

ESTABILIZAÇÃO VERDE COM USO DO SISTEMA RADICULAR

Gisele L. de Castro e Ricardo Franciss

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

Palavras-chave: Estabilização Verde, Sistema Radicular, Método de Fellenius.

Resumo. Este artigo descreve uma forma de estabilização de taludes, chamado de estabilização verde, utilizando raízes como reforço no solo, de modo a evitar alguns problemas como escorregamentos, desmoronamentos naturais e movimentos causados também pela ação do homem. Diante disso, além de conter o movimento de massa, tenta-se restaurar a área a qual sofreu degradação, devolvendo assim seu estado natural ou recuperando parte do que era antes. Por usar um sistema radicular para reforçar o solo, espécies rasteiras de pequeno porte, arbustos e outras plantas de médio porte (com suas raízes fasciculadas, pivotantes ou axiais) podem ser especificadas para um projeto de estabilização. Um talude localizado na Universidade Católica de Petrópolis (UCP) foi escolhido como exemplo de um projeto de estabilização com método de prevenção na área, utilizando o capim vetiver. Realizou-se um estudo sobre sua viabilidade em custo, tempo de execução e método de aplicação. Com uma abordagem sucinta do Bioma pode-se ter uma base da região estudada, do clima e da vegetação existente. Com a equação do método de Fellenius e Bishop, é calculado o fator de segurança do talude.

Endereços de e-mail: giselelucia@hotmail.com, ricardo.franciss@ucp.br.

GREEN STABILIZATION WITH USE OF THE RADICULAR SYSTEM

Keywords: Green Stabilization, Root System, Catalog, Fellenius Method.

Abstract. This article describes a form of slope stabilization, called green stabilization, using roots as reinforcement in the soil, to avoid some problems such as landslides, natural landslides and movements produced also by man. Therefore, in addition to containing mass movement, attempts are being made to restore an area that has suffered degradation, thus restoring its natural state, or recovering part of what it was before. By using a root system to reinforce the soil, small creeping species, shrubs, and other medium-sized plants (with their fasciculated, pivoting or axial roots) can be specified for stabilization. A slope located at the Catholic University of Petrópolis (UCP) was chosen as an example of a stabilization project with a prevention method in the area, using vetiver grass. A study was carried out on its feasibility in cost, time of execution and method of application. With a succinct approach to the Biome, one can have a base of the studied region, climate, and existing vegetation. With the Fellenius and Bishop equation, the slope safety factor is due.

1 INTRODUÇÃO

Observa-se, anualmente, a ocorrência de desmoronamentos e escorregamentos na cidade de Petrópolis, localizada na Serra do estado do Rio de Janeiro. Estes episódios acontecem devido ao alto volume de chuvas. Diante dessa situação, um estudo de caso foi realizado, propondo a utilização de Estabilização Verde em um talude, pois com o uso da vegetação, verifica-se também a recuperação da área degradada. Pelo fato de as raízes das plantas, absorverem parte da água da chuva, há também uma diminuição do ressecamento do solo e das fissuras por falta da cobertura, atuando como uma drenagem natural.

A estabilização verde aumenta a resistência ao cisalhamento do talude, reduzindo as chances de erosão, além de melhorar o aspecto visual, quando fica todo coberto pela vegetação. Esta aplicação nos taludes pode resolver o problema de sua estabilidade ou parte dela, obtendo-se vantagens, principalmente, quando se refere a custos.

Entretanto, é necessário que se faça um estudo da área, considerando o tipo de talude onde será aplicado, por conta da inclinação e do tipo de solo, pois esta solução poderá não ser a melhor opção para a estabilização.

É apresentado um estudo de caso para a estabilização de um talude que fica na parte dos fundos da Universidade Católica de Petrópolis (UCP), o qual pode ser visto na Figura 1. Através da Área de Proteção Ambiental (APA) de Petrópolis (2005) [12], observa-se que nessa região (centro da cidade de Petrópolis), existe uma grande área urbana, com presença de gramíneas e florestas em estágios iniciais de crescimento, indicando a recuperação natural da vegetação. Assim, pode-se definir algumas espécies de plantas que podem ser utilizadas na estabilização, como as plantas nativas do próprio local ou mesmo outra espécie não nativa. No caso estudado, o reforço do talude foi feito com o uso do sistema radicular da planta vetiver [4, 6], que é considerada, no Brasil, uma planta exótica, por ser originária da Índia.

O Estado do Rio de Janeiro está situado sob os domínios geológicos da Região Mantiqueira, que representa uma entidade geotectônica com franca orientação para a direção nordeste. Devido à posição geográfica, rodeia o continente sul-americano e seu litoral está voltado para a face sudoeste do continente africano. A província constitui-se em elemento fundamental para o entendimento da colagem neoproterozóica dos orógenos brasileiros/pan-africanos.

