da região em questão, além de questões relacionadas à manutenção do sistema verde de proteção.

As técnicas de bioengenharia de solos são resistentes, devido à habilidade da vegetação de crescimento e regeneração. Estas são, portanto, na maioria dos casos, as soluções de menor custo e de maior adequabilidade ambiental, que atende à crescente demandam e ao interesse geral em benefício do meio ambiente (DIAS, 2014).

4.5 Efeito das Raízes sobre o Comportamento Mecânico de Solos

A vegetação afeta a estabilidade dos solos por intermédio das raízes, devido ao aumento da resistência de corte e da coesão das partículas. O aumento da resistência de corte depende da tensão exercida pelas e sobre as raízes, bem como das propriedades da interface das próprias raízes com o solo, e da concentração destas no mesmo (SILVA, 2012).

Segundo Fiori e Carmignani (2009) citados em Barbosa et al (2012), para avaliar a contribuição da resistência ao cisalhamento do solo pelas raízes é necessário considerar a interação solo-raiz. Em um sistema deste tipo, as raízes podem ser tratadas como se fossem elementos flexíveis e elásticos, que enterrados no solo, levam a um aumento da resistência.

Cada espécie vegetal possui um determinado tipo de raiz, que de acordo com suas características, confere ao solo maior ou menor resistência ao cisalhamento, destacando dois tipos básicos de raízes: fasciculadas e pivotantes (BARBOSA, 2012).

As raízes das plantas exercem função de estabilização das partículas do solo, por meio de diversos mecanismos, como o aumento da resistência ao cisalhamento, promovido especialmente pelas radículas, que mantêm maior relação superfície / volume radicular; e com a estabilização de movimentos de massa pelo efeito das raízes, especialmente as pivotantes, que atuam de maneira semelhante à dos “tirantes vivos”, promovendo o ancoramento de grandes massas de solo. Esse efeito de “tirantes vivos” é especialmente verificado em perfis do solo com diferenças significativas entre resistência ao cisalhamento ao longo da profundidade do perfil como em solos residuais (COELHO & PEREIRA, 2006).

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

Esse efeito é denominado reforçamento radicular e pode variar em decorrência de fatores como: (i) valores de resistência à tensão das raízes; (ii) propriedades da interface entre as raízes e o solo; (iii) concentração, características de ramificação e distribuição das raízes no solo – também denominada arquitetura radicular; (iv) espaçamento, diâmetro e massa de solo explorada pelas raízes; (v) espessura e declividade do perfil do solo do talude; (vi) parâmetros geotécnicos relativos à resistência ao cisalhamento do solo. Esses fatores que regulam o reforçamento radicular, por sua vez, podem ser influenciados pela espécie da planta, pelas variações ambientais nas condições de crescimento e pela época do ano (COELHO & PEREIRA, 2006).

Contudo, Greenway (1987) citado em Coelho e Pereira et al (2006), afirma que esse aumento à resistência será diretamente proporcional à profundidade explorada pelas raízes. A ação mais eficiente nesse aumento da resistência é verificada quando as raízes penetram ao longo do manto de solo até fraturas ou fissuras presentes na camada de rocha matriz; ou onde raízes penetrem ao longo de solos residuais; ou em zonas de transição em que a densidade e a resistência do solo ao cisalhamento aumentem com a profundidade, atingindo esses pontos. Nesse caso, as raízes se fixam, promovendo a transferência de forças de zonas de menor resistência ao cisalhamento para zonas de maior resistência a ele.

Segundo Coelho (2005) citado em Galas et al (2006), outro efeito causado pelo sistema radicular da vegetação é o aumento da coesão entre as partículas. Em solos arenosos, onde essa coesão é baixa, a vegetação pode aumentar significativamente a resistência à deslizamentos superficiais ou às movimentações por cisalhamento. Uma pequena variação na coesão radicular pode influenciar substancialmente o coeficiente de segurança dos taludes, como pode ser visto no gráfico a seguir.

