

ANÁLISE MULTIFATORIAL DA ESTABILIDADE SUPERFICIAL DE TALUDES SATURADOS COM VEGETAÇÃO: UMA ABORDAGEM INTEGRADA PARA A GESTÃO DE RISCOS

Davi Martins de Aragão*

Estudante de Engenharia Civil – ENC/UnB, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF

Ana Paola do Nascimento Dantas

Aluna do Doutorado em Geotecnia, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF

André Luís Brasil Cavalcante

Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF

RESUMO

Este estudo propõe a construção de um modelo analítico utilizando o software Wolfram Mathematica 11.3 para avaliar os efeitos mecânicos da vegetação e seu consequente impacto na estabilidade da superfície dos taludes, com ênfase na segurança. A motivação para essa pesquisa decorre da necessidade de estudos adicionais na sequência de recentes desastres ambientais no país, que resultaram em deslizamentos de terra e a remoção forçada de muitas famílias. A análise utilizou os parâmetros um Cambissolo do Distrito Federal, conforme estudado por Wanderley Neto, em 2020, além dos parâmetros de vegetação fornecidos por Fiori, em 2016. Constatou-se que os fatores chave para a segurança são a força de tensão e o tamanho das raízes, o que permite estabilidade em uma gama mais ampla de solos com piores características do que o solo inicial. Além disso, conclui-se que a coesão do solo é um elemento crucial para a estabilidade, com a presença de vegetação proporcionando condições de segurança ideais em solos de baixa coesão. Avaliou-se também várias faixas de valores para a força de arrasto do vento e o peso da vegetação, bem como outros parâmetros do solo, como o ângulo de atrito e o ângulo de inclinação do talude.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de taludes, Fator de segurança, Vegetação, Modelo analítico.

ABSTRACT

This study proposes developing an analytical model utilizing Wolfram Mathematica 11.3 to assess the mechanical effects of vegetation and their subsequent impact on the stability of slope surfaces, emphasizing safety. The motivation for this research arises from the need for additional studies following recent environmental disasters in the country, which resulted in landslides and forced displacement of many families. The analysis uses the parameters of a Cambisol from the Federal District, as studied by Wanderley Neto in 2020, as well as vegetation parameters provided by Fiori in 2016. It was found that the key factors for safety are the tension strength and the size of roots, which allow stability across a broader range of soils with worse characteristics than the initial soil. Furthermore, it is concluded that soil cohesion is a crucial element for stability, with the presence of vegetation providing ideal safety conditions in low cohesion soils. We also evaluated several ranges of values for the drag force of the wind and the weight of the vegetation, as well as other soil parameters, such as the friction angle and the slope inclination angle.

KEYWORDS: Slope stability, Safety factor, Vegetation, Analytical model.

*Autor correspondente: dvmartins05@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana acelerada e desordenada, aliada à intensificação dos fenômenos climáticos, tem provocado inúmeros problemas recentemente, incluindo deslizamentos e rupturas de encostas, aumento da vazão e velocidade do fluxo de água durante períodos de chuva, acréscimo do escoamento superficial e diminuição da permeabilidade do solo. Esses fatores podem culminar em eventos catastróficos que levam ao desalojamento de grandes áreas urbanas e causam danos incalculáveis (Souza, 2021).

A vegetação desempenha um papel crucial na estabilização do solo, ajudando a reduzir a poropressão e aumentar a sucção pela remoção da umidade do solo por meio da evaporação e transpiração das plantas. Esses processos contribuem para aumentar a resistência ao cisalhamento e o fator de segurança do talude. No entanto, a remoção total da vegetação pode levar à formação de uma camada impermeável, ocorrendo o selamento superficial da área. Esse fenômeno, gerado por partículas finas desagregadas que bloqueiam os poros do solo, pode causar infiltração e arrasto de grandes quantidades de solo (Lemes, 2001).

Portanto, este estudo busca aplicar um modelo analítico dos efeitos mecânicos da vegetação na estabilidade superficial dos taludes utilizando o software Wolfram Mathematica. O objetivo é simular o comportamento dessas estruturas em condição natural e de saturação e avaliar como a presença da vegetação pode impactar significativamente a resistência e a permeabilidade do solo.

2. METODOLOGIA

A metodologia de realização deste estudo foi dividida em várias etapas e potenciais cenários para o talude. As etapas incluíram a entrada de dados, a elaboração do modelo e a obtenção dos resultados. Por outro lado, os cenários possíveis incluíam um talude sem vegetação, um talude com vegetação, um talude totalmente saturado sem vegetação e um talude totalmente saturado com vegetação. O objetivo principal do estudo era identificar as propriedades do solo e da vegetação que exercem maior impacto sobre o fator de segurança em um talude infinito, por meio de várias tentativas e alterações em cada parâmetro.

