

## **BIOENGENHARIA APLICADA À ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS NO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS-RJ**

**Vinícius C. F. da Rosa e Robson L. Gaiofatto\***

*Centro de Engenharia e Computação, Universidade Católica de Petrópolis, Petrópolis, 25.685-070,  
RJ, Brasil*

**Palavras-chave:** Região serrana, estabilização de encostas, bioengenharia.

**Resumo.** Este trabalho tem por objetivo discutir os métodos mais utilizados para contenção de encostas e analisar os procedimentos recomendados pela bioengenharia para sua estabilização. É feito estudo de caso, analisando uma encosta na cidade de Petrópolis-RJ, onde ocorreu deslizamento de terra, e que teve como solução contratada para sua contenção uma cortina atirantada. Utilizando os conhecimentos da mecânica dos solos associada à bioengenharia, é proposta a estabilização dessa encosta através do seu retaludamento, drenagem superficial e cobertura vegetal. A estimativa de custo dessa estabilização, menor que o valor contratado para contenção, demonstra nesse caso, a importância da análise, avaliação e aplicação de sistemas alternativos na estabilização preventiva e corretiva das encostas das regiões serranas brasileiras.

---

\*Endereço de e-mail: [robson.gaiofatto@ucp.br](mailto:robson.gaiofatto@ucp.br).

## **BIOENGINEERY APPLIED TO SLOPES STABILIZATION IN PETRÓPOLIS-RJ**

**Keywords:** Mountain ranges, slope stabilization, bioengineering.

**Abstract.** This paper aims to review the most used methods for slope's retention and analyze the recommended procedures by bioengineering to its stabilization. A study case was made, analyzing a slope in the City of Petrópolis, where there was a mudslide which solution was contention by cable-stayed curtain. Using the knowledge of soil mechanics associated with bioengineering, it is proposed to stabilize the slope through changing the angle between the slope and the horizontal, surface drainage and vegetal cover. The estimated cost of this stabilization, lower than the contracted amount for containment, demonstrates in this case the importance of analysis, evaluation and implementation of alternative systems in the preventive and corrective stabilization of slopes of the Brazilian mountain ranges.

## 1 INTRODUÇÃO

A ocorrência periódica de chuvas intensas e as consequentes inundações e escorregamentos de taludes fazem parte da história da Região Serrana Fluminense, de forma especial a cidade de Petrópolis. A ação antrópica muito vem colaborando com essa situação através de desmatamentos, ocupações irregulares nos leitos dos rios e nas encostas, falta de planejamento e fiscalização das áreas urbanas, mudança climática, efeito estufa e tantas outras ações e omissões que só fazem crescer as estatísticas de catástrofes nesses municípios, conforme apresenta a Figura 1.



Figura 1: Deslizamento de encosta atingiu várias casas no bairro Alto Independência em Petrópolis [6]

Nos casos de deslizamentos das encostas, as soluções apresentadas e, na maioria das vezes, utilizadas para a contenção e estabilização dos taludes são as construções de muros de concreto e cortinas atirantadas, em muitos casos exigidas pelos órgãos de financiamento. Como nas ocasiões citadas, o número de deslizamentos é grande e os problemas não se resumem somente a eles, as verbas dos municípios e as destinadas em caráter emergenciais são insuficientes para solucionar a situação, utilizando as técnicas convencionais. Da mesma forma, estas soluções são “pesadas”, agredindo de forma intensa os locais onde são implantadas, seja pelas escavações ou mesmo pela aplicação de volumes consideráveis de concreto que alteram o aspecto visual, reduzindo vegetação e mesmo a forma natural dos taludes.

Este quadro preocupa muito os profissionais que trabalham ou pesquisam nessa área, fazendo com que busquem soluções com menores impactos ambientais, recuperando os taludes de forma a mantê-los o mais próximo de sua condição natural, sem perder as condições de estabilidade e com custos muito menores. Essa solução permite aumentar a razão custo x benefício, fazendo com que mais estabilizações sejam feitas com menor custo ou com a mesma quantidade de recursos. Essa visão vem incentivando esses profissionais a buscarem especializações, especialmente na área ambiental (Figura 2).



Figura 2: Exemplo de um projeto de Hidro-semeadura que concilia aspecto estético utilizando gramíneas rasteiras [19]

Bioengenharia ou Engenharia Natural é uma área da Engenharia Civil que propõe objetivos técnicos, ecológicos, criativos, construtivos e econômicos através da utilização de materiais construtivos vivos, ou seja, sementes, plantas, partes de plantas e associações vegetais. Estes objetivos são atingidos através de métodos de construção próximos do natural, utilizando as diferentes vantagens que a utilização de plantas vivas garante [15].

Neste trabalho, apresenta-se um estudo de caso comparando a estabilização com retaludamento e a contenção da encosta localizada no Morro Florido, bairro Estrada da Saudade, em Petrópolis/RJ. A solução contratada pela Prefeitura Municipal de Petrópolis foi a contenção do talude através de cortinas atirantadas, enquanto a proposta deste estudo foi a de estabilização utilizando os conceitos da bioengenharia, como retaludamento, drenagem superficial e cobertura vegetal, apresentando os respectivos custos de execução.

