

ANÁLISE DA ESTABILIDADE E COBERTURA DE UM TALUDE

Bruno da Silva Palhares ¹, Maria Eduarda Oliveira da Silva ², Marta Pereira da Luz ³

¹Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, brunopalhares7@hotmail.com

²Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, mariaeduardaoli088@gmail.com

³Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, marta.eng@pucgoias.edu.br

RESUMO: A gestão eficaz de taludes em áreas urbanas é fundamental para mitigar riscos de movimentos de massa e garantir a segurança da população e do meio ambiente. Estratégias como a implementação de geossintéticos para estabilização e proteção superficial são essenciais. Este trabalho visa analisar a estabilidade de um talude com o auxílio do software MacStars. A pesquisa justifica-se pela importância de estratégias preventivas para fortalecer taludes e controlar a erosão, destacando o uso de geossintéticos. Os resultados apontam para a instabilidade do talude analisado, com fator de segurança de 0,716, ressaltando a necessidade de intervenções adequadas.

Palavras chaves: *Talude, Geossintéticos, Estabilização, Erosão.*

ABSTRACT: *Effective slope management in urban areas is crucial for mitigating mass movement risks and ensuring the safety of the population and the environment. Strategies such as the implementation of geosynthetics for stabilization and surface protection are essential. This study aims to analyze the stability of a slope using MacStars software. The research is justified by the importance of preventive strategies to strengthen slopes and control erosion, highlighting the use of geosynthetics. The results indicate the instability of the analyzed slope, with a safety factor of 0.716, emphasizing the need for appropriate interventions.*

Keywords: *Slope, Geosynthetics, Stabilization, Erosion.*

1. Introdução

A caracterização dos taludes como formas topográficas com superfícies inclinadas que delimitam áreas de solo, rocha ou combinação de ambos, desempenha um papel essencial na

configuração do relevo e na organização do espaço em uma determinada área. Conforme Gerscovich [1], os taludes podem ser de origem natural, como em encostas, ou construídos artificialmente, como os taludes de corte, que envolvem a remoção de solo, ou os taludes de aterro, que resultam da deposição do solo.

Para Santos [2], ao realizar cortes no solo, ocorre a remoção da vegetação que tem um papel indispensável na preservação do mesmo contra a erosão. De acordo com Martini *et al.* [3], a exposição constante a intempéries, como variação de temperatura e chuvas fortes, podem causar erosão no solo. É um processo natural de transporte de partículas de solo e é considerada uma das principais ameaças ao talude. Esses fenômenos podem ser influenciados diretamente por ações humanas, além dos fatores naturais.

1.1. Objetivos

1.1.1. *Objetivo geral:* Análise da estabilidade de um talude com auxílio do software MacStars e apresentação de soluções com geossintéticos para proteção superficial.

1.1.2. *Objetivo específico:* Levantamento bibliográfico. Aplicação de um software de verificação de estabilidade. Apontamento das principais causas de falha em taludes. Apresentação de ensaios e métodos utilizados para estabelecer parâmetros de estabilidade. Indicação de soluções com geossintéticos como prevenção de movimentos de massa.

1.2. Justificativa

Estratégias de estabilização de taludes por meio da construção de muros de contenção, sistemas de drenagem, além do planejamento do uso e ocupação do solo são fundamentais nas grandes concentrações urbanas. Neste sentido, a pesquisa busca explorar o potencial dos geossintéticos como uma solução preventiva eficaz para fortalecer os taludes, controlar a erosão e aprimorar a estabilidade das estruturas. A seleção de um software que auxilie na análise da estabilidade é relevante, pois permite a integração de um alto volume de dados e a possibilidade de simulação de diferentes condições e intervenções, como variação de características do solo, drenagem ou mudanças na geometria.

2. Revisão de literatura

2.1. Estabilidade de taludes

A estabilidade de taludes, sejam eles constituídos por solos ou rochas, é essencial para a geotecnia. Sua análise é um procedimento fundamental que envolve o estudo minucioso dos processos de estabilização, como os movimentos de massa e os processos erosivos. O presente tópico tem o objetivo de avaliar os processos de estabilização em cortes de origem natural.

2.1.1. Movimentos de massa

De acordo com Selby, *apud* Tominaga [4], o movimento de massa é caracterizado como o deslocamento descendente de solo ou material rochoso, devido à ação da gravidade, sem a influência direta de outros elementos como água ou ar. No entanto, é comum que a água, por exemplo, desempenhe um papel secundário nesses deslocamentos, reduzindo a resistência dos materiais e afetando as propriedades de plasticidade e fluidez dos solos.