A abordagem do estudo foi fundamentada no Método do Talude Infinito para o cálculo da estabilidade, que se aplica a taludes de grande

extensão com o mesmo tipo de solo. Neste método, o plano de deslizamento é assumido como paralelo à superfície do terreno, localizado entre a camada superior do solo e o início da camada de rochas (Fiori, 2016).

Para a entrada de dados, foram utilizados os parâmetros de um Cambissolo do Distrito Federal, conforme estudado por Wanderley Neto (2020), como mostrado na Tabela 1. Já para os parâmetros da vegetação, foram usados os dados do livro "Estabilidade de Taludes: Exercícios Práticos" de Fiori (2016), presentes na Tabela 4.

Na fase de construção do modelo analítico, foi necessário estudar a linguagem de programação Wolfram Mathematica para aplicar as fórmulas como entradas e obter gráficos avaliativos como resultados. As fórmulas para os fatores de segurança de Fiori (2016) foram utilizadas, e as equações foram analisadas de acordo com as unidades de cada parâmetro.

Os resultados do estudo são apresentados em gráficos que permitem comparar quais parâmetros do solo e da vegetação têm maior influência no valor do fator de segurança, com os parâmetros do solo no eixo das abscissas e o fator de segurança no eixo das ordenadas. Além disso, foram escolhidos intervalos para os parâmetros da vegetação, a fim de visualizar o comportamento de mais de uma linha por gráfico. Na Figura 1, apresenta-se um fluxograma para facilitar a compreensão dessas etapas.

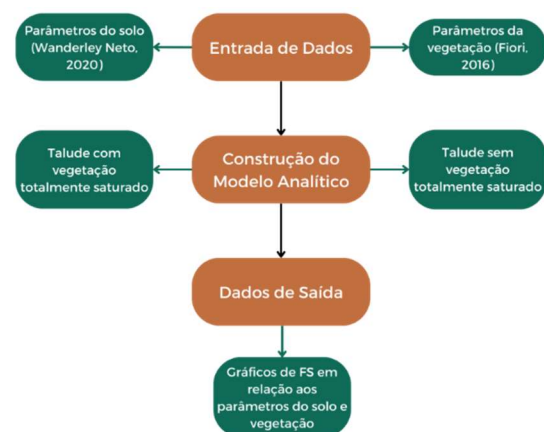


Figura 1. Fluxograma com etapas da pesquisa

2.1 Talude sem vegetação não saturado

Conforme Fiori (2016), o fator de segurança de um talude sem vegetação com solo não saturado é dado por:

$$F_s = \frac{C_s + [h_1 \times \gamma_{nat} + h_2 (\gamma_{sat} - \gamma_w)] \cos^2 i \times \tan \Phi}{[(h_1 \times \gamma_{nat} + h_2 \times \gamma_{sat}) \sin i] \cos i} \quad (1)$$

onde F_s corresponde ao fator de segurança, C_s à coesão do solo (kPa), h_1 à altura do solo seco (m), h_2 à altura do solo saturado (m), γ_{nat} ao peso específico natural do solo (kN/m³), γ_w ao peso específico da água (kN/m³), γ_{sat} ao peso específico saturado do solo (kN/m³), i ao ângulo do talude (°) e Φ ao ângulo de atrito (°).

2.2 Talude com vegetação não saturado

Conforme Fiori (2016), o fator de segurança de um talude com vegetação com solo não saturado:

$$F_s = \frac{C_s + s_r + [(h_1 \gamma_{nat} + h_2 (\gamma_{sat} - \gamma_w) + P_a) \cos^2 i + T \sin \theta] \tan \Phi + T \cos \theta}{[(h_1 \gamma_{nat} + h_2 \gamma_{sat} + P_a) \sin i + F_{ve}] \cos i} \quad (2)$$

onde s_r corresponde à coesão adicional das raízes (kN/m²), P_a ao peso da vegetação (N), T à força de tensão das raízes (kN/m), θ ao ângulo entre raiz e plano de deslizamento (°) e F_{ve} à força de arrasto do vento (kN/m²).