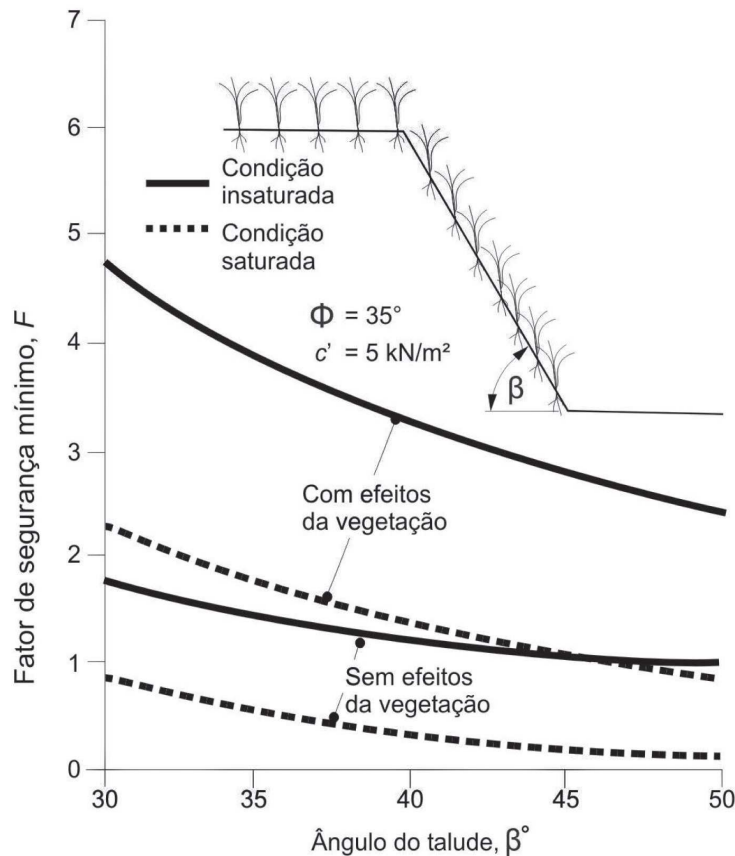


Figura 1 - Efeito da vegetação no fator de segurança de taludes
FONTE: PEREIRA (2006)

Neste estudo, uma visita técnica ao Complexo Viário do Imbuí – Salvador – BA, foi realizada para avaliação da obra de contenção ainda em andamento localizada próximo ao Setor Militar Urbano de Salvador – BA, com o intuito de analisar a motivação para a escolha de espécies vegetais no controle de processos erosivos bem como a viabilidade da utilização da técnica até o momento, na estabilidade do maciço terroso.

O Complexo Viário do Imbuí compreende um conjunto de viadutos e vias marginais na Avenida Luís Viana Filho na cidade de Salvador - BA, realizada pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – CONDER. De acordo informações do próprio órgão, o investimento total do complexo, estimado em R\$ 71 milhões, será aplicado para a construção de três viadutos, ampliação de vias marginais que afetam o trânsito local, bem como serviços de contenções de encostas naturais as margens da Avenida Luís Viana Filho.

Ao longo de toda a avenida, em áreas consideradas críticas tanto para efeitos de instabilidade de taludes devido à geometria bem por modo de agravação dos efeitos erosivos avistados, foram realizados processos de estabilização utilizando métodos mistos que integravam técnicas tradicionais aliadas à bioengenharia.

Na parte supracitada da obra, o talude em questão tinha dimensões da ordem de 15 metros de altura e extensão de 200 metros. Para auxiliar no sistema de quebra de energia cinética provinda de águas pluviais, o maciço foi dividido em três partes com inclinações diferentes dotadas de bermas. As duas primeiras partes inferiores possuíam ângulo de 65° em relação a horizontal, e a parte superior um ângulo de 90° , como pode ser visto na figura 2.



Figura 2 - Esquema de divisão do talude
Fonte: Grupo de Pesquisa LAGEO – 2014

Devido à inclinação das partes do talude, o método adotado nas partes inferiores foi o uso de biomantas com recobrimento por vegetação, figura 3. A escolha analisou o custo-benefício dos dados geométricos do talude, haja vista que para uma inclinação de 65° aliada às dimensões do maciço a técnica atende perfeitamente no combate aos processos erosivos, pois as raízes fasciculadas da vegetação contribuem favoravelmente à coesão superficial do solo.



Figura 3 - Uso de Biomanta em Inclinações com 65°
Fonte: Grupo de Pesquisa - LAGEO 2014

A vegetação foi implantada em toda a extensão do talude através de hidrossemeadura. Durante todos os dias de execução, as partes já implantadas eram regadas com jatos quatro vezes ao dia afim de que a vegetação fixasse e se adaptasse sem maiores problemas ao terreno.