As formações geológicas ocorrentes atravessam o período Pré-Cambriano. As rochas foram afetadas por sucessivos ciclos de deformação intensa, responsáveis por metamorfização de rochas pré-existentes, granitização, intrusão de novos corpos graníticos, além de falhamentos e dobramentos. O acentuado relevo deve-se às falhas geológicas, as quais geram as grandes escarpas rochosas e uma maior resistência ao desgaste do granito em relação ao gnaisse.

O Mapa Geológico da Folha de Petrópolis (Figura 2) mostra que a litologia da cidade de Petrópolis é formada por magmáticos e granitos, os quais transformaram as rochas em areia argilosa, devido ao intemperismo regional [9].



Figura 1: Talude nos fundos da Universidade Católica de Petrópolis (UCP), de vários ângulos, com visualização do início de uma erosão

Salienta-se que o uso do sistema radicular é uma medida eficiente, com foco nas raízes fasciculadas e pivotantes ou axiais, na estabilização do talude. O sistema radicular atua como um grampo natural no solo, aumentando a coesão deste, e, portanto, a sua resistência ao cisalhamento. Uma forma de avaliar e comparar os tipos de estabilização é apresentada na norma ABNT NBR 11682:2009 – Estabilidade de Encostas [2], que define o fator de segurança em relação à resistência ao cisalhamento do solo, como a razão entre a resistência máxima disponível e a resistência mobilizada ao longo da superfície de ruptura.

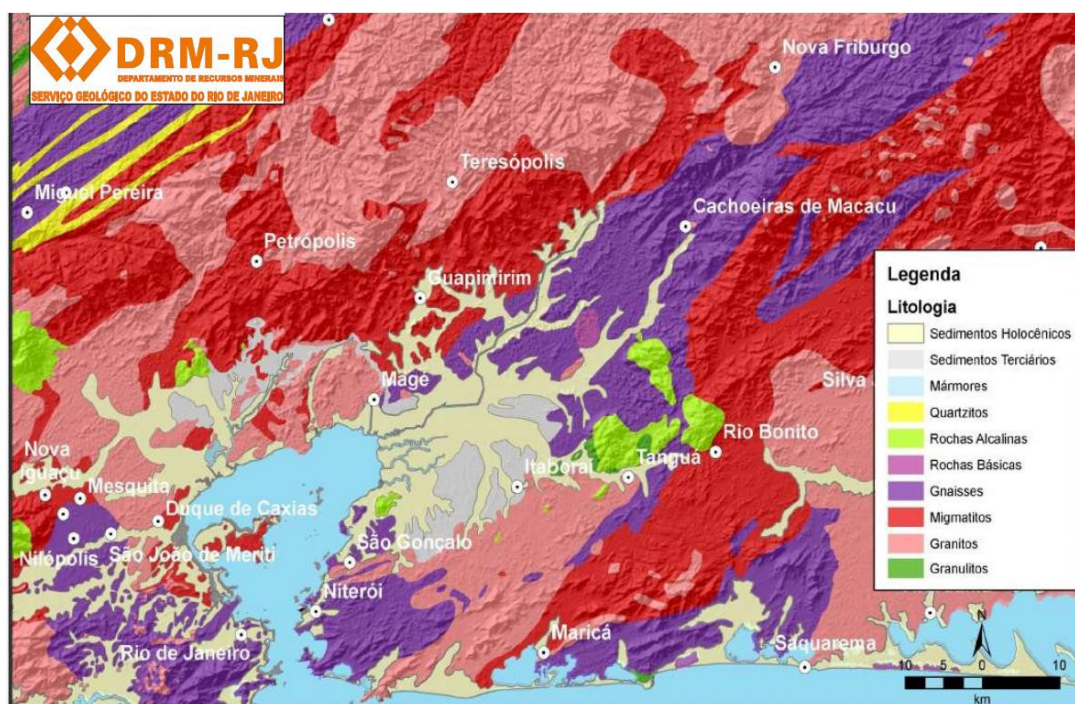


Figura 2: Mapa geológico simplificado do Estado do Rio de Janeiro [9]

2 TIPOS DE PLANTAS UTILIZADAS EM ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS

Segundo Graeff [11], no Brasil há seis Biomas: Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampa. Na Figura 3, são apresentadas as localizações dos Biomas no território brasileiro, facilitando a visualização das dimensões que cada um abrange.



Figura 3: Biomas brasileiros [15]

Como o talude do presente estudo situa-se na UCP, na região serrana do estado do Rio de Janeiro, ele enquadra-se no Bioma da Mata Atlântica, que, assim como nos demais biomas, vem sofrendo com o desmatamento.

A escolha de espécies de plantas para utilização na estabilização verde ocorre de acordo com sua morfologia e características, como sua estrutura e seu sistema radicular (aquele que faz a ligação da planta com o solo).