No entanto, para garantir que o fator de segurança seja adimensional neste contexto, foi necessário considerar um novo parâmetro, h_r (profundidade das raízes em metros), que não foi mencionado por Fiori (2016). Além disso, foi preciso tratar a força de tensão entre as raízes (T) e o peso da vegetação (P_a) de forma distribuída, assumindo-se quem são dadas em N/m². Assim, a equação que descreve o fator de segurança de um talude com vegetação com solo não saturado, é dada por:

$$F_s = \frac{C_s + s_r + h_r + [(h_1 \times \gamma_{nat} + h_2 (\gamma_{sat} - \gamma_w) + P_a) \cos^2 i + T \sin \theta] \tan \Phi + T \cos \theta}{[(h_1 \gamma_{nat} + h_2 \gamma_{sat} + P_a) \sin i + F_{ve}] \cos i} \quad (3)$$

2.3 Talude sem vegetação totalmente saturado

As principais alterações em relação ao talude infinito não saturado e sem vegetação são a inclusão do fator z , que corresponde à altura total do talude em metros, e o uso do peso específico saturado em substituição ao peso específico natural. Nesta seção, o h_2 é dispensado pois se pressupõe que seu tamanho seja igual ao do talude superficial, z .

$$F_s = \frac{C_s + [z (\gamma_{sat} - \gamma_w)] \cos^2 i \tan \Phi}{[(z \gamma_{sat}) \sin i] \cos i} \quad (4)$$

2.4 Talude com vegetação totalmente saturado

Para um talude com vegetação totalmente saturado, mais uma vez adicionou-se a variável h_r e as alterações citadas anteriormente nas unidades de F_{ve} e P_a e obteve-se a equação do fator de segurança dada por:

$$F_s = \frac{C_s + s_r + h_r + [(z (\gamma_{sat} - \gamma_w) + P_a) \cos^2 i + T \sin \theta] \tan \Phi + T \cos \theta}{[(z \gamma_{sat} + P_a) \sin i + F_{ve}] \cos i} \quad (5)$$

As análises práticas foram realizadas em taludes com e sem vegetação totalmente saturado para que se pudesse avaliar os resultados nas piores condições de segurança.

2.5 Parâmetros do solo

Com base nos valores iniciais de um solo saprolítico pesquisado por Wanderley Neto (2020) no Campo Experimental do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília (PPGG-UnB), foi possível realizar as análises do solo do Distrito Federal, conforme apresentado na Tabela 1. Adicionalmente, utilizaram-se intervalos de valores de coesão e ângulo de atrito oferecidos pelo programa GEO5, que fornece características padrões dos solos de acordo com a classificação do solo, sua consistência e densidade. O solo foi considerado como argila arenosa de consistência firme, conforme as opções oferecidas pelo software, e os intervalos estão descritos na Tabela 2.

O solo saprolítico em estudo é um saprólito fino da ardósia da Unidade A do Grupo Paranoá, localizado na região administrativa do Paranoá. Este possui uma textura argilo-arenosa-siltosa, cor variando entre cinza claro e bruna-avermelhada, ocorrendo em camadas menos intemperizadas (Wanderley Neto, 2020), próximas a profundidades de 100 cm. Cardoso (2002) nomeia o solo como SF4 (Saprólito Fino 4). Segundo o Mapa Pedológico do DF, o solo da amostra pertence à classe Cambissolo, que representa 31% da área do DF, conforme indicado pelo Atlas do Distrito Federal de 2020 criado pela CODEPLAN. Os Cambissolos são pouco desenvolvidos e estão associados a relevos mais movimentados, sendo a segunda classe de solo mais comum na região, atrás apenas dos Latossolos.

Na Tabela 1, apresentam-se os principais parâmetros utilizados para a posterior análise do Fator de Segurança, enquanto na Tabela 2, exibem-se os intervalos fornecidos pelo GEO5:

Tabela 1. Parâmetros iniciais do solo.

c (kN/m ²)	φ (°)	e	γ _{nat} (kN/m ³)	γ _d (kN/m ³)	γ _w (kN/m ³)
19,5	27,8	0,50	20,69	18,41	9,81

Fonte: Wanderley Neto, 2020.

Tabela 2. Intervalos de características padrões do solo.

Coesão c (kN/m ²)	Ângulo de atrito φ (°)
10 - 18	22 - 27

Fonte: GE05.

Ainda assim, fez-se necessário determinar o peso específico saturado do solo γ_{sat}. Para encontrar o valor citado precisou-se recorrer às fórmulas de correlação entre índices físicos do solo, sendo γ_s o peso específico dos grãos, e o índice de vazios e γ_d o peso específico seco. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 3.

$$\gamma_s = \gamma_d(1+e) \quad (6)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s + e\gamma_w}{1+e} \quad (7)$$

Tabela 3. Parâmetros iniciais do solo (valores calculados).

Peso específico saturado do solo γ _{sat} (kN/m ³)	Peso específico dos grãos γ _s (kN/m ³)
21,68	27,62

Fonte: Autores.

2.6 Parâmetros da vegetação e do talude

Os parâmetros da vegetação e do talude empregados no estudo foram retirados do livro de Fiori (2016), como exemplificado nas Tabelas 4 e 5.