## 2 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO

Petrópolis é um dos municípios brasileiros que registra um grande número de vítimas em decorrência de deslizamento de encostas e desastres ocasionados por fortes chuvas e enchentes. Localizado na Serra do Mar, com topografia e condições geológicas adversas à ocupação humana, em sua maior parte, encontra-se em situação de grande vulnerabilidade. Conforme dados da Prefeitura Municipal de Petrópolis, cerca de 12 mil famílias vivem em área de risco no primeiro distrito. Se o estudo for ampliado para os demais distritos, estima-se que o número atinja 22 mil residências, totalizando cerca de 80 mil pessoas em situação de risco [18]. A necessidade de se antecipar à ocorrência de tragédias, associadas a movimentos de massa em encostas, depende de políticas de prevenção de desastres naturais, que nos últimos anos tem ganhado maior atenção do poder público, justificando a prioridade no levantamento e mapeamento das Áreas de Risco.

A partir dos Mapas de Riscos e Perigos elaborados pela Defesa Civil do Município, criaram uma envoltória nas áreas em que se apresentaram com maiores índices de risco alto e muito-alto, totalizando 96 (noventa e seis) setores de risco em 15 (quinze) regiões. A metodologia adotada para esta etapa do projeto consistiu em vistorias técnicas em cada um destes setores

visando a definição e delimitação das áreas de assentamentos precários sujeitas à intervenção para mitigação do risco a escorregamentos e inundações [12].

Além de políticas públicas, as Associações Cívicas, em especial as que envolvem os profissionais das áreas de engenharia e geotecnia, devem ter maior comprometimento com o tema, procurando aumentar seus conhecimentos nas formas de prevenção e nas técnicas de estabilização das encostas.

Na verdade, essas técnicas não são novas. Embora existam novidades, estabilizações em taludes escalonados são executadas em Petrópolis há pelo menos 30 anos. A Bioengenharia, portanto, tem muito a colaborar com esses profissionais, trazendo informações que em muitos casos, irão proporcionar a estabilização e revegetação das encostas de forma segura e com baixos custos.

Entretanto, quando se trata de obras públicas, existem casos onde o desconhecimento dos órgãos públicos resulta em soluções convencionais, mais caras e muitas vezes inapropriadas. Direcionam recursos e solicitam aos projetistas a execução de contenções, onde não levam em consideração os sistemas de drenagem.

Segundo o Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) de 2007 [12], a hierarquização das intervenções tem o objetivo de priorizar os recursos para atender as demandas, de acordo com os critérios definidos, considerando-se principalmente as características da área. A definição de critérios em bases técnicas subsidia a decisão do gestor público, reduzindo favorecimentos ou aplicação de recursos em áreas menos favoráveis. Os critérios para hierarquização são:

- grau de risco;
- população beneficiada;
- custo da intervenção;
- dimensão da área a ser tratada;
- demandas anteriores da população;
- tempo de moradias;
- viabilidade técnica da intervenção;
- viabilidade financeira;
- inclusão da área em outros projetos; e
- grau de expansão em área de interesse ambiental.

Para hierarquização das áreas de intervenção, tomou-se como critério de priorização a quantidade de moradias existentes na área de risco. Considerando-se que as categorias são classificadas em função das características físicas para cada localidade, ou seja, possuindo diferentes tipologias quanto à caracterização do risco, a hierarquização foi distribuída de acordo com a quantidade de moradias em relação a cada categoria. Foi estabelecido um fator de risco para cada categoria, de acordo com as características físicas associadas a maior intensidade de ocorrência de um acidente (escorregamento). É a partir do Gerenciamento de Risco que as ações são detalhadas. O mapeamento de risco em detalhe é a base para o desenvolvimento do PMRR. É a partir do conhecimento da existência do risco, dos fatores condicionantes, da sua intensidade, frequência e, da sua distribuição espacial, que se pode definir uma estratégia para a sua redução; tanto para medidas estruturais (obras, urbanização), como de medidas não estruturais (planos de Defesa Civil, educação).

O Gerenciamento de Risco compreende a etapa posterior à identificação e análise de risco. A metodologia proposta possibilitou a descrição do diagnóstico do risco e delimitação das áreas sujeitas a intervenções para mitigação do risco a escorregamento nestas áreas.

De acordo com o Ministério das Cidades o risco pode ser definido pela seguinte equação [12]:

$$R = p(f_A) \cdot c(f_V) \cdot (g - 1) \quad (1)$$

onde  $R$  é o risco,  $p(f_A)$  é a probabilidade de ocorrência de um fenômeno físico,  $c(f_V)$  são as consequências causadas pelo acontecimento do fenômeno e  $g$  é o nível de gerenciamento de risco.