Alguns tipos de raízes de plantas possuem uma função essencial no solo, como absorção de água e ação de reforço. Entretanto, cada planta pode ter diferentes finalidades na hora de estabilizar o talude dependendo do tipo de raiz, como por exemplo, as raízes fasciculada e axial ou pivotante [15]:

- raiz fasciculada: é composta por muitas raízes finas do mesmo comprimento, formando uma ramificação, que reforçam o solo e aumentam a resistência ao cisalhamento. As raízes podem atingir cerca de até 6 metros de comprimento, dependendo da espécie. Como exemplo, citam-se as gramíneas (grama-amendoim), cujo sistema radicular pode ser observado na Figura 4; e



Figura 4: Raízes fasciculadas com ramificações [15]

- raiz axial ou pivotante: é formada por uma raiz principal com algumas secundárias e ramificações (Figura 5), atingindo uma profundidade maior e aumentando a segurança do solo. Como exemplo, têm-se os arbustos em geral.



Figura 5: Raízes pivotantes ou axiais [15]

Outra característica importante na escolha das plantas, se referentes à sua resistência: existem as conhecidas como perene, e aquelas que ficam por um determinado período em repouso. No caso das perenes, as plantas vivem por mais tempo, chegando a atingir mais de dois anos, mesmo quando as folhas caem, pois logo nascem sem ter um intervalo de tempo [17]. As plantas que ficam em repouso, no caso vegetativo, possuem o ciclo diferente das perenes, podendo desaparecer por um tempo da superfície, geralmente no inverno, mas existindo dentro do solo e voltando a aparecer na primavera/verão.

Em [13], são apresentadas algumas espécies de plantas para utilização em estabilização de taludes. Dentre as citadas, algumas podem ter a função de reforço do solo e outras na sua cobertura, evitando problemas como erosão. De interesse do presente trabalho, são as espécies rasteiras de pequeno porte, arbustos e de médio porte.

2.1 Rasteiras de Pequeno Porte

2.1.1 *Arachis repens* Handro

Planta perene de 10 cm a 20 cm de altura, nativa do Brasil, com ramagem prostrada, fina, de nós e entrenós destacados. Possui uma floração na primavera e verão. É cultivada como

forração, da mesma maneira de um gramado, com efeito decorativo notável pela folhagem sempre verde-escura em canteiros a pleno sol (Figura 6), ricos em matéria orgânica, permeáveis e irrigados periodicamente. Adequada também para revestimento de taludes íngremes, tendo a vantagem de dispensa de podas periódicas. Além disso, proliferam-se através da multiplicação por divisão de touceiras e pela ramagem já enraizada [13].

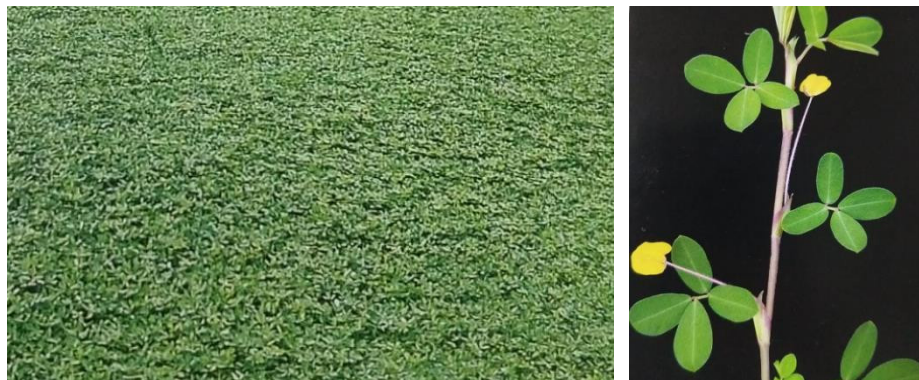


Figura 6: *Arachis repens* Handro – grama amendoim [13]

2.1.2 *Ophiopogon japonicus* (L. f.) Ker Gawl

Planta perene de 20 cm a 30 cm de altura, originária da China e Japão, com folhas lineares, finas, verde-escuras, recurvadas, de porte baixo, como apresentado na Figura 7. Possui uma floração nas condições normais de cultivo. Em nosso país, não é notado o florescimento. É utilizada como bordaduras e em substituição à grama (como o nome popular), tratando-se realmente de uma forração, tanto para a sombra como para pleno sol. Além disso, o cultivo deve ser feito em terra enriquecida com húmus e de boa drenagem, tendo a vantagem que, ao contrário do gramado, não requer corte. Multiplicam-se facilmente por divisão das touceiras em qualquer época [13].



Figura 7: *Ophiopogon japonicus* (L. f.) Ker Gawl [13]

2.2 Arbustos de Médio Porte

2.2.1 *Vetiveria zizanioides* – Vetiver

Planta perene, cespitosa (em moita), como apresentado na Figura 8, que chega a atingir cerca de 2 m de altura, com raízes as quais podem penetrar até 3 m de profundidade no primeiro ano de plantio e podem alcançar até 6 m de extensão. As raízes não entram em

dormência, mesmo em baixas temperaturas do solo (15 °C de dia e 13 °C de noite). Ainda nestas condições, foram registradas taxas de crescimento radicular de 1,26 mm/dia. O cultivo 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. É muito usado para plantio em cordões, no sentido transversal à declividade dos taludes, para reter sedimentos. Tem a vantagem de resistência ao ataque de pragas e doenças, ao acamamento por fortes ventos e é tolerante a valores extremos de pH, salinidade, toxicidade e baixos índices de nutrientes no solo. É ainda resistente ao fogo, alagamentos e pastoreio. Multiplica-se pela divisão de touceira [4, 6, 16].