Assim, designou-se o valor de 60 cm para a profundidade das raízes, que representa a característica de pequenos vegetais, leguminosas, plantas fibrosas, perenes e outros tipos de vegetação de pequeno e médio porte (FAO, 1998).

Tabela 4. Parâmetros iniciais da vegetação.

P _a (kN/m ²)	s _r (kN/m ³)	h _r (m)	T (kN/m ²)	θ (°)	F _{ve} (kPa)
5	5	0,6	5	45	1

Fonte: Fiori, 2016.

Tabela 5. Parâmetros iniciais do talude.

Inclinação do talude infinito i (°)	Profundidade não saturada h ₁ (m)	Profundidade saturada h ₂ (m)
35	0	1

Fonte: Fiori, 2016.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são ilustrados por meio de gráficos que exibem o fator de segurança (FS) em função dos parâmetros de coesão (c), ângulo de atrito (φ) e inclinação (i) para diferentes valores de tensão entre as raízes (T), força de arrasto do vento (F_{ve}), peso da vegetação (P_a) e profundidade da raiz (h_r). Para T, F_{ve} e P_a, foram utilizados os valores propostos por Fiori (2016), e realizaram-se testes com valores ligeiramente superiores e inferiores para avaliar o impacto dessas alterações. As análises são demonstradas nas Figuras 2, 3 e 4, onde estudou-se o cenário de um talude completamente saturado e com vegetação. Na Figura 5, por outro lado, apresenta-se a análise para o cenário de um talude totalmente saturado, mas sem a presença de vegetação.

Segundo a Norma de Estabilidade de Taludes (NBR 11682/2009), para um alto nível de segurança contra a perda de vidas humanas e danos materiais e ambientais, o fator de segurança mínimo recomendado é de 1,5. Esse critério se aplica a áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como prédios públicos, residências ou indústrias, além de locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, grandes obras de construção e áreas propensas a graves acidentes ambientais. Para um nível de segurança mais baixo, aceita-se um fator de segurança (FS) mínimo de 1,3. Por isso, a intenção foi superar um FS de 1,5, que é representado por uma linha verde em todos os gráficos desta seção. A linha amarela representa o FS mínimo de 1,3, enquanto a linha vermelha indica um FS de 1, ponto no qual ocorre a ruptura do talude. Uma linha vertical cinza marca o valor original do parâmetro do solo no eixo das abscissas, e as linhas azuis indicam o intervalo do GE05.