As categorizações dos movimentos de massa são, em linhas gerais, desafiantes devido à grande diversidade de materiais e processos envolvidos. Para Martini *et al.* [3], esses movimentos, especialmente os deslizamentos, têm o potencial de desencadear desastres ambientais e incidentes em áreas densamente habitadas, resultando em sérios impactos nos ambientes natural e biológico, trazendo frequentes perdas de vidas e danos econômicos significativos. Um levantamento conduzido pelo DNER-SP & IPT (Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo e Instituto de Pesquisas Tecnológicas) [5], destacou os principais problemas relacionados à instabilidade de taludes nas rodovias do estado, como apresenta o **Quadro 1**. Entre esses problemas, os escorregamentos se destacam como os mais diversificados em termos de causas.

Quadro 1: Classificação dos principais problemas em taludes de rodovias do Estado de São Paulo segundo o DNER-SP & IPT [5]

Tipo de problema	Forma de ocorrência	Principais causas
Erosão	- Em taludes de corte e aterro (em sulcos e diferenciada)	- Deficiência de drenagem - Deficiência de proteção superficial
	- Longitudinal ao longo da plataforma	- Concentração de água superficial
	- Localizada e associada a obras de drenagem (ravinas e boçorocas)	- Concentração de água superficial c/ou interceptação do lençol freático
	- Interna em aterros (<i>piping</i>)	- Deficiência ou inexistência de drenagem interna
Desagregação superficial	- Empastilhamento superficial em taludes de corte	- Secagem e umedecimento do material - Presença de argilomineral expansivo ou desconfinamento do material
Escorregamento em corte	- Superficial - Profundo	- Inclinação acentuada do talude - Relevo enérgico
	- Forma e dimensões variadas	- Descontinuidades do solo c rocha

Tipo de problema	Forma de ocorrência	Principais causas
	- Superficial em corte ou encostas naturais - Profundo em cortes	- Saturação do solo
	- Formas e dimensões variadas movimentação de grandes - Dimensões e generalizada em corpo de tálus	- Evolução por erosão - Corte de corpo de tálus - Alteração de drenagens
Escorregamento em aterro	- Atingindo a borda do aterro	- Compactação inadequada da borda
	- Atingindo o corpo do aterro	- Deficiência de fundação - Deficiência de drenagem - Deficiência de proteção superficial - Má qualidade do material - Compactação inadequada - Inclinação inadequada do talude
Recalque em aterro	- Deformação vertical da plataforma	- Deficiência de fundação - Deficiência de drenagem
Queda de blocos	- Geralmente em queda livre	- Rompimento de bueiro - Compactação inadequada - Ação da água e de raízes nas descontinuidades do maciço rochoso
Rolamento de blocos	- Movimento de bloco por rolamento no corte ou encosta	- Descalçamento da base por erosão

2.1.2. *Comprometimento devido à falta da cobertura vegetativa*

De acordo com Mariano [6], a remoção da vegetação que cobre os taludes aumenta os fatores que causam instabilidade. A cobertura vegetal desempenha papéis essenciais, fortalecendo o solo com suas raízes, protegendo-o da erosão e reduzindo a infiltração da água segundo DNER-SP & IPT [5]. Conforme Li & Eddleman, *apud* Furnas Centrais Elétricas S.A. [7], a utilização da vegetação desempenha uma função essencial na gestão desses processos erosivos. As plantas não apenas absorvem e interceptam uma parcela da água, mas também possuem raízes que se entrelaçam no solo, unindo suas partículas e impedindo seu deslocamento pela ação da água. Na maioria dos casos, a vegetação sujeita as adversidades de um talude, como a inclinação e o escoamento superficial, não conseguem se desenvolver de maneira independente, assim, os geossintéticos emergem como uma resposta promissora para esses problemas, promovendo a germinação das sementes, prevenindo erosão, reforçando o solo e estabilizando o talude, como indicado por Sieira [8].

2.2. *Geossintéticos*

Conforme Lachouski [9], os geossintéticos são produtos poliméricos utilizados em projetos geotécnicos e de proteção ambiental. Eles têm como objetivo resolver diversas questões,

incluindo o reforço de solos e pavimentos, drenagem e filtração, contenção de fluidos e gases, controle de erosão, retenção de sedimentos, entre outras aplicações. Para Marques & Geroto [10], a maioria das aplicações em controle de erosão é realizada utilizando geossintéticos em taludes de corte, aterros, margens de canais e cursos d'água. De acordo com Magalhães [11], eles desempenham um papel fundamental na promoção do crescimento da vegetação e na salvaguarda das sementes.

2.2.1. *Biomanta*

Segundo Bezerra *et al.* [12], geotêxtil é uma manta fabricada com diversos materiais, naturais ou sintéticos, resultando em sua classificação como degradáveis ou não degradáveis. Quando os materiais usados na fabricação de geotêxteis ou mantas são biodegradáveis, estes produtos são denominados biomantas. O uso de geotêxteis biodegradáveis tem o objetivo de estabilizar encostas e proteger temporariamente o solo exposto até que a vegetação cresça e execute esta função. A aplicação de biomantas oferece a vantagem de baixo custo tanto na instalação quanto na manutenção, especialmente porque não requer o emprego de maquinários.