A análise desta equação sugere que o risco diminui à medida que aumenta o gerenciamento de riscos. Portanto, a gestão destas áreas delimitadas é de extrema importância para a mitigação dos riscos. Evitar acidentes, atender emergências, reduzir e até mesmo erradicar os riscos ambientais são um dos objetivos principais do gerenciamento. Existem medidas chamadas de estruturais, que são aquelas onde se aplicam as obras de engenharia como medida preventiva ou até para conter deslizamentos de grande magnitude. As medidas não estruturais são aquelas em que se aplica um rol de medidas relacionadas às políticas urbanas, planejamento urbano, legislação, planos de defesa civil e educação. Para viabilização das ações não estruturais e detalhamento das ações estruturais, é necessária a criação de um Programa de Gerenciamento destas áreas, no qual devem estar mobilizados todos os setores envolvidos (defesa civil, planejamento urbano, educação, habitação, entre outros) [12].

### 3 EXECUÇÃO DE TALUDES

#### 3.1 Características dos Solos

A estabilidade dos taludes depende diretamente das propriedades dos solos que, por sua vez, vão definir suas condições de drenagem e de estabilidade geotécnica. Por isso, é fundamental o conhecimento sobre as características dos diferentes tipos de solos onde se pretende efetuar um projeto. Segundo [14], não existe uma definição de solo que seja universalmente aceita, devido especialmente, à ampla utilização deste recurso por profissionais das mais variadas áreas, bem como, pela sua imensa variedade na composição natural.

Os solos podem ser classificados em minerais ou orgânicos, mas quando se trata de estabilização e contenção de taludes é relevante apenas os estudos dos solos minerais. Segundo [8], os solos minerais são recursos naturais não renováveis em uma escala de tempo humana, pois são resultantes da alteração das rochas, no caso os materiais de origem, ao longo do tempo, pela ação do clima e de organismos, sob o controle do relevo.

Na variação vertical dos solos, tem-se o denominado perfil do solo, onde muitas vezes é possível notar um conjunto de faixas mais ou menos paralelas à superfície, que por sua vez são denominadas de horizontes ou camadas, dependendo do caso [13], respectivamente, com altas e baixas influências visíveis dos processos pedogenéticos (pedo = terra, no grego; pedogênese = maneira pela qual o solo se origina).

#### 3.2 Retaludamento de Encostas

Segundo [4], 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, casos das encostas, ou artificiais, como os taludes de cortes e aterros. A Figura 3 ilustra um talude e a terminologia usualmente empregada.

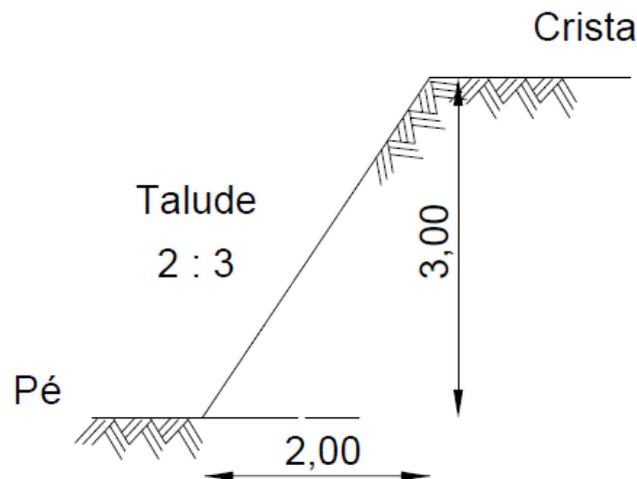


Figura 3: Talude

Os retaludamentos são intervenções para estabilização de um talude específico ou de todo o perfil de uma encosta, através de mudanças em sua geometria, recompondo artificialmente as condições topográficas de maior estabilidade para os materiais que o constitui [7].

De uma forma simples, é um processo de terraplenagem através do qual se alteram, por cortes ou aterros, os taludes originalmente existentes em um determinado local para se conseguir a estabilização do mesmo.

Os cortes são realizados em forma de degraus, conforme é apresentado na Figura 4, procurando diminuir a inclinação e altura do talude, sendo associado a este, obras de drenagem superficial e de proteção superficial, de modo a reduzir a infiltração d'água no terreno e disciplinar e escoamento superficial, inibindo os processos erosivos.



Figura 4: Retaludamento [11]

Para evitar escorregamentos, a inclinação do talude não pode exceder aquela imposta pela resistência ao cisalhamento do maciço e nas condições de presença de água. Os cortes podem ser contínuos, se a altura for inferior a cinco metros ou escalonados, se a altura for superior.

A prática tem indicado, para taludes de corte de até oito metros de altura, constituídos por solos, a inclinação de 1H:1V como a mais generalizável. Os padrões (inclinações estabelecidas empiricamente, como referência inicial) usuais indicam as inclinações associadas aos gabaritos

estabelecidos nos triângulos retângulos.

Nos casos de cortes, onde geralmente as condições são melhores para a estabilidade dos taludes, os ângulos e inclinações são maiores; nos casos de aterros, os ângulos e inclinações dos taludes são menores devido a piores condições para se obter a sua estabilidade [7].

Por isso, obras de retaludamento, sejam elas aterro ou corte de terreno natural, demandam um projeto geotécnico orientado por diretivas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em especial a NBR 11682:2009 – Estabilidade de Encostas [1]. Demandam também boas práticas de engenharia geotécnica e uma fiscalização rigorosa durante a execução, além de manutenção focada em serviços de conservação do sistema de drenagem e da cobertura vegetal.