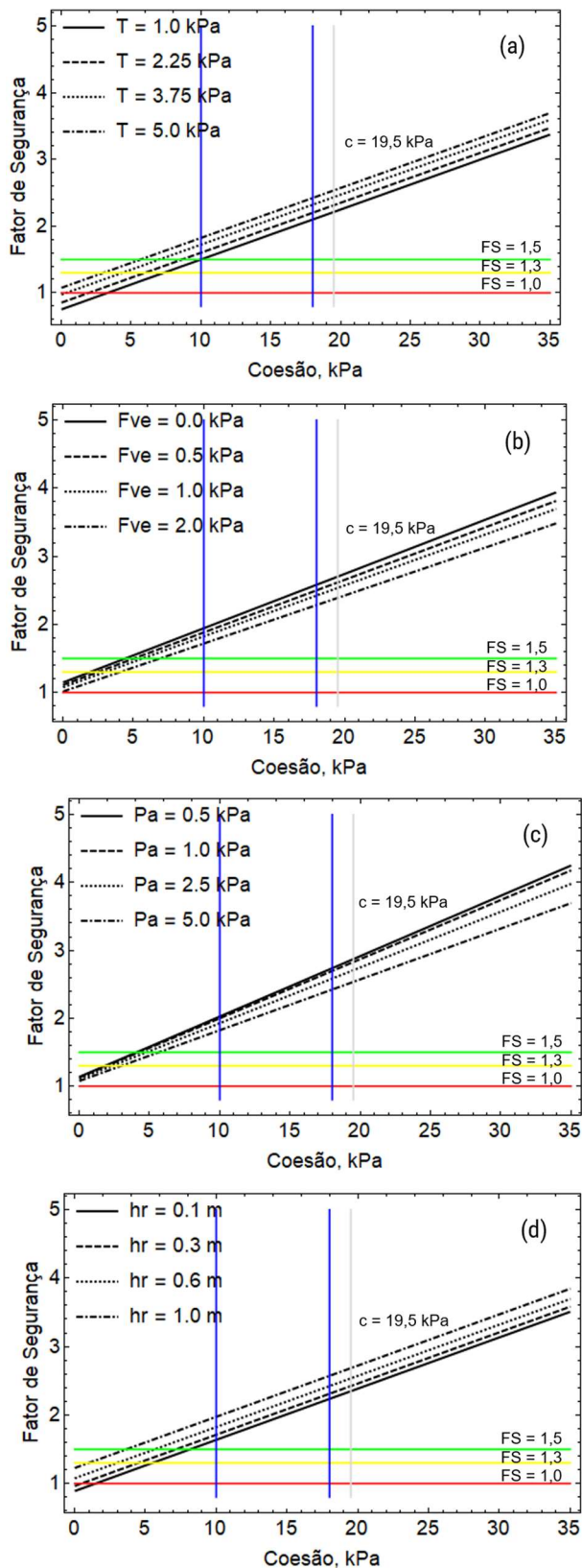
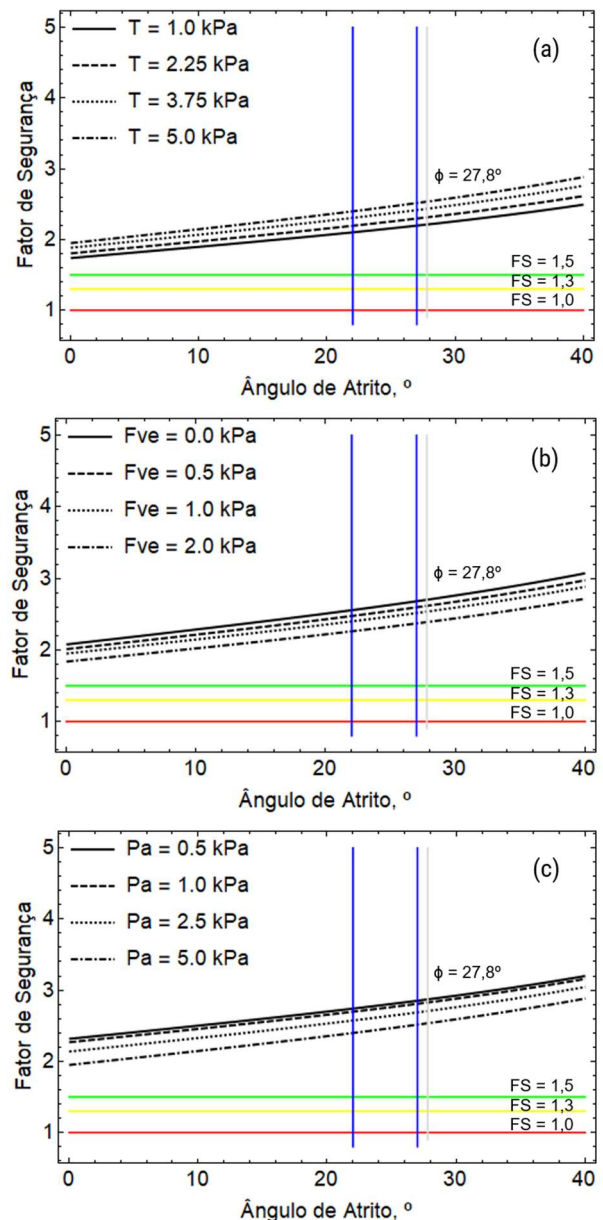


Figura 2. Fator de segurança em função da coesão do solo, para diferentes: (a) tensões das raízes, (b) forças de arraste do vento, (c) pesos da vegetação e em função e (d) tamanhos das raízes.

A análise fundamentada na coesão, representada

na Figura 2, sugere que somente solos com coesão menor que 5 kPa, na maioria das situações, não alcançariam o fator de segurança recomendado, superior a 1,5. É perceptível que a força de arrasto do vento e o peso da vegetação são fatores que diminuem a segurança, pois a pressão exercida pelo vento na vegetação pode ser transferida para o solo como uma pressão adicional, reduzindo a resistência à ruptura devido à força de arrasto na direção de inclinação (Fiori, 2016). Por outro lado, a tensão de resistência das raízes e o tamanho dessas contribuem positivamente para a segurança. Segundo o software GEO5, argilas arenosas de consistência rija apresentam valores de coesão entre 10 a 18 kPa. Em todos os cenários da Figura 2, esses valores estão acima da linha verde, que indica o fator de segurança recomendado.



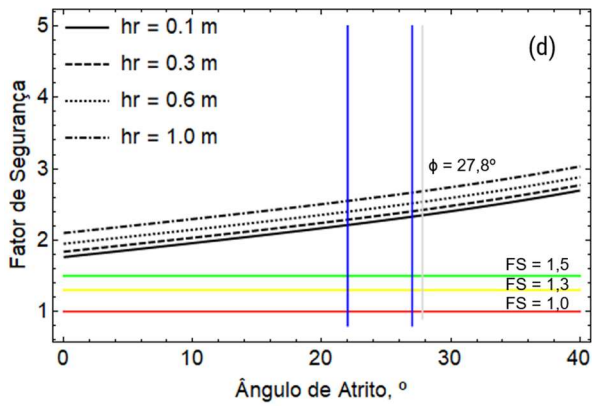


Figura 3. Fator de segurança em função do ângulo de atrito do solo, para diferentes: (a) tensões das raízes, (b) forças de arraste do vento, (c) pesos da vegetação e em função e (d) tamanhos das raízes.