2.3. *Ensaio e caracterização do solo*

Os ensaios na geotecnia são a base para tomada de decisões sólidas e seguras em engenharia civil e ambiental. De acordo com o DNER-SP & IPT [5], os métodos para caracterização e análise do solo, são, geralmente, ensaios de granulometria, formato dos grãos, limite de liquidez, limite de plasticidade, ensaio de permeabilidade, cálculo das tensões totais, efetivas e neutras, análise das deformações do solo devidas a carregamento e variação de umidade. ensaios para verificação de resistência do solo, como o ensaio de cisalhamento e ensaio de compressão triaxial. Existem outros ensaios que podem ser realizadas diretamente no campo, no local de interesse, sem a necessidade de coletar amostras de solo e enviá-las para um laboratório. Entretanto, é importante observar que nenhum desses ensaios *in situ* mede diretamente os parâmetros de resistência dos solos, e sim, recorre-se a correlações estatísticas.

De acordo com Sodré [13], o SPT (*Standard Penetration Test*) é um teste de penetração *in situ* desenvolvido para fornecer informações sobre as características do solo essenciais para atividades de engenharia. Amplamente adotado no Brasil, ele é o principal método de investigação geotécnica no país. No entanto, uma das limitações do SPT é que os dados coletados nem sempre são suficientes para fornecer informações detalhadas que permitam diferenciar o solo. Isso muitas vezes requer testes laboratoriais adicionais para obter dados mais

precisos sobre os parâmetros de resistência do solo. Devido a essa limitação, ao longo dos anos, foram desenvolvidos métodos para melhorar as correlações entre os resultados do SPT e os parâmetros de resistência do solo, buscando maior precisão e confiabilidade.

A correlação proposta por Joppert [14], presente no **Quadro 2**, é amplamente aplicada na prática geotécnica, mediante as ponderações e análises apropriadas, não excluindo os ensaios de laboratório.

Quadro 2: Correlação proposta por Joppert [14]

Parâmetros médios do solo						
Tipo de solo	Faixa de SPT	Módulo de elasticidade (t/m ²)	Peso específico		Ângulo de atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (tf/m ²)
			Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Areia pouco siltosa/pouco argilosa	0 - 4	2000 - 5000	1,7	1,8	25°	-
	5 - 8	4000 - 8000	1,8	1,9	30°	-
	9 - 18	5000 - 10000	1,9	2,0	32°	-
	19 - 41	8000 - 15000	2,0	2,1	35°	-
	≥ 41	16000 - 20000	2,0	2,1	38°	-
Areia média e fina muito argilosa	0 - 4	2000	1,7	1,8	25°	0,0
	5 - 8	4000	1,8	1,9	28°	0,5
	9 - 18	5000	1,9	2,0	30°	0,75
	19 - 41	10000	2,0	2,1	32°	1,0
Argila porosa vermelha e amarela	0 - 2	200 - 500	1,5	1,7	20°	0,75
	3 - 5	500 - 1000	1,6	1,7	23°	1,5
	6 - 10	1000 - 2000	1,7	1,8	25°	3,0
	≥ 10	2000 - 3000	1,8	1,9	25°	3,0 a 7,0
Argila siltosa pouco arenosa (terciário)	0 - 2	100	1,7	1,8	20°	0,75
	3 - 5	100 - 250	1,8	1,9	23°	1,5
	6 - 10	250 - 500	1,9	1,9	24°	2,0
	11 - 19	500 - 1000	1,9	1,9	24°	3,0
	20 - 30	3000 - 10000	2,0	2,0	25°	4,0
	≥ 30	10000 - 15000	2,0	2,0	25°	5,0
Argila arenosa pouco siltosa	0 - 2	500	1,5	1,7	15°	1,0
	3 - 5	500 - 1500	1,7	1,8	15°	2,0
	6 - 10	1500 - 2000	1,8	1,9	18°	3,5
	11 - 19	2000 - 3500	1,9	1,9	20°	5,0
	≥ 20	3500 - 5000	2,0	2,0	25°	6,5
Turfa/argila orgânica (quaternário)	0 - 1	40 - 100	1,1	1,1	15°	0,5
	2 - 5	100 - 150	1,2	1,2	15°	1,0
Silte arenoso pouco argiloso (residual)	5 - 8	8000	1,8	1,9	25°	1,5
	9 - 18	1000	1,9	2,0	26°	2,0
	19 - 41	15000	2,0	2,0	27°	3,0
	≥ 41	20000	2,1	2,1	28°	5,0

2.4. Fator de segurança e método de verificação

Conforme estabelecido pela ABNT NBR 11682 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) [15], o fator de segurança (F.S.) pode variar em diferentes situações de potencial ruptura do talude, levando em consideração os riscos associados à segurança humana, aos danos materiais e ao impacto ambiental. Essas variações devem contemplar não apenas as condições atuais, mas também as projeções para o futuro ao longo da vida útil do talude em análise. Os fatores de segurança apresentados no **Quadro 3** estão relacionados às análises da estabilidade interna e externa do maciço.