### 3.3 Drenagem Dos Taludes

Drenagem é o ato de escoar as águas superficiais e profundas de terrenos planos e inclinados, por meio de tubos, canais, valas e canaletas. Drenagem e estabilização de taludes são dois temas interligados ao estudo do comportamento e características dos solos. São assuntos de extrema importância, pois a partir deles depende a existência ou não de instabilidade e fenômenos de ruptura dos solos.

A execução de obras de drenagem, tanto as de captação e direcionamento das águas do escoamento superficial, quanto aquelas de retirada d'água e alívio de pressões neutras do fluxo intersticial, representam um dos procedimentos mais eficientes e de mais larga utilização na estabilização de todos os tipos de taludes [20].

No Brasil, o principal agente instabilizante de encostas naturais isentas da ação antrópica é a água e, dessa maneira, a maioria das movimentações de encostas acontece no período chuvoso ou são causadas por infiltrações devido a vazamentos de redes de abastecimento de água, redes de esgoto e drenagem. A percolação da água em encostas pode reduzir a resistência do maciço por quatro fatores:

- i. pelo desenvolvimento de pressões neutras (poro-pressões) ao longo de superfícies potenciais de ruptura;
- ii. pela redução da coesão aparente, devida à sucção, através da saturação dos solos não-saturados;
- iii. pelo aumento do peso do material (saturação do maciço); e
- iv. pela ação erosiva interna (*piping*) e externa.

A penetração da água no solo ocorre através da infiltração. O solo pode ser compartimentado em duas zonas, em função de como a água está armazenada no solo. Imediatamente abaixo da superfície do terreno, está o primeiro compartimento, correspondente à zona de aeração ou zona vadosa, assim denominado pelo fato de que uma parte dos espaços intergranulares está preenchida com água e a outra parte com ar (solo não saturado). O segundo compartimento ocorre abaixo do limite inferior da zona de aeração, onde todos os espaços intergranulares estão ocupados por água, correspondente à zona de saturação. A água que penetra no solo irá constituir, abaixo do limite superior da zona de saturação, a água subterrânea. O limite de separação entre essas duas zonas de umidade é conhecido como nível d'água subterrânea ou nível freático [3].

A zona de aeração corresponde à faixa de transição da parcela da água que penetra no solo através da infiltração e se direciona para as porções mais inferiores do maciço. O movimento da água nesta zona se dá essencialmente devido à força da gravidade, porém também está sujeita a forças moleculares e tensões superficiais [3].

Na zona de saturação o movimento da água, conhecido por percolação, pode ocorrer em qualquer direção. A água originada pela infiltração da chuva no solo, que corresponde à maior parcela da água subterrânea, é a mais importante em termos de instabilidade de encostas [3].

As chuvas relacionam-se diretamente com a dinâmica das águas de superfície e subsuperfície e, portanto, influenciam a deflagração dos processos de instabilização de taludes e encostas. Os escorregamentos em rocha tendem a ser mais suscetíveis a chuvas concentradas, enquanto os processos em solo dependem também dos índices pluviométricos acumulados nos dias anteriores.

A força que a água exerce durante o escoamento pode causar instabilidade, alterando as características de resistência e deformabilidade dos maciços, podendo resultar em rupturas e recalques [2].

Portanto, em todas as obras de contenção e estabilização, a drenagem - cujos sistemas podem ser do tipo superficial, subsuperficial, profunda ou de estruturas de contenção - deve estar presente, pois garante uma redução dos esforços (empuxo hidrostático e pressão neutra) a serem suportados pela estrutura ou taludes. Um exemplo de drenagem por canaletas é apresentado na Figura 5.



Figura 5: Canaletas revestidas com biomanta [5]

#### 4 BIOENGENHARIA NA PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE TALUDES

A bioengenharia busca a associação de sistemas construtivos tradicionais, como concreto, aço, madeira e fibras sintéticas, com elementos biológicos, como a vegetação de forma geral e fibras vegetais de forma particular, na proteção e recuperação de taludes e no controle da erosão. As espécies vegetais contribuem com o sistema radicular e o caule, sendo utilizados 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, impedindo as erosões [16].

Essa técnica tem sido utilizada desde o Império Romano, no controle de erosão, caindo em desuso na época da Revolução Industrial, retornando no século XX, quando europeus e norte-americanos retomaram o seu desenvolvimento.

Dentre as vantagens do uso de tecnologias baseadas na bioengenharia, destacam-se:

- menor requerimento de maquinário, maior utilização de mão-de-obra com custo final comparativamente menor, oferecendo ainda maior retorno social. Requer menor qualificação do que as práticas tradicionais de engenharia civil;

- utilização de materiais naturais e locais: madeira, pedras e compostos orgânicos, que reduzem os custos de transporte;
- relação custo/benefício: as técnicas de bioengenharia, nas situações onde podem ser implantadas, apresentam uma relação custo/benefício melhor do que as técnicas tradicionais de engenharia;
- compatibilidade ambiental: as técnicas de bioengenharia geralmente requerem a utilização mínima de equipamentos e da movimentação de pequena quantidade 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 e corredores naturais, onde a estética constitui fator de grande importância, fornecendo ainda habitat para a fauna nativa, restauração ecológica e conforto ambiental; e
- execução em locais de acesso precário ou inexistente: em locais de difícil acesso, ou inacessíveis para o maquinário, as técnicas de bioengenharia podem constituir a única alternativa viável para a execução de obras de proteção de taludes e controle de erosão [16].