No que concerne ao ângulo de atrito, na Figura 3, observa-se que esse parâmetro tem pouca influência nos resultados, independente das variações nos valores de tensão entre as raízes (T), força de arrasto do vento (F_{ve}), peso da vegetação (P_a) e profundidade da raiz (h_r). Isso apenas enfatiza o impacto significativo das variáveis relacionadas à vegetação. O software GEO5 estabelece um intervalo de 22 a 27 graus para solos argilo-arenosos, que são facilmente cumpridos considerando as demais constantes.

Já na Figura 4, mostram-se os resultados do fator de segurança (FS) em relação ao ângulo de inclinação do talude, levando em consideração diferentes valores para T , F_{ve} , P_a e h_r .

Mais uma vez, verifica-se que a existência de vegetação, especialmente com raízes maiores e maior tensão atuante, resulta em um maior fator de segurança (FS). O menor FS é encontrado entre ângulos de inclinação do talude de 40° e 50°. Esse comportamento é corroborado pelo estudo de Feng et al. (2020), que confirma que o FS atinge seu mínimo em torno de 40°, independentemente do tipo de solo e vegetação. Assim, conclui-se que esses ângulos de inclinação devem ser evitados em projetos de estabilização de taludes.

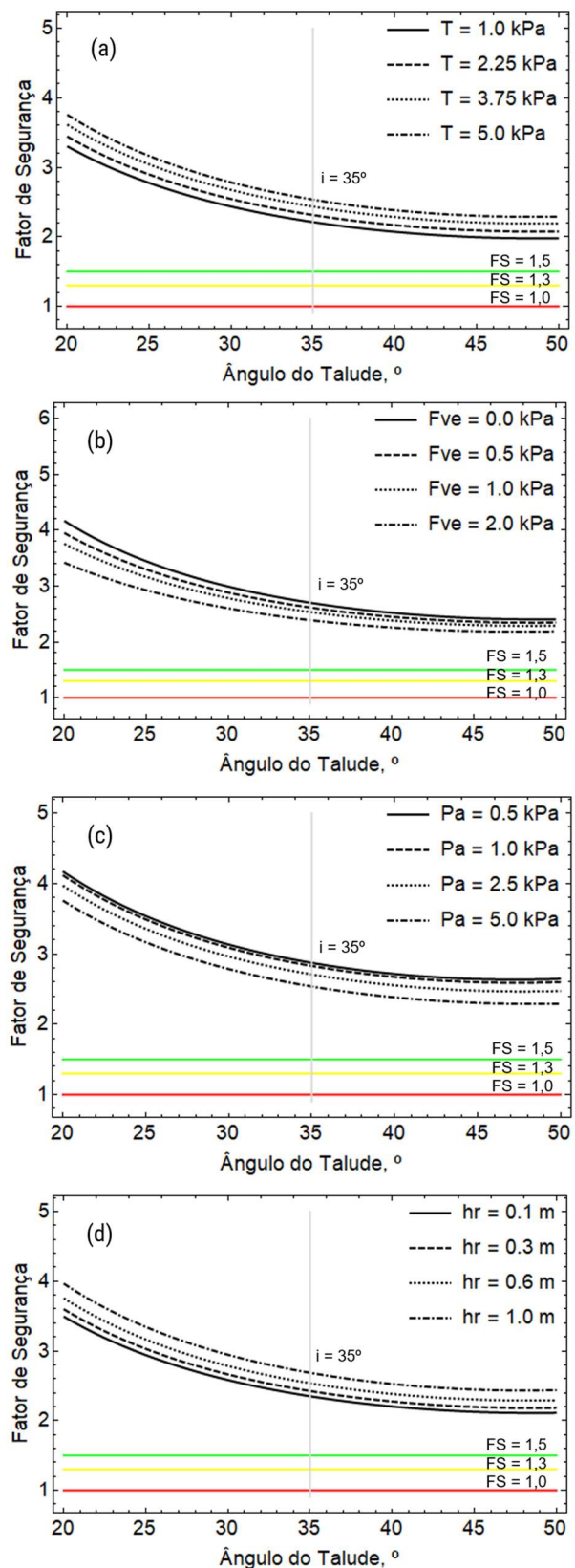


Figura 4. Fator de segurança em função do ângulo de inclinação do talude, para diferentes: (a) tensões das raízes, (b) forças de arraste do vento, (c) pesos da vegetação e em função e (d) tamanhos das raízes.