Figura 8: *Vetiveria zizanioides* – vetiver [6]

2.2.2 *Calathea zebrina* (Sims) Lindl

Planta perene, acaule, nativa do Brasil, de 0,80 m a 1,20 m de altura, com rizoma curto e folhagem ornamental, conforme apresenta a Figura 9. Folhas grandes, simples, largamente elíptica ovaladas, verde-aveludadas com faixas transversais escuras, arroxeadas na face de baixo. Ocorrem diversas variedades, separadas pelo desenho das manchas foliares. Tem inflorescências densas, em espigas compactas, escondidas pela folhagem, com numerosas flores arroxeadas. Planta cultivada em canteiros íngremes. Gosta de sombra ou meia sombra. Além disso, multiplica-se pela divisão da planta [13].



Figura 9: *Calathea zebrina* (Sims) Lindl – planta zebra [13]

3 A ESTABILIZAÇÃO VERDE E MÉTODO DE CÁLCULO UTILIZADO

Em um projeto de estabilização verde, observa-se, primeiramente, a natureza do terreno: se há presença de blocos ou matacões, os quais são pedaços de rocha com diâmetros médios variando de 20 cm a 1 m, de formato arredondado que sofreram o processo de intemperismo [1]. De acordo com [7], a prática geotécnica consagrou o entendimento de que os matacões correspondem a grandes blocos isolados de rocha, com diâmetros médios variando de algumas dezenas de centímetros a vários metros.

Em seguida, analisa-se a linha de drenagem, que é o caminho o qual a água faz no terreno, conhecido como talvegue, o tipo de solo, que pode ser silte, argila ou areia, e se há ocorrência de afloramento de rocha em sua superfície formada por ação natural. Com isso, observa-se a morfologia do terreno, se trata-se de uma área plana ou área de aterro. Neste caso, a localidade pode ter depósitos de quaisquer tipos de resíduos, resultando em um solo infértil e totalmente inapropriado para construções.

Além disso, a análise deve classificar o terreno como íngreme, natural ou talude de corte (utilizado em estradas ou construções), deve verificar se há excesso de umidade, tendo como sinais a água aflorando ou indicação de solo saturado. Salienta-se que o corte em terrenos feito de modo inadequado torna-se um grande problema, pois mexe com sua base levando à desestabilização, sendo necessário um estudo prévio, observando o ângulo correto para o corte e a geologia do local.

Diante disso, observa-se também se há: o surgimento de fissuras superficiais no topo e na base do talude; inclinação de vegetação de médio ou grande porte; erosões; e água à montante, causando pressão ou amolecimento [15].

A estabilização verde é mais apropriada em taludes com inclinação de até no máximo 60°. Para maiores inclinações, deve-se recorrer a outros métodos de contenção, que não a estabilização verde.

De acordo com [10, 20], a inclinação do talude influencia no momento do plantio das gramas e arbustos/árvores, conforme apresentado na Tabela 1, de modo que isso também deve ser considerado na escolha do tipo de vegetação.

Tabela 1: Influência da inclinação do talude no estabelecimento da cobertura vegetal [20]

Inclinação do talude	Tipo de Vegetação	
	Gramma	Arbusto / árvore
0°	Dificuldade baixa, técnicas usuais de plantio	Dificuldade baixa, técnicas usuais de plantio
30° – 45°	Dificuldade média, recomenda-se hidrossemeadura	Dificuldade elevada
> 45°	Dificuldade elevada	Recomenda-se plantio em bermas

Feita a análise qualitativa, escolhida a planta que se deseja empregar, deve-se utilizar métodos de cálculo para estimar o coeficiente de segurança da estabilização verde no talude. A análise numérica da estabilidade do talude, no presente trabalho, será feita por Fellenius para verificar seu fator de segurança.

3.1 Método de Fellenius

O método de Fellenius calcula o fator de segurança de cada fatia vertical de uma possível superfície de ruptura e soma todas as fatias consideradas, através da equação:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n \left[C_i \cdot \frac{\Delta x_i}{\cos \theta_i} + \left(W_i \cdot \cos \theta_i - U_i \cdot \frac{\Delta x_i}{\cos \theta_i} \right) \cdot \tan \theta_i \right]}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot \sin \theta_i)} \quad (1)$$

em que FS é o fator de segurança; W_i é o peso da fatia; θ_i é o ângulo da fatia; C_i é a coesão do solo; U_i é a poropressão; e Δx_i é a largura da lamela.