## 5 ESTUDO DE CASO: ESTABILIZAÇÃO X CONTENÇÃO DE ENCOSTAS

Neste estudo de caso, apresenta-se a movimentação da encosta localizada no Morro Florido, bairro Estrada da Saudade, próximo à servidão Ernesto Felipe Scheffler, na cidade de Petrópolis/RJ. A encosta sofreu escorregamento, ou seja, deslocamento rápido de uma massa de solo que, rompendo-se do maciço, deslizou para baixo, ao longo de uma superfície de deslizamento [4]. A solução contratada pela Prefeitura Municipal de Petrópolis para contenção desta encosta, baseada em projeto básico contratado, foi a estabilização de talude com a implantação de um conjunto de cortinas atirantadas (Figuras 6 e 7).

Na sequência, apresenta-se um estudo, parte integrante da presente pesquisa, onde foi avaliada a possibilidade de substituição da solução, preservando os mesmos padrões de segurança do talude remanescente, como será indicado nas seções.

As duas soluções foram orçadas com base na mesma tabela da EMOP – Empresa de Obras Públicas do Rio de Janeiro e os valores obtidos são apresentados juntamente com os desenhos gerais de cada solução.

Com base nas tabelas de custos da EMOP (Empresa de Obras Públicas do Rio de Janeiro), esta obra foi orçada em R\$ 824.954,54.

Segundo [4], vários são os métodos utilizados para a estabilização de taludes. Dos métodos citados nessa obra, foram utilizados como parâmetros para a criação da solução alternativa:

- diminuição da inclinação do talude;
- drenagem superficial;
- revestimento do talude; e
- utilização de bermas.

Dentro destas premissas, foi proposta uma solução de retaludamento (Figura 08), associada à drenagem do talude por canaletas e escadas hidráulicas, associada à cobertura vegetal.