Quadro 3: Fatores de segurança mínimos para deslizamentos segundo a ABNT NBR 11682 [15]

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Para Gomes [16], a Teoria de Equilíbrio Limite é aplicada a vários tipos de análise de estabilidade que são comumente realizados pela aplicação do método geral, método das fatias ou método das cunhas. Autores como Fellenius, Janbu, Bishop, Morgenstern e Price, Spencer e outros, fundamentaram suas abordagens se apoiando nesses métodos, cada um adaptando e desenvolvendo suas teorias com base na aplicação e nas limitações de cada técnica escolhida por eles, buscando a otimização dos métodos de acordo com suas complexidades e particularidades. Ferreira [17] aponta que o método de Bishop foi desenvolvido em 1955 com o objetivo inicial de analisar superfícies de ruptura circulares, embora sua aplicação não esteja limitada a essas formas. Ele simplifica o cálculo do fator de segurança ao ignorar as forças de cisalhamento entre as fatias, focando apenas no equilíbrio de momentos. Os resultados satisfatórios fornecidos pelo método despertaram interesse em estudos adicionais para uma compreensão mais profunda e refinada de sua aplicação e limitações.

3. Materiais e Métodos

Foi selecionado para o estudo um talude, indicado pela Maccaferri do Brasil Ltda., empresa internacional de soluções avançadas de engenharia. O método científico utilizado para a verificação de estabilidade conta com o emprego do MacStars W 4.0, software concebido pela própria empresa. De acordo com a Maccaferri [18], o propósito do desenvolvimento do MacStars é facilitar a análise da estabilidade de solos reforçados, ou seja, estruturas que garantem a estabilidade de taludes ao empregar unidades de reforço que absorvem as tensões

de tração. O programa conta com o Método do Equilíbrio Limite para os cálculos. O talude indicado pela empresa Maccaferri está localizado em Aparecida de Goiânia, Goiás, e faz parte das obras de infraestrutura de um futuro condomínio que estará localizado na região. O MacStars oferece o método de Janbu e o de Bishop para a verificação do fator de segurança. Para a estrutura em estudo, foi definido o método de cálculo rígido, adotando a superfície de ruptura circular, através de Bishop.

Durante o processo de pesquisa e análise, foi realizada uma visita *in loco* ao talude objeto de estudo. Para o início da modelagem da estrutura, em posse do laudo de sondagem SPT, com o auxílio da correlação proposta por Joppert [14], foi possível estimar as características das camadas de solo existentes, como densidade, ângulo de atrito interno e coesão. Em seguida, com base no laudo de sondagem e da visita ao local onde encontra-se a estrutura, foi possível definir a geometria das camadas de solo, e conseqüentemente, a seção típica do talude em questão. Também foi considerada a presença de água no solo, através da inserção de uma superfície piezométrica. Após todos os dados de entrada estarem preenchidos, a verificação de estabilidade global da estrutura foi viabilizada. Para determinar a cobertura adequada, foram consideradas a disponibilidade de geossintéticos que podem ser utilizados para mitigar eventuais patologias. Uma síntese da metodologia é apresentada por meio do fluxograma da **Figura 1**. A partir dos resultados de estabilidade, torna-se viável indicar soluções mais adequadas para o caso em questão e formas de proteção com o uso de o geossintético de cobertura para evitar eventuais problemas.