De acordo com a ABNT NBR 11682:2009, a relação entre os esforços resistentes e os esforços atuantes, para um determinado método de cálculo adotado, não fornece o fator de segurança real, pois existem um conjunto de hipóteses, incertezas dos parâmetros do solo etc. É considerado talude de superfície crítica aquele que apresenta o menor coeficiente de segurança [2]. Os cálculos serão feitos com e sem a presença das raízes no solo, de modo a analisar o nível de coesão no solo.

4 APLICAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO VERDE NO TALUDE DA UCP

4.1 Escolha da Planta

A Figura 10 mostra o perfil do talude da UCP que, apesar de ser muito íngreme, está estável, provavelmente devido ao entrelaçamento de raízes das plantas que se encontram atualmente no local, fato que motivou esta pesquisa.

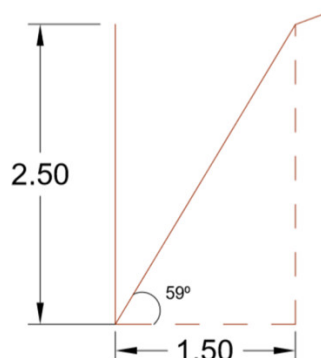


Figura 10: Perfil do talude da Universidade Católica de Petrópolis (UCP) com medidas em metros [8]

O perfil do talude da UCP é considerado retilíneo e com declividade constante com o ângulo de $\alpha = 59^\circ$ e a declividade $D = 60\%$, logo caracteriza-se como morro segundo a ABNT NBR 11682:2009, que indica tal definição quando $D > 15\%$. A partir da amostra do solo, obtiveram-se em laboratório os seguintes dados: o peso específico natural do solo $\gamma = 16,11 \text{ kN/m}^3$; o teor de umidade natural de $h = 23,08\%$; e o peso específico real do grão $\delta = 2,63$. O solo foi classificado como areia argilosa, cuja coesão varia entre 8 kPa e 10 kPa e o ângulo de atrito entre 28° e 30° [5, 8].

A planta escolhida para a estabilização do talude foi o capim vetiver, devido à profundidade que sua raiz pode atingir. Considerando que o talude estudado tem 59° de inclinação, pela Tabela 1, observa-se que é recomendado o plantio em bermas de arbusto/árvore. No entanto, existem outras opções de espécies que poderiam ser utilizadas na estabilização verde desse talude [4, 6].

No Brasil, já está sendo utilizado o capim vetiver em taludes íngremes, devido ao sistema radicular profundo, alta rusticidade e adaptabilidade a vários tipos de solo e clima. Esta planta é encontrada em alguns estados, incluindo no Rio de Janeiro, na cidade de Petrópolis, com

valor por muda de R\$ 0,50 centavos [16]. Como são plantadas através de mudas, leva pouco tempo para seu crescimento, desde que respeitados os cuidados necessários na hora de realizar a plantação. É importante que, no início, seja bem irrigada, a fim de possibilitar a expansão e alta taxa de sobrevivência.

Segundo [6], o tamanho da área influencia no espaçamento entre as mudas de vetiver e tipo de trato (mecânico ou manual). Dessa forma, o espaçamento pode variar de 0,50 m a 1,20 m entre linhas ou de 0,30 m a 0,50 m entre plantas e, com o passar de um ano, novas mudas devem ser plantadas. Cita-se que é importante realizar a análise química do solo para a escolha do adubo correto. Outros fatores importantes para a escolha do espaçamento são: a inclinação do terreno; a presença de vegetação; a quantidade de chuva; o tipo de solo; e o comprimento da rampa. A Figura 11 ilustra a importância do espaçamento na estabilização do talude, visto que um espaçamento excessivo pode gerar uma superfície potencial de deslizamento.

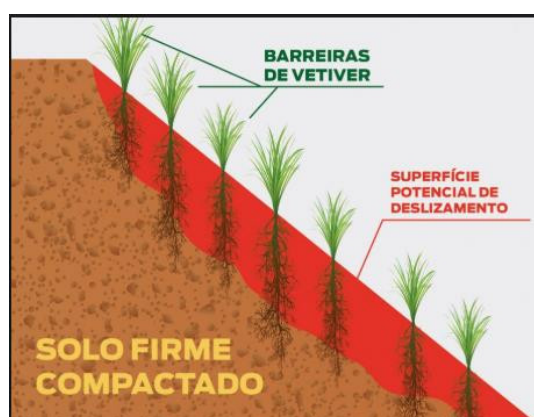


Figura 11: Importância do espaçamento na estabilização de taludes [20]

A Figura 12 apresenta como a muda é vendida para o plantio. Na Figura 13, ilustra-se o sistema radicular da planta e o tamanho que alcançam. Na Figura 14, observa-se que o capim vetiver pode alcançar os pontos de ruptura por cisalhamento do talude, atuando como reforço e interrompendo o desmoronamento. Na Figura 15, mostra-se um exemplo de talude já recuperado com o capim vetiver.