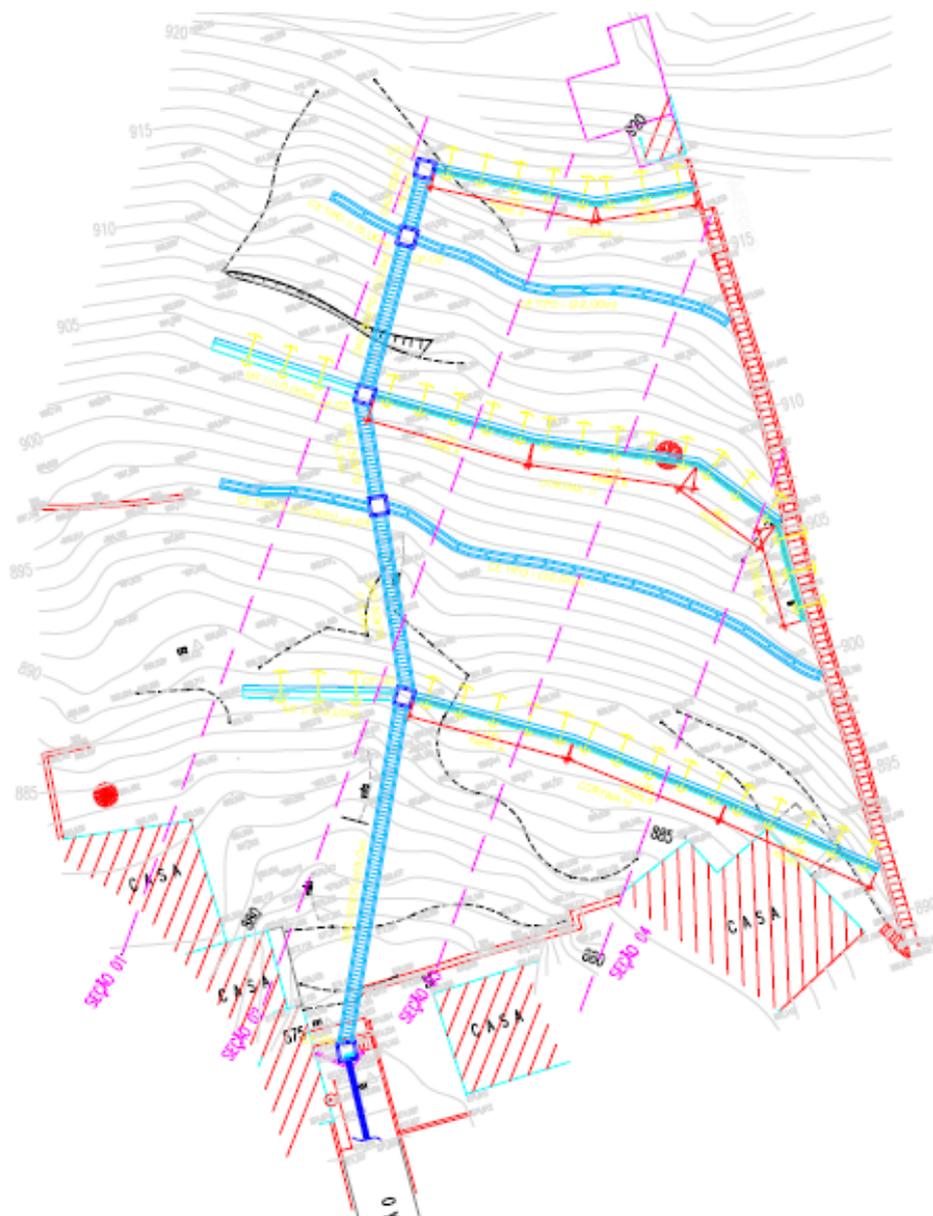


Figura 6: Elementos Estruturais Propostos – Projeto Original [17]

Logo após a execução dos taludes, é necessário restabelecer a vegetação, para permitir maior infiltração, menor escoamento superficial e proteção contra erosão laminar, garantindo assim, o sucesso dos trabalhos realizados.

Segundo [9], é fundamental a escolha de plantas de diferentes portes e a utilização de espécies de gramíneas e leguminosas para manter a biodiversidade e a sustentabilidade da vegetação. A escolha correta de plantas para uso em áreas degradadas, erosões e áreas instáveis, permite obter o sucesso da revegetação e até mesmo estabilizar áreas que apresentavam instabilidade.

Neste trabalho foi utilizado o consórcio da gramínea Vetiver (*Vetiveria zizanoides*) com a leguminosa Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*).

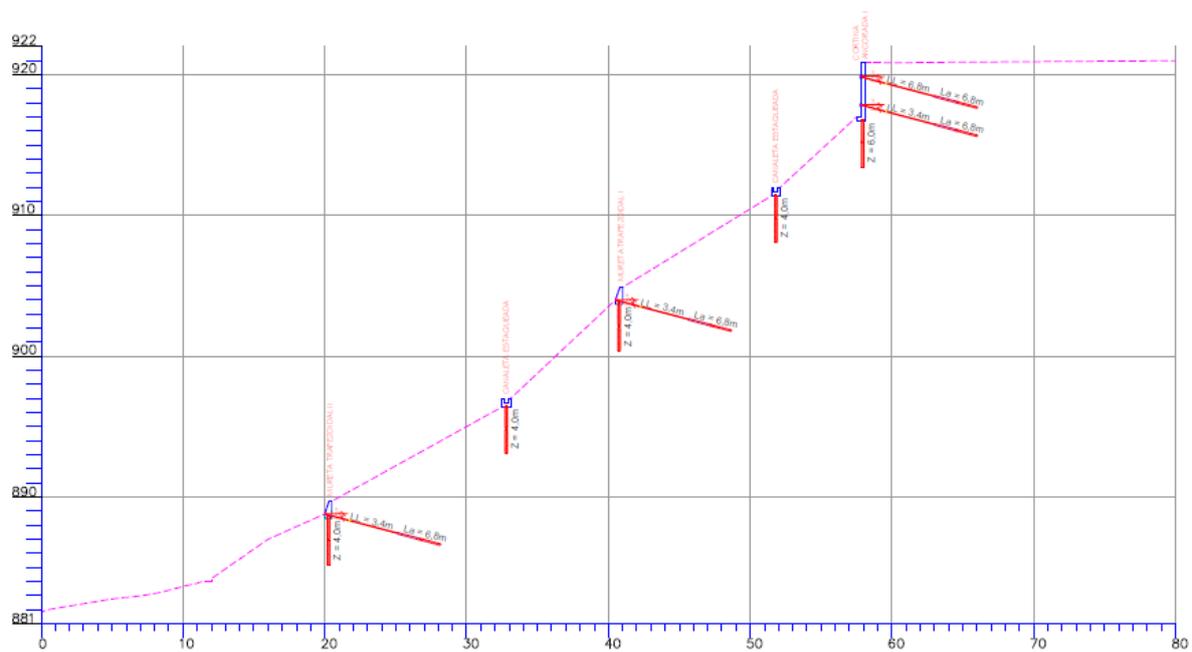


Figura 7: Seção 01 – Solução Original [17]

O Feijão de Porco, como toda leguminosa, são plantas capazes de fixar nitrogênio no solo. Além disso, apresentam raízes com arquitetura e profundidade que permitem estabilizar solos com pouca instabilidade. As leguminosas têm um papel importante na revegetação de áreas degradadas, principalmente na consorciação com gramíneas, favorecendo o desenvolvimento da vegetação pela incorporação de nitrogênio. Os efeitos benéficos promovidos pelo desenvolvimento de plantas leguminosas no solo são observados há séculos. Nestes locais, caso exista nitrogênio extra, este pode ser liberado no solo, tornando-se disponível para outros vegetais.