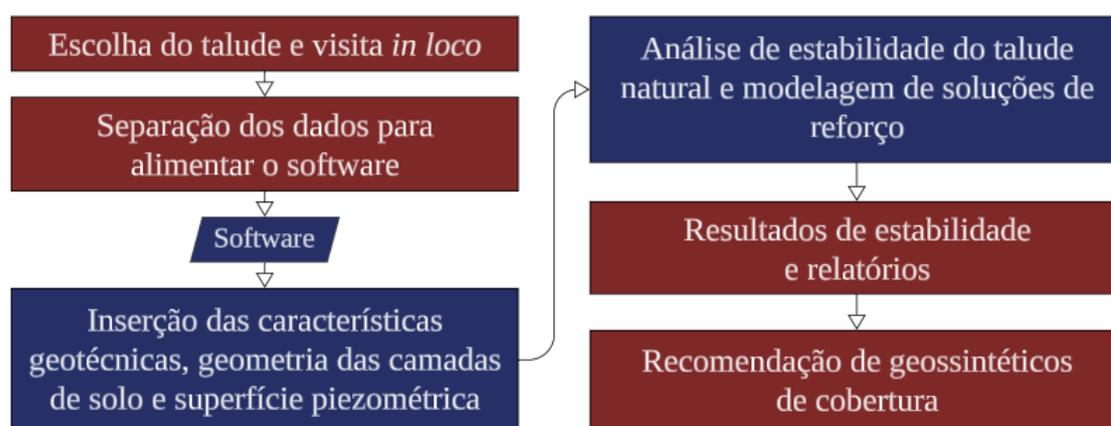


Figura 1: Síntese metodológica por meio de fluxograma

4. Resultados

Durante o ato da visita, foi possível constatar que o talude já apresentava sinais de ruptura. Com o passar do tempo, ocorreu uma maior erosão e avanço da superfície de ruptura, como

demonstra a **Figura 2**. Observa-se também que a presença da vegetação no local contribuiu significativamente para a estabilidade do trecho preservado, retardando o avanço da erosão.



Figura 2: Comparativo do talude entre fevereiro (a) e março (b) de 2024

4.1. Separação de dados e correlação

Por meio do laudo de sondagem SPT, foi possível identificar o índice de resistência à penetração em cada metro de profundidade, bem como os tipos de solo presente e suas respectivas profundidades de ocorrência e posição do nível da água no local, apresentado na síntese do laudo de sondagem SPT através do **Quadro 4**.

Quadro 4: Síntese do laudo de sondagem SPT

Cota: 760,24 Início: 15/02/2024 Término: 16/02/2024				
Profundidade (m)	NA	SPT	Perfil geológico	Material
1,0		$\frac{6}{31}$		Silte pouco argiloso na cor marrom amarelado, pouco compacta
2,0		6		
3,0		8		
4,0		8		Argila pouco arenosa na cor cinza com manchas marrom, pouco compacta
5,0		$\frac{9}{31}$		Silte argiloso com mica na cor cinza escuro, medianamente compacta
6,0		$\frac{8}{31}$		Areia fina siltosa na cor cinza com presença de mica, medianamente compacta
7,0		$\frac{8}{32}$		Silte arenoso na cor amarela com intercalações cinza, medianamente compacta
8,0		15		
9,0	16		Silte arenoso na cor amarela com intercalações cinza, compacta	
10,0	24		Silte arenoso com presença de mica na cor esverdeada com intercalações amarelas e marrom, compacta	
11,0	25			
12,0	25			

A partir desses dados, tornou-se possível aplicar a correlação de Joppert [14]. O **Quadro 5** representa a correlação aplicada ao caso.

Quadro 5: Correlação de Joppert aplicada ao caso

Solo	N° SPT	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Ang. atrito (°)	Coesão (kN/m ²)
Silte pouco argiloso	8,0	18,0	19,0	28,0	15,0
Argila pouco arenosa	8,0	18,0	19,0	18,0	35,0
Silte argiloso c/ mica	9,0	19,0	20,0	26,0	20,0
Areia fina siltosa	8,0	18,0	19,0	28,0	5,0
Silte arenoso	15,0	19,0	20,0	26,0	20,0
Silte arenoso	16,0	19,0	20,0	26,0	20,0
Silte arenoso c/ mica	25,0	20,0	20,0	27,0	30,0

4.2. Análise da estabilidade

Com o auxílio do software MacStars, utilizando o método de Bishop para a verificação de estabilidade global, com base no método de cálculo rígido, obtém-se um fator de segurança de 0,716, evidenciando o problema de estabilização da estrutura, apresentado na **Figura 3**. Considera-se que o fator de segurança mínimo necessário para garantir um nível alto de segurança contra danos a vidas humanas, danos materiais e ambientais é 1,500. Isso demonstra que a estrutura está significativamente abaixo do nível de segurança desejado.