Figura 12: Muda de Capim Vetiver [16]



Figura 13: Sistema radicular do Vetiver [18, 19]

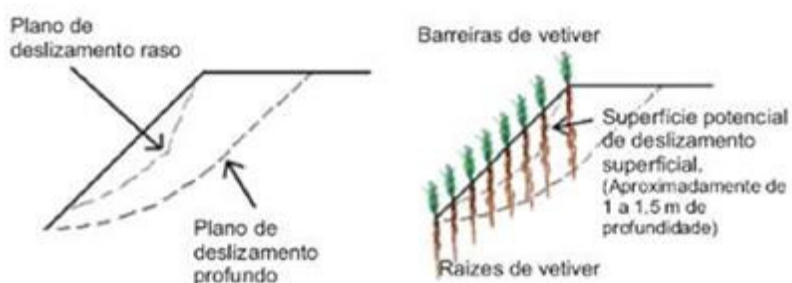


Figura 14: Plano de deslizamento e as barreiras de vetiver [14]



Figura 15: Recuperação de um talude com o capim vetiver [19]

4.2 Projeto de estabilização

O projeto utilizará uma técnica conhecida como escalonamento. Com um ângulo de aproximadamente 59° , constrói-se um degrau onde serão colocadas duas canaletas, com 0,50 m de largura (vide Figura 16) e decaimento para dentro de 5° . Desta forma, atende-se ao índice de precipitação de chuva, variando de 25 mm no inverno, podendo chegar a 213 mm no verão, com um sistema de drenagem em degraus para quebrar a velocidade da água. Este volume será futuramente despejado diretamente na caixa de captação de água pluvial no pátio da UCP, próximo ao talude [21].

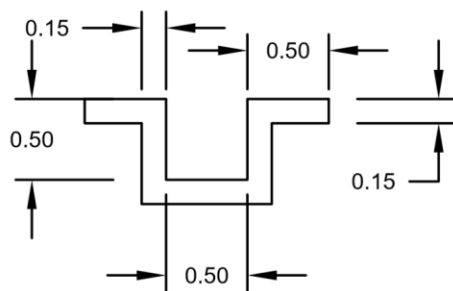


Figura 16: Detalhamento da canaleta. Medidas em centímetros

O sistema de cobertura vegetal será na forma de cordões em faixas, fazendo uma intercalação no momento do plantio com mudas de vetiver. No início, será preciso irrigação para garantir a sobrevivência da muda, excetuando nos meses de chuvas, havendo manutenção da vegetação a cada 2 a 3 meses. A Figura 17 e Figura 18 apresentam um corte hipotético do talude e a vista de frente do plantio do capim Vetiver, respectivamente.

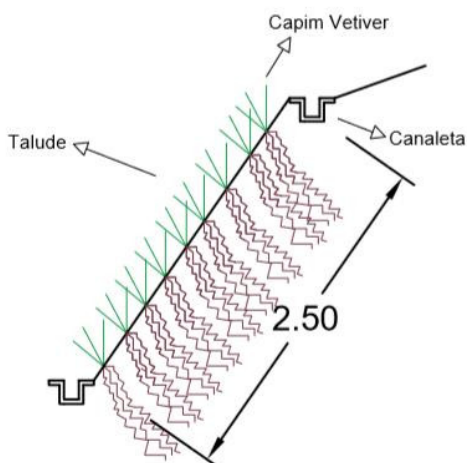


Figura 17: Vista do corte do talude com as canaletas e o capim vetiver. Medidas em metros

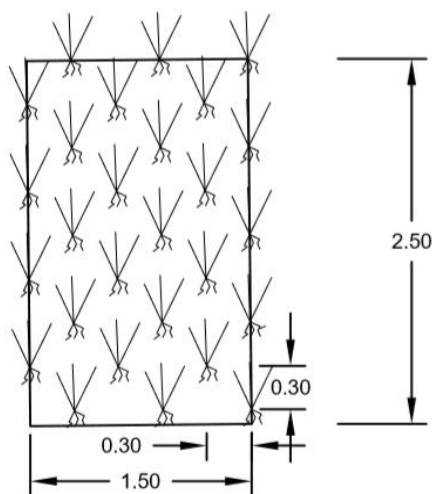


Figura 18: Plantio do Capim Vetiver em linhas ou cordões e intercalado com espaçamento de 0,30 cm

Com estes parâmetros definidos, foram feitas as análises de estabilidade do talude, considerando a coesão do solo sem vegetação com valor de 10 kPa. A Figura 19 mostra a planilha de cálculo do fator de segurança, utilizando o método de Fellenius, que resultou em valor de 1,083, sendo este um resultado crítico para o talude, já que o fator de segurança mínimo, dado por Norma, deve ser no mínimo de 1,5 para ser considerado estável.