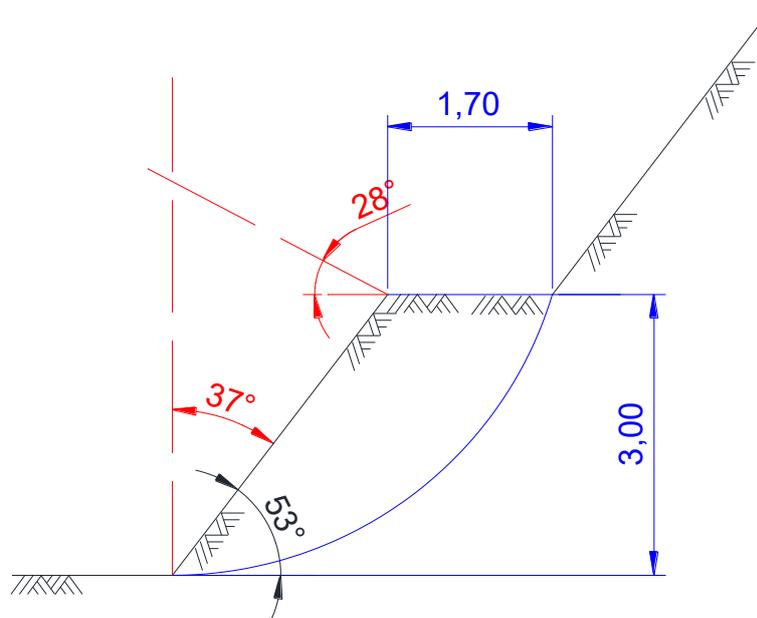


Figura 8: Padrão do retaludamento proposto

O Vetiver é uma gramínea perene, que ocorre nos mais variados climas, sobretudo tropical e subtropical [10]. Tem porte médio, chegando a até 1,50 m de altura, é resistente a pragas, doenças, déficit hídrico, geadas e fogo. É uma planta de crescimento ereto, formando touceiras. Reproduz somente por mudas e apresenta sistema de raízes densas e de alta resistência, atingindo 3 m de profundidade. As raízes apresentam sistema radicular agregante, formando um grampeamento natural estabilizante de encostas e taludes.

O plantio pode ser realizado durante todo o ano, mas preferencialmente deve ser feito na época chuvosa. A reprodução se dá exclusivamente por mudas, pois mesmo produzindo sementes, estas são estéreis. O plantio deve ser em cordões, no sentido transversal à declividade dos taludes, a cada um metro de desnível e com seis plantas por metro.

O plantio deve ser feito por talude e logo após a sua execução, devem ser fixadas Biomantas antierosivas de fibra de coco para protegerem imediatamente o solo, até que a vegetação se estabeleça.

Na Figura 9 é representado parte de um talude com a disposição da vegetação e seu espaçamento, o que irá permitir calcular a quantidade de mudas e sementes por metro quadrado e a quantidade total.

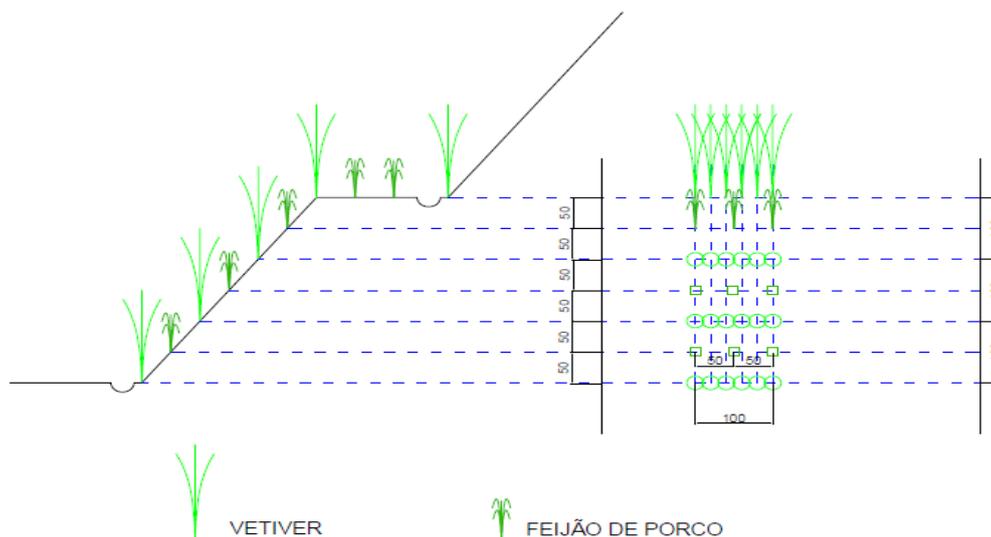


Figura 9: Disposição da Vegetação

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou, com auxílio de um estudo de caso, que a bioengenharia vem apontando como uma boa alternativa para a estabilização de taludes onde, em muitos casos, as vantagens obtidas podem ser notadas sob os aspectos financeiros, ambientais, técnicos e estéticos.

Não se trata simplesmente de “cortar o terreno e plantar grama”, mas o estudo criterioso do local e a utilização dos conhecimentos técnicos que a engenharia proporciona, na determinação da altura e inclinação dos taludes para que estes se mantenham estáveis, sobretudo no dimensionamento do sistema de drenagem, que garante essa estabilização.