Na parte superior, a qual a inclinação do maciço em relação a horizontal era de 90°, houve a necessidade de um sistema extra de reforço devido ao fato citado anteriormente, como visto na figura 4. A área em volta apesar de não sofrer ações de carregamentos significativos que não o peso próprio do solo, apresenta necessidade de uma estrutura de contenção. Deste modo, os engenheiros responsáveis pelo projeto optaram pelo uso de solo-grampeado em concreto.



Figura 4 - Uso de solo-grampeado para a fatia com 90°
Fonte: Grupo de Pesquisa - LAGEO 2014

Como em toda obra que envolva a estabilização de taludes e encostas naturais, a necessidade de um sistema eficaz de drenagem é peça-chave no processo de combate aos processos erosivos no que tange a erosão hídrica. Na obra relatada, o sistema contou com escadas hidráulicas que cobriam toda sua extensão vertical, uso de bermas como citado anteriormente, além de canaletas ao longo de todo o comprimento do talude nas duas partes inferiores, figura 5.



Figura 5 - Sistema de drenagem composto por escadas hidráulicas, bermas e canaletas
Fonte: Grupo de Pesquisa - LAGEO 2014

A obra atualmente encontra-se em fase de acabamento, faltando apenas detalhes de fixação da vegetação ao terreno. Outra parte não mencionada na mesma região e mesma obra do Complexo Viário do Imbuí contou com o mesmo sistema de estabilização de talude, drenagem e proteção natural contra os processos erosivos, e os resultados foram positivos até o momento, de forma que o maciço encontra-se protegido e seguro para ser entregue à CONDER-BA.

5 DISCURSÃO

Ao analisar os pontos discutidos neste trabalho aliando com as informações coletadas em campo na obra do Complexo Viário do Imbuí e, é possível o estabelecimento de premissas que em sua maioria apontam para efeitos benéficos do uso da bioengenharia. Todavia, o uso

indiscriminado das técnicas pode apontar para uma diminuição da eficácia dos métodos e em alguns casos até por em risco o produto final, acarretando em retrabalhos e prejuízos financeiros, transtornos sociais e ambientais.

Os efeitos do uso da vegetação para a estabilidade de maciços terrosos foram claramente vistos na análise do caso. As raízes tem sua eficiência em função de suas dimensões bem como da relação do sistema solo-raiz. De modo geral atuam de forma direta na coesão das partículas e por consequência na resistência ao cisalhamento do solo. Quanto mais extensas e possuírem arquitetura radicular favorável à fixação das mesmas no solo, mais eficiente será o sistema, porém a adaptação da vegetação ao tipo de solo que será inserida deve ser observada para que a transferência de tensões seja completa. Na obra visitada, as raízes possuíam dimensões, espessura e comprimento, um tanto quanto pequenas, permitindo deste modo um efeito mais intenso sobre a coesão superficial do solo, de forma que as camadas mais profundas do maciço estariam sujeitas à condição de ruptura, caso a ação da erosão hídrica seja suficiente para desencadear um processo de movimentação de massa.

Outro aspecto que merece destaque é o que desrespeito ao alto índice pluviométrico da cidade de Salvador – BA. Por um lado este índice elevado é responsável pelo desencadeamento de grandes processos erosivos em taludes na cidade, por outro é ele quem auxilia na fixação das espécies vegetais ao solo, de modo a criar condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento da vegetação. Desta maneira, um correto aproveitamento das águas pluviais pode servir para que as espécies se desenvolvam de maneira saudável junto ao solo e combatam o efeito negativo citado anteriormente no que tange a degradação pelos processos erosivos.

Os limites do uso da bioengenharia, no caso do Complexo Viário do Imbuí com biomantas e cobertura vegetal, deve ser considerado ainda em fase de projeto. Como visto no levantamento bibliográfico, o uso de materiais naturais em obras corriqueiras de contenção é eficiente desde que se utilizem materiais “verdes” sem prejuízo ao desempenho técnico. Fato este observado na escolha dos métodos da obra, pois no caso da parte superior onde a inclinação ganhou alta magnitude, o fator de segurança de projeto foi elevado, e o uso isolado da biomanta com cobertura vegetal foi descartado, em seu lugar recorreu-se a técnicas que contenham efetivamente a massa de solo, como o uso do solo-grampeado. A partir daí, pode-se inferir que a escolha da técnica varia de acordo a geometria do talude a ser reforçado, as características intrínsecas do solo, bem como do custo-benefício do projeto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas da bioengenharia mostraram por fim uma boa solução para a minoração dos efeitos dos processos erosivos. O custo-benefício positivo, em relação a outros métodos comumente utilizados em obras de estabilidade de encostas e taludes, aliado a um ganho em questões ambientais, com a diminuição do uso de materiais como concreto e aço, que por vezes degradam o meio ambiente mesmo que em seus processos de fabricação, foram fatores que levaram a esta conclusão.