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE FELLENIUS												
Fatia (n)	Altura Média (h)	Largura da Faixa (Dx)	Largura da Base (l)	Inclinação da Fatia (θ) °	Ângulo Atrito (Φ)	Coesão do Solo (c)	Peso Específico (γ) Solo	Peso Fatia (P)	Poropressão (u)	c ^l	(P*cos(θ) - u*Δx*sec(θ))*tg(Φ)	P*sen(θ)
1	0,765	0,6	0,65	16	30	10	16,11	7,39449	0	6,50	4,10	2,04
2	2,27	0,6	0,67	21	30	10	16,11	21,94182	0	6,70	11,83	7,86
3	3,72	0,6	0,69	26	30	10	16,11	35,95752	0	6,90	18,66	15,76
4	5,105	0,6	0,73	31	30	10	16,11	49,34493	0	7,30	24,42	25,41
5	6,12	0,6	0,77	36	30	10	16,11	59,15592	0	7,70	27,63	34,77
6	6,185	0,6	0,83	41	30	10	16,11	59,78421	0	8,30	26,05	39,22
7	5,57	0,6	0,92	47	30	10	16,11	53,83962	0	9,20	21,20	39,38
8	4,795	0,6	1,07	54	30	10	16,11	46,34847	0	10,70	15,73	37,50
9	3,755	0,6	1,37	63	30	10	16,11	36,29583	0	13,70	9,51	32,34
10	1,575	0,6	3,21	79	30	10	16,11	15,22395	0	32,10	1,68	14,94
Soma =										109,10	160,81	249,23
										Fator de Segurança - FS =		1,083

Figura 19: Método de Fellenius sem o capim Vetiver.

As Figura 20 mostra um novo cálculo, considerando um aumento de 100 % na coesão do solo devido à presença das raízes da vegetação Vetiver com 20 kPa [3]. Isso ocorre porque parte das raízes atingem a maioria das superfícies de ruptura do talude, aumentando a resistência ao cisalhamento.

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE FELLENIUS												
Fatia (n)	Altura Média (h)	Largura da Faixa (Dx)	Largura da Base (l)	Inclinação da Fatia (θ) °	Ângulo Atrito (Φ)	Coesão do Solo (c)	Peso Específico (γ) Solo	Peso Fatia (P)	Poropressão (u)	c ^l	(P*cos(θ) - u*Δx*sec(θ))*tg(Φ)	P*sen(θ)
1	0,765	0,6	0,65	16	30	20	16,11	7,39449	0	13,00	4,10	2,04
2	2,27	0,6	0,67	21	30	20	16,11	21,94182	0	13,40	11,83	7,86
3	3,72	0,6	0,69	26	30	20	16,11	35,95752	0	13,80	18,66	15,76
4	5,105	0,6	0,73	31	30	20	16,11	49,34493	0	14,60	24,42	25,41
5	6,12	0,6	0,77	36	30	20	16,11	59,15592	0	15,40	27,63	34,77
6	6,185	0,6	0,83	41	30	20	16,11	59,78421	0	16,60	26,05	39,22
7	5,57	0,6	0,92	47	30	20	16,11	53,83962	0	18,40	21,20	39,38
8	4,795	0,6	1,07	54	30	20	16,11	46,34847	0	21,40	15,73	37,50
9	3,755	0,6	1,37	63	30	20	16,11	36,29583	0	27,40	9,51	32,34
10	1,575	0,6	3,21	79	30	20	16,11	15,22395	0	64,20	1,68	14,94
Soma =										218,20	160,81	249,23
										Fator de Segurança - FS =		1,521

Figura 20: Método de Fellenius obtida pelas notas de aula de Obras de Terra com o capim Vetiver

Nota-se uma melhora considerável do fator de segurança obtido, que passou a ser de 1,521. Considerando, portanto, a análise segundo Fellenius, a presença do capim vetiver atinge o fator de segurança mínimo estipulado por norma, apresentando um aumento de mais de 40 % em relação ao talude sem vegetação. Nota-se que o talude em questão é muito íngreme e que a solução de utilização do capim vetiver pode atingir valores maiores de coeficientes de segurança para taludes convencionais.

5 CONCLUSÃO

Após a elaboração deste estudo é possível constatar que a estabilização verde apresenta resultados satisfatórios, considerando a escolha por determinadas espécies de plantas, o prazo de execução, aplicabilidade, recuperação de área (mantendo a preservação), manutenção e custo realizados no projeto.

Assim, acredita-se que a estabilização verde deveria ser mais explorada e utilizada na cidade de Petrópolis, tendo em vista que existe uma grande área de preservação, a qual necessita de cuidados. Existem muitos lugares na cidade nos quais são possíveis a aplicação

da estabilização verde. Esta é mais prática e apresenta menor custo se comparado a uma obra de arte. Sendo assim, é a opção mais acessível para a pessoa física que necessita estabilizar seus terrenos e, até mesmo, para a prefeitura, para uso como medida de prevenção contra desmoronamentos na cidade que ocorrem todos os anos no período das chuvas, entre os meses de novembro até março. Trata-se de um método preventivo e muitas vezes de recuperação, sem nenhum tipo de tratamento ou contenção.

Em muitos casos considerados críticos, o sistema proposto poderia ser um muro verde, utilizando pneus ou blocos de concreto articulados, que permitem o plantio entre seus vazios, com escalonamento, se aplicando muito bem na revegetação do local, e dando firmeza ao solo em questão. Além disso, possui um custo reduzido, tem maior durabilidade, uma manutenção barata, facilitando assim a sua aplicação.