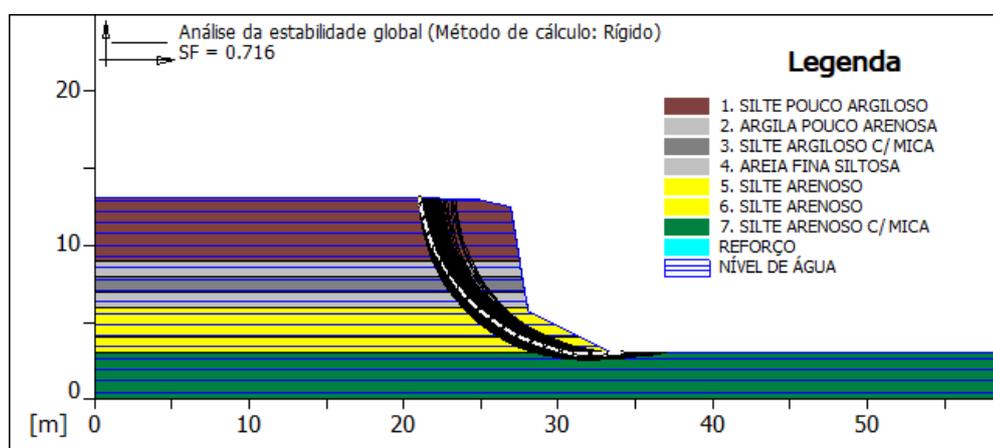


Figura 3: Verificação da estabilidade global do talude natural

Neste cenário, técnicas de reforço, contenção e cobertura superficial do solo são fundamentais para resgatar a estabilidade da estrutura. Para a modelagem do possível reforço, o solo de aterro a ser contido será aquele com a melhor característica presente no local, sendo ele o silte arenoso com presença de mica na cor esverdeada com intercalações amarelas e

marrom, compacta, com densidade de 20,0 kN/m³, ângulo de atrito de 27,0° e coesão de 30,0 kPa. A **Figura 4** apresenta o modelo de reforço utilizando o sistema Maccaferri Terramesh® PoliMac, do tipo 8x10, com 10,0 m de comprimento, 10,0 m altura e submetido a uma inclinação de 35,0°, além de um reforço com a MacGrid WG 120, com 10,0 m de comprimento e instalada na vertical a cada 1,0 m. Todo esse sistema de reforço fornece o fator de segurança de 1,701.

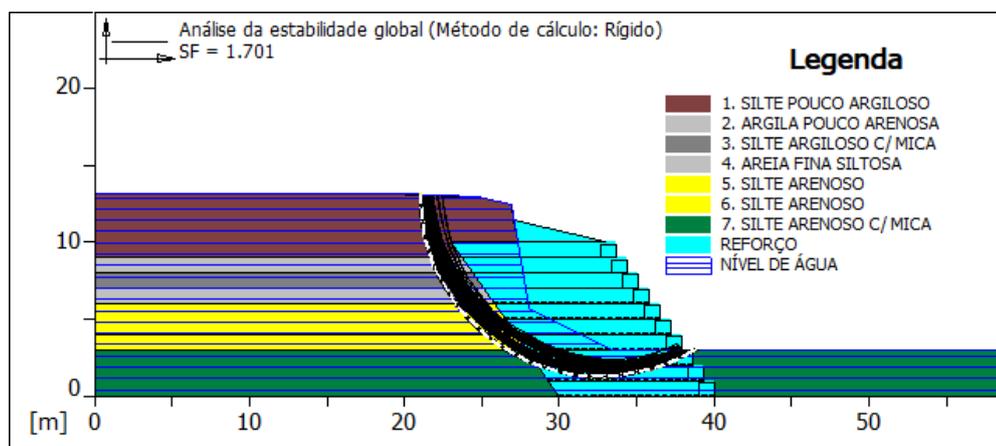


Figura 4: Simulação do sistema Terramesh® PoliMac

A Terramesh® PoliMac é composta por malhas fabricadas com fio de aço, revestida de um polímero, faceada por um conjunto de rochas naturais, um geossintético de separação e um solo de boa qualidade. A **Figura 5** representa o esquema de funcionamento do produto e o **Quadro 5** sintetiza outras possíveis soluções de contenção e reforço para o caso.

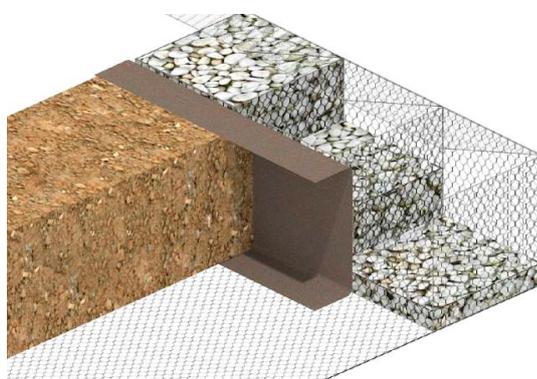


Figura 5: Esquema de funcionamento do sistema Terramesh® PoliMac, Maccaferri [19]

Quadro 5: Síntese de possíveis soluções de contenção/reforço

Soluções	Modelo	Reforço adicional	Inclinação (°)	Base (m)	Altura (m)	F.S.
Terramesh PoliMac	80/3.7/1.0x1.0	MacGrid WG 120	35,0	10,0	10,0	1,701

Soluções	Modelo	Reforço adicional	Inclinação (°)	Base (m)	Altura (m)	F.S.
Maccaferri Gabiões H=0.50	Width P/5.0	-	35,0	10,0	10,0	1,716
Maccaferri Gabiões H=1.00	Width P/6.0	MacGrid WG 150	35,0	10,0	10,0	1,701
Colchão Reno H=0.30	Width P/4.0	-	35,0	10,0	10,0	1,851
Maccaferri MacGrid	WG 800	-	35,0	10,0	10,0	2,297