Na Figura 5, investiga-se o fator de segurança de um solo sem vegetação e completamente saturado, variando os valores de coesão, ângulo de atrito e ângulo de inclinação do talude. A coesão mostra-se como o fator mais crucial para alcançar o FS esperado, principalmente a partir de 12 kPa. Comparando com um solo vegetado e totalmente saturado, bons resultados foram obtidos a partir de 5 kPa, como demonstrado nos gráficos da Figura 2.

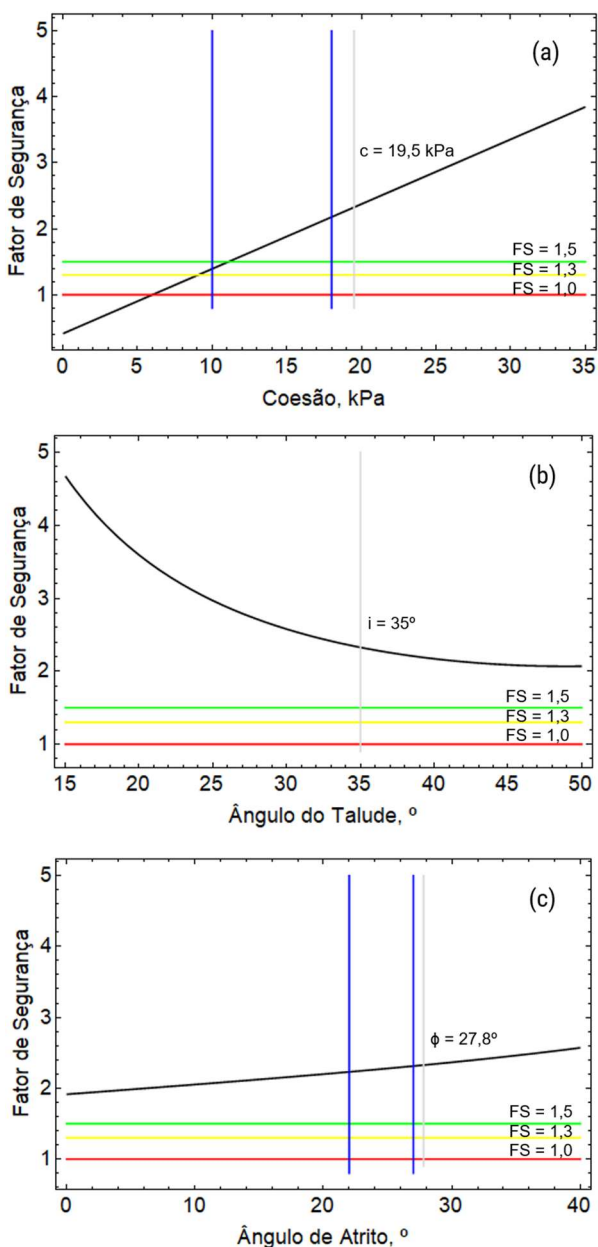


Figura 5. Fator de segurança em função da coesão (a), ângulo do talude (b), e ângulo de atrito (c) em solo totalmente saturado sem vegetação.

Calculando o FS pela Equação 4 para o solo em análise, usando os parâmetros fornecidos nas Tabelas 1, 3 e 5, o solo não vegetado e completamente

saturado apresenta um FS de 2,33. Isso indica excelente resistência para taludes em processos geotécnicos que envolvem o planejamento de aterros e cortes. Quando se considera a presença de vegetação, com valores indicados na Tabela 4, o FS calculado pela Equação 5 em condição completamente saturada é de 2,54, o que representa um aumento de 9%. Analisando os intervalos dos gráficos com variações de tensão entre as raízes (T), força de arrasto do vento (F_{ve}), peso da vegetação (P_a) e profundidade da raiz (h_r), todos os gráficos que avaliaram o peso da vegetação P_a (Figuras 2, 3 e 4 (c)) alcançaram um FS máximo de 2,87 com P_a de 0,5 kPa. Isso representa um aumento de até 23,4% em relação ao FS inicial de 2,33. Na Tabela 6, mostram-se todos os valores de FS em função dos parâmetros da vegetação e a respectiva porcentagem de aumento em relação ao FS inicial do solo saturado sem vegetação.

Tabela 6. FS de acordo com os valores de T, F_{ve} , P_a e h_r dos gráficos.