A cobertura vegetal beneficia a proteção do solo de vários efeitos climáticos e as raízes podem reforçá-lo, aumentando sua resistência ao cisalhamento.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT NBR 6502:1995 – Rochas e Solos – Terminologia. ABNT/CEE-221 Solos, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 1995.
- [2] Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT NBR 11682:2009 Estabilidade de Encosta. ABNT/CB-002 Construção Civil, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2009.
- [3] M. C. R. Barbosa. *Estudo da Aplicação do Vetiver na Melhoria dos Parametros de Resistência ao Cisalhamento de Solos em Taludes*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, Brasil, 2012.
- [4] R. Cânovas. *O uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas*. Jardim das Ideias - STIHL, 2011. Disponível em http://www.jardimdasideias.com.br/o_uso_do_vetiver_na_estabilizacao_de_taludes_e_encostas>. Acessado em outubro de 2018.
- [5] H. P. Caputo. *Mecânica dos Solos e suas Aplicações – Mecânica das Rochas, Fundações e Obras de Terra*, volume 2. LTC, 6ª edição, 2014.
- [6] T. de A. Chaves e A. G. de Andrade. Capim Vetiver. *Manual Técnico Rio Rural*, 39, 2013. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98183/1/39-capim-vetiver-1.pdf>>. Acessado em outubro de 2018.
- [7] R. Corsini. Matacões. *Revista Equipe de Obra*, 41, 2012.
- [8] B. M. Cunha. *Planejamento do estudo da relação entre a quantidade de água decorrente de precipitação e a estabilidade de taludes, utilizando o solo da Universidade Católica de Petrópolis*. Trabalho de conclusão de curso de graduação, Universidade Católica de Petrópolis, Petrópolis – RJ, Brasil, 2018.
- [9] Departamento de Recursos Minerais – Serviço Geológico do estado do Rio de Janeiro. *Mapa Geológico do Rio de Janeiro*. Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços, 2011. Disponível em <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/downloads/category/13-regio-serrana.html?download=48%3Amegadesastre-da-serra-jan-2011-pdf>>. Acessado em agosto de 2018.
- [10] Geotechnical Engineering Office. *Geotechnical Manual for Slopes*. Civil Engineering and Development Department of the Government of the Hong Kong, 2nd edition, 1984.

- [11] O. Graeff. *Fitogeografia do Brasil: uma atualização de bases e conceitos*. Nau, 1ª edição, 2015.
- [12] Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). *APA da Região Serrana de Petrópolis*. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/apa_petropolis.pdf>. Acessado em agosto de 2018.
- [13] H. Lorenzi e H. M. de Souza. *Plantas Ornamentais no Brasil – arbustivas, herbáceas e trepadeiras*. Instituto Plantarum, 4ª Edição, 2008.
- [14] E. de L. Madruga, E. L. Schelle e F. X. de T. Salomão. *Uso do Capim Vetiver (Sistema Vetiver) no Controle de Erosão e Estabilização de Taludes de Rodovias, na Proteção de Drenagens e de Áreas Marginais*. Universidade Federal de Mato Grosso. Disponível em <<https://www.docsity.com/pt/sistema-vetiver-aplicado-a-estradas/4723090/>>. Acessado em outubro de 2018.
- [15] L. Magalhães. *Biomass Brasileiros*. Toda Matéria. Disponível em <<https://www.todamateria.com.br/biomass-brasileiros>>. Acessado em novembro de 2018.
- [16] MFRURAL. Capim Vetiver. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/>>. Acessado em outubro de 2018.
- [17] Porto Editora, *Dicionário infopédia da Língua Portuguesa*. Porto Editora, 2003-2018 Disponível em <<https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa>>. Acessado em outubro de 2018.
- [18] J. A. G. Rojas e C. R. D. Jimenez. *Pasto vetiver para control de erosion y estabilizacion de taludes*. Engormix, 2010. Disponível em <<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/control-de-erosion-y-estabilizacion-de-taludes-t28461.htm>>. Acessado em outubro de 2018.
- [19] A. R. Sabino. *Uso de Capim Vetiver em Recuperação Ambiental de Taludes de corte Rodoviários – Estudo de Caso*. Trabalho de conclusão de curso de graduação, Faculdade Santa Rita, Conselheiro Lafaiete – MG, Brasil, 2016.
- [20] Terragreen – Biotecnologia e Soluções Ambientais Ltda. *Sistema Vertiver*, 2015. Disponível em: <<http://sistemavetiver.blogspot.com/2015/12/uso-do-sistema-vetiver-no-controle-de.html>>. Acessado em outubro de 2018.
- [21] Weather Spark. *Condições meteorológicas médias de Petrópolis*, 2019. Disponível em <<https://pt.weatherspark.com/y/30566/Clima-caracteristico-em-Petropolis-Brasil-durante-o-ano>>. Acessado em julho de 2019.