4.3. Proteção superficial

A cobertura superficial indicada para este caso, com o objetivo de controlar a erosão do talude, é um geossintético que favoreça o crescimento da vegetação. A **Figura 7** apresenta uma das alternativas encontradas dentro do catálogo de produtos da Deflor Engenharia [20]. A Biomanta Antierosiva de Fibra de Coco Bidimensional (Tela Fibrax® 300BF), constituída em 100% por fibras de coco, possui as fibras entrelaçadas e integradas em redes de polipropileno em ambos os lados, a partir de uma de costura industrial longitudinal, utilizando fios de polipropileno resistentes e degradáveis. Com um espaçamento de 5 cm entre os fios e de 6 cm entre os pontos, essa trama proporciona uma resistência significativa. Ele é fornecido enrolado em bobinas e embalado em filme plástico. Este produto é versátil e pode ser utilizado em uma ampla gama de projetos, incluindo bioengenharia, recuperação de áreas degradadas, projetos residenciais e paisagísticos. A biomanta em questão é especialmente recomendada para taludes de corte e aterro com inclinação de até 60° e solos com média a alta suscetibilidade à erosão. O **Quadro 6** apresenta as características técnicas da Tela Fibrax.



Figura 6: Tela Fibrax® 300BF, Deflor Engenharia [20]

Quadro 6: Características técnicas da Tela Fibrax® 300BF, Deflor Engenharia [20]

Matriz orgânica	100% fibra de coco
-----------------	--------------------

Comprimento (m)	33,4
Largura (m)	1,5
Área da bobina (m ²)	50,0
Gramatura da matriz orgânica (g/m ²)	300,0
Peso da bobina (kg)	15,0
Longevidade (meses)	36-48
Resistência à tração (kgf/m)	65,0
Diâmetro da bobina (m)	0,4
Espaçamento entre linhas (cm)	5,0
Comprimento do ponto (cm)	6,0
Inclinação máxima do talude (H:V)	1:2

Outra alternativa promissora para compor o sistema de controle de erosão são os Produtos em Rolo para Controle de Erosão Vivos (PRCEV's), experimentada por Furnas Centrais Elétricas S.A. [7], com base no Manual de Recomendações Técnicas em Bioengenharia: Instalação de Cobertura Vegetal de Taludes na UHE Batalha. Os PRCEV's são compostos por uma base de tela de arame, seguida por uma camada de suporte feita de geossintético de fibra de coco, uma camada de substrato e um tratamento que consiste em um consórcio de sementes ou mudas selecionadas previamente. Essas biomantas são cultivadas em condições controladas e, posteriormente, transportadas para a área degradada, onde são implantadas. Isso remove a necessidade da fase inicial de germinação e estabelecimento da vegetação no campo, aumentando a possibilidade de sucesso na adaptação das plantas. A **Figura 8** ilustra as camadas dos PRCEV's.

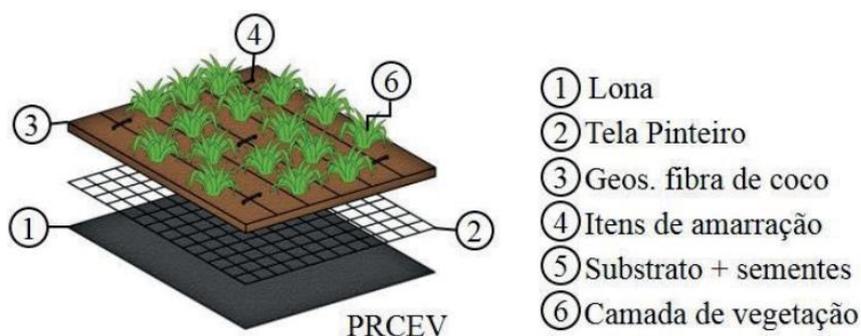


Figura 7: Esquema de camadas dos PRCEV's, Furnas Centrais Elétricas S.A [7]

5. Conclusão

O avanço da erosão observado dentro de um curto período após a visita ressalta a urgência de ações de estabilização. O F.S. encontrado foi de 0,716, evidenciando a necessidade de