No entanto, a análise dos efeitos da vegetação no comportamento mecânico dos solos, através de ensaios de resistência ao cisalhamento, bem como aqueles para determinar a coesão e índice de vazios dos solos faz-se necessário no sentido de se predizer com segurança a efetividade da utilização da técnica.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, N. M. C. **Monitoramento dos taludes da rodovia BR-101 NORTE/PE: Aplicação da bioengenharia de solos.** In: 14º Encontro de Geógrafos da América Latina. Lima – Peru, 2013.

BARBOSA, A. C. **Bioengenharia utilizando bambus em faixas para o controle de processos erosivos: Uma análise qualitativa.** In: Polibotânica, nº 33, pp. 223-243, ISSN 1405-2768. México, 2012.

BARBOSA, C. A. F. **Soluções para estabilização de taludes sujeitos a erosão superficial.** Aveiro, Universidade de Aveiro, 2008. Dissertação de mestrado.

BARBOSA, M. C. R. **Estudo da aplicação do vetiver na melhoria dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos em taludes.** Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, 2012. Tese de doutorado.

BARBOSA, M. C. R.; LIMA, H. M. DE; PEREIRA, A. R. **Um estudo do aumento da resistência ao cisalhamento em solos revegetados com vetiver.** Vila Velha, Espírito Santo, Brasil, 2011.

COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas. **Boletim Técnico: Deflor Bioengenharia**, Ano 01, v.1, nº 002, 2006.

COUTINHO, R. Q. Gestão e mapeamento de riscos socioambientais. **Curso de Capacitação**: Ministério das Cidades, 2003.

COUTO L. Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil. **Boletim Técnico**: CBCN, nº 001, ISSN: 2177-305X. Viçosa – MG, 2010.

DIAS, D. M.; SANTOS, E. C.; GOMES, D. P. P. **Bioengenharia dos solos para estabilização de taludes aplicada nas indústrias nucleares do Brasil – INB**. Itapetinga, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2011.

FILHO, R. A.; HOLANDA, F. S.; ANDRADE, S. **Análise do comportamento do solo em relação aos índices mecânicos obtidos com e sem a presença de raízes**. In: IV Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe. Aracaju - SE, 2011.

GALAS, N. D. **Uso de vegetação para contenção e combate à erosão em taludes**. São Paulo, Universidade Anhembi Morumbi, 2006. Trabalho de conclusão de curso de graduação.

GRAY, D. Influence of vegetation on the stability of slopes. In INTERNACIONAL CONFERENCE ON THE INTERACTION OF VEGETATION WITH NATURAL AND FORMED SLOPES, 1994, Oxford. **Proceedings**. London: Thomas Telford, 1995. p. 2-25.

GRAY, D. H. & SOTIR R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control**. 1.ed. Canada, John Wiley & Sons, 1996. 378p.

LEMES, M. R. T. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. Dissertação de mestrado.

LICKS, P. C. **Efeito da cobertura vegetal no processo erosivo e na regeneração natural da vegetação em área de empréstimo de solo**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 2007. Dissertação de mestrado.

MORETTO, R. L. **Análise dos efeitos da vegetação na proteção de taludes rodoviários e proposição de alternativas de revegetação na BR-386**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. Dissertação de mestrado.

PINTO, G. M. **Bioengenharia de solos na estabilidade de taludes: Comparação com uma solução tradicional**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. Trabalho de conclusão de curso de graduação.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 2ª edição. Editora FAPI. Belo Horizonte – MG, 2008.

SILVA, D. J. B. V. **Avaliação de métodos de baixo custo para a proteção de taludes em estradas rurais não-pavimentadas.** Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2009. Dissertação de mestrado.

SILVA, R. A. F. **Aplicação da engenharia natural na estabilização de taludes.** Funchal – Portugal, Universidade da Madeira, 2012. Dissertação de mestrado.

STYCZEN, M. E.; MORGAN, R. P. C. Engineering Properties of Vegetation. In: MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. (Ed). **Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach.** London: E & FN Spon, 1995. p 4-5.