Figura	T (kN/m ²)	F_{ve} (kPa)	P_a (kN/m ²)	h_r (m)	FS	Aumento (%)
(a)	1	1	5	0,6	2,21	- 4,9
	2,25	1	5	0,6	2,31	- 0,6
	3,75	1	5	0,6	2,43	4,7
	5	1	5	0,6	2,54	9,0
(b)	5	0	5	0,6	2,70	16,1
	5	0,5	5	0,6	2,62	12,5
	5	1	5	0,6	2,54	9,0
	5	2	5	0,6	2,39	2,7
(c)	5	1	0,5	0,6	2,87	23,4
	5	1	1	0,6	2,83	21,6
	5	1	2,5	0,6	2,71	16,4
	5	1	5	0,6	2,54	9,0
(d)	5	1	5	0,1	2,35	1,0
	5	1	5	0,3	2,42	4,2
	5	1	5	0,6	2,54	9,0
	5	1	5	1	2,69	15,4

Fonte: Autores.

4. CONCLUSÕES

Por meio dos gráficos gerados pelo modelo analítico, é possível avaliar o impacto positivo da vegetação na estabilidade do solo. Os principais fatores que contribuem para a segurança são a força de tensão e o tamanho das raízes, enquanto os fatores que podem comprometer a segurança são a força do vento e o peso da vegetação. Com base nos resultados obtidos,

conclui-se que as plantas ideais para promover maior estabilidade seriam aquelas com raízes grandes e pequeno porte, já que o peso sobre o solo e a ação do vento são menores. Isso se deve ao fato de que quanto maior a área ocupada verticalmente acima do solo, maior será a influência do vento.

Em termos gerais, a presença de vegetação pode aumentar o fator de segurança (FS) para até 2,87, representando um aumento potencial de até 23,36% em relação ao FS de um solo completamente saturado e sem vegetação, dentro dos intervalos de valores propostos neste estudo hipotético.

Também se conclui que, para aumentar os fatores de segurança, o planejamento de taludes deve evitar ângulos entre 40° e 50°. O Cambissolo estudado apresenta boas características para a formação de taludes artificiais. A vegetação é uma estratégia eficaz para reforçar a estabilidade e, em solos mais fracos, como os latossolos (os solos mais comuns na região, segundo o Atlas do Distrito Federal), pode ser um fator decisivo. Outrossim, de acordo com Portocarrero *et al.* (2006), a vegetação poderia contribuir para a estabilização do talude por mais fatores, como a redução da quantidade de água para infiltração, a extração de umidade gerando redução de poropressões, o aumento da resistência do maciço de solo ao cisalhamento, a sustentação ao manto de solo através de arqueamento e a união de partículas sólidas reduzindo a erosão.

Para finalizar, vale ressaltar a importância de aliar essas descobertas a estratégias efetivas de manejo do solo e da vegetação, especialmente em áreas de risco de desastres ambientais. As conclusões deste estudo evidenciam o papel crucial da vegetação na estabilidade dos taludes e, portanto, na prevenção de deslizamentos de terra. No entanto, a natureza hipotética do estudo sugere que mais pesquisas são necessárias. Futuros estudos poderiam explorar como diferentes tipos de vegetação afetam a estabilidade do solo, o que poderia fornecer insights adicionais para desenvolver práticas de manejo mais eficazes e personalizadas, considerando as características específicas de cada região e solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos, pelo suporte dado a esta pesquisa, à Universidade de Brasília (UnB), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - 305484/2020-6), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação

de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2009). NBR 11682: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, p. 33.
- Cardoso, F.B.F. (2002). Propriedades e Comportamento Mecânico de Solos do Planalto Central Brasileiro. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-009A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 357 p.
- CODEPLAN. (2020). Atlas do Distrito Federal 2020. Brasília, p. 43.
- FAO (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Rome.
- Feng, S.; Liu, H.W.; Ng, C.W.W. (2020). Analytical analysis of the mechanical and hydrological effects of vegetation on shallow slope stability. *Computers and Geotechnics*, 2019 Elsevier Ltd. 9 p.
- Fiori, A.P. (2016). Estabilidade de Taludes: Exercícios Práticos. São Paulo: Oficina De Textos. 160 p.
- Lemes, M. R. T. (2001). Revisão dos Efeitos da Vegetação em Taludes. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, RS, 140 p.
- Portocarrero, H.; Andrade, A. G. de; de Campos, T. M. P.; Fernandes, N. F. (2006). Aspectos hidrológicos e mecânicos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas naturais. Séries Embrapa, Série Documentos. Rio de Janeiro. 41 p.
- Souza, A.P.B.C. (2021). Estudo do Escoamento de Águas Pluviais na Parte Norte do Campus Darcy Ribeiro – UnB. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 89p.
- Wanderley Neto, R. V. (2020). Estudo experimental de interfaces solo-concreto no contexto de solos não saturados. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM - 344/2020, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 206 p.