reforço estrutural, uma vez que o valor mínimo exigido pela NBR 11682 para garantir um nível alto de segurança para vidas humanas, danos materiais e ambientais é 1,500. Diante disso, propõe-se o uso de técnicas de reforço, contenção e cobertura superficial do solo para restaurar a estabilidade da estrutura e garantir a segurança do local, como o sistema Terramesh® PoliMac, em conjunto com a MacGrid WG 120, que fornece um F.S. de 1,701. Os produtos e técnicas escolhidos para a estabilização são fornecidos pela empresa que desenvolve o software utilizado na análise. No entanto, é importante ressaltar que a escolha desses produtos se deu exclusivamente devido ao fato de que o software contempla apenas as soluções ofertadas pela empresa desenvolvedora. Existem outros produtos e possibilidades disponíveis no mercado, que também podem ser eficientes para a estabilização dessas estruturas. Além disso, o material indicado para a proteção da camada superficial é a biomanta bidimensional Tela Fibrax® 300BF, composta por material degradável, recomendada para taludes de aterro com inclinação de até 60° e solos com média a alta suscetibilidade à erosão, que favorecerá o desenvolvimento de vegetação no local. A escolha dessa biomanta se deve à sua aplicação simplificada em comparação com outros métodos, pois requer menos etapas no processo de instalação e, conseqüentemente, demanda menos tempo para seu emprego. Já os PRCEV's são soluções promissoras, relevantes e cabem um estudo de viabilidade e custos mais aprofundando em trabalhos futuros.

6. Referências Bibliográficas

1. Gerscovich, D.M.S., Danziger, B.R., Ribeiro, D.S., Santos, S.N.: Previsão da Carga Transmitida a Dutos Enterrados Utilizando Métodos Analíticos e Numéricos, XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica; Porto de Galinhas; 2012.
2. Santos, L.M.: Erosão em taludes de corte: métodos de proteção e estabilização. Trabalho de Conclusão do Curso. Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista (2015).
3. Martini, L. C. P., Uberti, A. A. A., Scheibe, L. F., Comin, J. J., & Oliveira, M. A. T.: Universidade de São Paulo Série Científica. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicritério baseada em Sistemas de Informações Geográficas (2006).
4. Tominaga, L.K.: Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. Dissertação de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo (2007).
5. Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo (DNER-SP): Taludes de rodovia: orientação para diagnóstico e solução de seus problemas. Manual de Geotecnia. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1991).
6. Mariano, D.P.: Efeito do Coberto Vegetal no Reforço e na Proteção de Taludes. Dissertação de Mestrado. Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (2015).
7. Furnas Centrais Elétricas S.A.: Recomendações Técnicas em Bioengenharia. Instalação de Cobertura Vegetal de Taludes na UHE Batalha. Manual. Goiânia, 2021.

8. Sieira, A.C.C.F.: Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação Solo-Geogrelha. Dissertação de Doutorado. Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil (2003).
9. Lachouski, R.L.L.: Aplicação de geossintéticos em engenharia geotécnica: Da análise de 32 casos de obras para soluções de engenharia. Trabalho de Conclusão do Curso. Santa Catarina: Universidade de Santa Catarina (2021).
10. Marques, A.C.M., Geroto, R.E.: Aplicações em Controle de Erosão Superficial. Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo: Editora Edgar Blücher (2015).
11. Magalhães, A.F.: Avaliação do Desempenho de Técnicas de Bioengenharia na Proteção e Conservação da Cobertura Final de Taludes em Aterros de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso para o Aterro Sanitário. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (2005).
12. Bezerra, J.F.R., Guerra, A.J.T., Rodrigues, S.C.: Aplicação de geotêxteis biodegradáveis na redução do escoamento superficial e controle da erosão superficial. Revista de Geografia, v. 12, n. 2, p. 93-104; (2011).
13. Sodré, J.L.: Análise das correlações entre o ensaio de SPT e os parâmetros resistentes do solo por meio de um caso de estudo. Trabalho de Conclusão de Curso. Palmas: Centro Universitário Luterano de Palmas (2018).
14. Joppert, I.: Fundações e contenções de edifícios. 1ª ed. São Paulo: Editora PINI Ltda.; 2007.
15. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 11682 - Estabilidade de encostas, Rio de Janeiro, 2009.
16. Gomes, R.C.: Taludes e movimentos de massa. Notas de aula: Engenharia Civil. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro (2011).
17. Ferreira, J.L.F. Análise de Estabilidade de Taludes pelos Métodos de Janbu e Spencer. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto: Faculdade de Engenharia (2012).
18. Maccaferri: Guia para elaboração de Projetos, MacStars 2000 (2013). Acesso em 17 de março de 2024; Disponível em: <https://intranet.maccaferri.com.br/downloads/software/por/GuiaProjetosMacstars2000.pdf>
19. Maccaferri: TerraMesh™. Rise to the challenge (2023). Acesso em 05 de abril de 2024; Disponível em: https://www.maccaferri.com/wp-content/uploads/2023/02/Brochure-TerraMesh_min.pdf
20. Deflor Bioengenharia: Especificações Técnicas de Biomantas (2023). Acesso em 12 de maio de 2024; Disponível em: https://www.deflor.com.br/pdf/especificacoes_tecnicas_biomantas.pdf?_gl=1*1gzencz*_ga*MTM2MTQ4Nzg1Ny4xNzE1NzczNzE5*_ga_81N6TS87MD*MTcxNTc4NjEwMC4yLjEuMTcxNTc4NjE2Ni4wLjAuMA..