A bioengenharia mostra a importância no conhecimento da vegetação a ser aplicada sobre os taludes, a interferência do clima, do tipo de solo e a associação de espécies, como as gramíneas e as leguminosas, que não só realizam a proteção superficial dos taludes, mas auxiliam na sua estabilidade através do comprimento diferencial de suas raízes.

As soluções apresentadas neste trabalho comprovam as bases teóricas e confirmam suas reais possibilidades de execução. Só as razões já citadas seriam suficientes no questionamento do tipo de estabilização a ser utilizada. Mas outro fator, não menos importante, vem somar a favor do sistema apresentado: o seu baixo custo.

Analisando as planilhas de custos, os valores deixam claro que a estabilização feita através da bioengenharia, demandaria uma verba aproximadamente 50 % menor que a apresentada para a contenção com cortinas atirantadas.

Seria possível a estabilização de duas encostas com situações semelhantes, ou mais ainda, poderiam ser feitas estabilizações preventivas, evitando os deslizamentos de terra tão comuns nas regiões serranas em geral.

No entanto, não se trata de solução a ser generalizada para todos os casos. Em muitas situações, esse sistema não será viável em função de muitas variáveis, sendo necessária a contenção de encostas com elementos estruturais. Essa avaliação deve resultar de estudos e desenvolvimento de projetos que considerem todas as possibilidades necessárias à sua estabilização.

A engenharia é uma ciência dinâmica, em constante processo evolutivo, onde não se deve “copiar” soluções já adotadas, mas buscar sempre a melhor solução para cada tipo de problema, utilizando de todas as técnicas disponíveis.

A bioengenharia vem contribuir, como mais uma dessas técnicas, fazendo com que os profissionais da engenharia analisem melhor as interferências e impactos causados por suas atividades em relação ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 11682 – Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.
- [2] O. Augusto Filho e J. C. Virgili. *Geologia de Engenharia – Capítulo 15: Estabilidade de Taludes*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- [3] A. A. Azevedo e J. L. Albuquerque Filho. *Geologia de engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- [4] H. P. Caputo. *Mecânica dos solos e suas aplicações: exercícios e problemas recebidos*, volume 3. Rio de Janeiro: LTC, 5ª edição, 1988.
- [5] Deflor Bioengenharia. *Guia de Instalação de Biomantas antierosivas, retentores de sedimentos e hidrossemeio*. Disponível em <[http://deflor.com.br/pdf/guia\\_de\\_instalacao\\_biomantas\\_retentores.pdf](http://deflor.com.br/pdf/guia_de_instalacao_biomantas_retentores.pdf)>. Acessado em maio de 2016.
- [6] G1 – Intertv. *Imagens dos estragos da chuva em Petrópolis*, 2013. Disponível em: <<http://www.g1.globo.com/rj/serra-lagos-norte/fotos/2013/03/veja-imagens-dos-estragos-da-chuva-em-petropolis-rj.html>>. Acessado em maio de 2016.
- [7] G. Guidicini e C. M. Nieble. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2ª edição, 1993.
- [8] H. Jenny. *The soil resource*. New York: Springer-Verlag, 1ª edição, 1980.
- [9] A. R. Pereira. *Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão*. Belo Horizonte: FAPI, 2006.
- [10] A. R. Pereira. Uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas. *Boletim Técnico Deflor Engenharia*, 1(3), 2006.

- [11] T. Pescarini. Obras de retaludamento. *Infraestrutura Urbana: Fundações e Contenções*, 7, 2011. Disponível em <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/7/obras-de-retaludamento-235540-1.aspx>>. Acessado em maio de 2016.
- [12] Prefeitura de Petrópolis. *Plano municipal de redução de riscos - PMRR*, Petrópolis, RJ, 2007.
- [13] M. Resende, N. Curi, S. B. Rezende e G. G. Corrêa. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 5ª edição, 2007.
- [14] R. D. dos Santos, R. C. Lemos, H. G. dos Santos, J. C. Ker, e L. H. C. dos Anjos. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Viçosa: SBCS/EMBRAPA/CNPS, 5ª edição, 2005.
- [15] H. M. Schiechl. *Bioingegneria Forestale: basi – materiali da costruzioni vivi – metodi*. Feltre: Castaldi, 1973.
- [16] J. O. Siqueira e A. A. Franco. *Bioteecnologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC, ABEAS, Lavras, ESAL, FAEPE, 1988.
- [17] Theopratique Obras e Servicos de Engenharia e Arquitetura Ltda. *Elaboração de projeto executivo para estabilização de encostas – Morro Florido, Estrada da Saudade*, Petrópolis, RJ, 2014.
- [18] Tribuna de Petrópolis. *80 mil pessoas vivem em área de risco em Petrópolis*, 2014. Disponível em <<http://www.dadosmunicipais.org.br/index.php?pg=exibemateria&secao=25&subsecao=122&id=5649&uid>>. Acessado em maio de 2016.
- [19] Verdetec. *Sistema vetiver: hidrossemeadura*. Disponível em <<http://sistemavetiver.blogspot.com.br/p/hidrossemeadura.html>>. Acessado em maio de 2016.
- [20] C. M. Wolle. *Taludes naturais - mecanismos de instabilização e critérios de segurança*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brazil, 1980.